

MÉRCIA PATRÍCIA PEREIRA SILVA

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE BRIÓFITAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO
NORDESTE DO BRASIL: RELAÇÕES AMBIENTAIS, BIOGEOGRÁFICAS E
CONSERVAÇÃO**

RECIFE

2013

MÉRCIA PATRÍCIA PEREIRA SILVA

**PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE BRIÓFITAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO
NORDESTE DO BRASIL: RELAÇÕES AMBIENTAIS, BIOGEOGRÁFICAS E
CONSERVAÇÃO**

**Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Biologia Vegetal da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito para obtenção do Título de Doutor**

Orientadora: Kátia Cavalcanti Pôrto

Área de Concentração: Ecologia Vegetal

Linha de Pesquisa: Ecologia de Criptógamos

RECIFE

2013

Catálogo na fonte
Elaine Barroso
CRB 1728

Silva, Mércia Patrícia Pereira

Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil: relações ambientais, biogeográficas e conservação/ Mércia Patrícia Pereira Silva– Recife: O Autor, 2013.

207 folhas : il., fig., tab.

Orientadora: Kátia Cavalcanti Pôrto

**Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Ciências Biológicas, Ecologia Vegetal, 2013.**

Inclui bibliografia

- 1. Briófitas 2. Floresta Atlântica 3. Ecologia Vegetal I. Pôrto, Kátia Cavalcanti (orientadora) II. Título**

588

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB- 2013- 120

MÉRCIA PATRÍCIA PEREIRA SILVA

PADRÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE BRIÓFITAS NA FLORESTA ATLÂNTICA DO NORDESTE DO
BRASIL: RELAÇÕES AMBIENTAIS, BIOGEOGRÁFICAS E CONSERVAÇÃO

Tese examinada e aprovada em 25/02/2013 pela

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a. Kátia Cavalcanti Pôrto (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco-Departamento de Botânica-CCB

Dra. Sylvia Mota de Oliveira (1º Examinador)
Nationaal Herbarium Nederland-Leiden-Holanda

Profº Dr. André Maurício Melo Santos (2º Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco-Centro Acadêmico de Vitória

Prof^a Dr^a. Nivea Dias dos Santos (3º Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco-Departamento de Botânica-CCB

Prof^a Dr^a. Inara Roberta Leal (4º Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco-Departamento de Botânica-CCB

Prof^a Dr^a. Iva Carneiro Leão Barros (Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco-Departamento de Botânica-CCB

Prof^a Dr^a. Adaíses Simone Maciel da Silva (Suplente Externo)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-Departamento de Botânica

*Se as coisas são inatingíveis... ora!
Não é motivo para não querê-las...
Que tristes os caminhos, se não fora
A presença distante das estrelas!*

(Mário Quintana)

*A Izac Sabino da Silva, por
entender todas as horas que passei
com meu computador quando
deveria ter passado com ele,*

DEDICO

À minha família, maior fonte de apoio

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho:

A minha família, maior fonte de apoio, meus pais Reginaldo e Zilmar, minha irmã Cynthia, sobrinha Melissa e Edna Maria (Biá), pelo carinho.

Ao meu companheiro e amigo Izac pela constante compreensão e apoio.

À Dra. Kátia Cavalcanti Pôrto pela orientação, amizade e dedicação constantes.

Ao Dr. Alain Vanderpoorten pelos ensinamentos, conselhos e pela receptividade no seu Laboratório.

Aos colegas do Laboratório Biologia de Briófitas, da UFPE: Bruno, Edna, Isadora, Juliana e Renata, e aos do Institut de Botanique, da Université de Liège: Aurélie, Benjamin, Elodie, Jairo, Laurent, Nathalie e Virginie pelas palavras de incentivo, conselhos e conversas jogadas fora.

À Dra. Olga Yano, pela confirmação/identificação de algumas amostras de briófitas.

À Dra. Andrea Luizi Ponzo, pelos conselhos na elaboração do projeto de tese.

Aos membros da banca do Exame de Qualificação e/ou da Defesa da Tese: Dra. Adáises S. Maciel da Silva, Dr. André M. M. Santos, Dra. Inara R. Leal e Dra. Nívea D. dos Santos, pelos comentários, sugestões e correções de suma importância para a melhoria do trabalho.

As professoras Marlene Barbosa e Dra. Nívea Santos, que tanto colaboraram com incentivos e conselhos para a minha formação acadêmica.

Silva, M.P.P. Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica do ...

A Gilcean Jones da Silva pela ajuda e descontração, essenciais em campo.

Aos curadores dos Herbários ALCB, EAN, HUEFS, INPA, JBRJ, JPB, SP, UFP, pelo empréstimo/consulta de vouchers.

Aos gestores (ICMBio) das Unidades de Conservação visitadas, pela concessão da autorização de coleta e pelo fundamental apoio logístico durante as coletas de campo.

À Université de Liège, em particular ao Institut de Botanique e ao Professor Dr. Emmanuël Serusiaux, chefe do Laboratório de Taxonomie Végétale et Biologie de la Conservation, pela acolhida durante o estágio sanduiche.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão das bolsas de estudos.

À Fundação Grupo Boticário de Proteção À Natureza pelo o apoio financeiro concedido (Processo nº 0819_20091), fundamental para o trabalho de campo.

A Hildebrando, Adriano, Dona Maria e Charles, funcionários do Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal, pelo suporte técnico.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

	Pág
MANUSCRITO I - Do extant bryophyte distribution patterns mirror the fragmentation of the Amazon and Atlantic rainforests?	
Figure 1. The 53 localities studied according to their position in relation to Brazilian phytogeographical domains. For a complete list of the areas see Table 1.....	58
Figure 2. Hypothetical area cladograms depicting possible phytogeographical affinities of Forest enclaves within Caatinga (CA), Amazonia (AM) and Atlantic forest (AF). The CA could be more closely related to AF (left), to AM (middle), or be basal relative to the two forest domains (right). Adapted from Costa (2003).....	59
Figure 3. Relation of spore size between the bryophyte phylum studied (A) and biogeographic process (B). m = moss, l = liverwort.....	59
MANUSCRITO II - Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica: abordagem regional	
Figura 1. Localização dos remanescentes de Floresta Atlântica Nordestina Brasileira estudados.....	87
Figura 2. Diagrama da Análise de Correspondência Canônica (CCA) baseado na composição total de espécies (A) e de grupos funcionais (B) de briófitas e nas variáveis ambientais estudadas da Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Variáveis redundantes (Spearman: $ rs > 0.7$) e pouco explicativas (cutoff: 0.2) foram eliminadas das análises. Valores em parênteses correspondem à riqueza de espécies. Eigenvalues (A): eixo 1 = 0.45, eixo 2 = 0.32, eixo 3 = 0.20. Explicação cumulativa em percentagem explicada pelos dois eixos = 46.6. Eigenvalues (B): eixo 1 = 0.60, eixo 2 = 0.15, eixo 3 = 0.08. Explicação cumulativa em percentagem explicada pelos dois eixos = 75.....	88
Figura 3. Relação da riqueza de espécies de briófitas das áreas de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil com a latitude (log). As siglas de cada círculo correspondem aos Estados Brasileiros (ver Figura 1), seguindo o sentido Norte-	

Sul.....	89
Figura 4. Padrões de ocupação registrados nas comunidades, baseados na constância regional (número de áreas colonizadas) e frequência local (nº de assinalamentos) das espécies de briófitas dos remanescentes de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Cada círculo indica um padrão, conforme legenda. O número de espécies de cada categoria é indicado.....	90
Figura 5. Frequência local (A) e constância regional (B) médias ($\pm$ IC) das espécies de briófitas da Floresta Atlântica Nordestina do Brasil por categorias de guildas de tolerância à luminosidade.....	90
Figura 6. Riqueza relativa de espécies de briófitas quanto ao tipo de sistema reprodutivo (A), categorias de forma de crescimento (B) e guildas de tolerância à luminosidade (C), e tamanho médio do esporo por categorias de distribuição...	91

MANUSCRITO III - Diversidade de briófitas em áreas prioritárias para conservação na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil

Figura 1. Localização dos remanescentes de Floresta Atlântica Nordestina estudados.....	133
Figura 2. Representatividade das principais famílias de briófitas, compiladas através de revisão bibliográfica (a) e dos inventários brioflorísticos realizados neste estudo (b). Lej = Lejeuneaceae, Fis = Fissidentaceae, Cal = Calymperaceae, Ort = Orthotrichaceae, Sem = Sematophyllaceae, Fru = Frullaniaceae, Bry = Bryaceae, Pla = Plagiochilaceae, Pil = Pilotrichaceae, Leu = Leucobryaceae, Bra = Brachytheciaceae, Pyl = Pylaisiadelphaceae.....	133
Figura 3. Número de espécies de briófitas das áreas de Floresta Atlântica Nordestina estudadas. Localidades em ordem crescente de latitude geográfica por Estado. RN = Rio Grande do Norte, PB = Paraíba, PE = Pernambuco, SE = Sergipe. Para sigla das áreas ver Tabela 1.....	134
Figura 4. Relação da riqueza total (a), do índice de diversidade filogenética (PD) (b), da porcentagem de espécies típicas de sombra (c) e do número de espécies endêmicas (d) com a latitude das localidades de Floresta Atlântica Nordestina estudadas.....	134

MANUSCRITO IV – Is the current network system of protected areas in the Atlantic Forest effective in conserving key species of bryophytes?

Figure 1. Average of all partitions in the regression of environmental variables in relation to the environmental suitability of the ten bryophytes species selected for the study.....	170
Figure 2. Maxent cumulative potential distribution of ten bryophyte species in the Atlantic Forest, Brazil (A) and the optimal niche occupied by this species (environmental suitability area $\geq 50\%$) (B).....	171
Figure 3. Overlay of the optimal niche occupied (environmental suitability area $\geq 50\%$) by ten bryophyte species with the network of Full Protection Conservation Units of the Brazilian Atlantic Forest, for Northeast (A), Central (B) and Serra do Mar (C) centers of diversity.....	172

LISTA DE TABELAS

	Pág
Tabela 1. Estudos realizados no Brasil com registro de espécies de briófitas com algum grau de ameaça.....	25
MANUSCRITO I - Do extant bryophyte distribution patterns mirror the fragmentation of the Amazon and Atlantic rainforests?	
Table 1. Sites from Amazonia, forest enclaves within Caatinga and Atlantic Forest. NT= number of taxa.....	56
Table 2. Log of the marginal likelihood of the Bayesian analysis (ML) for liverworts and mosses. Numbers in bold are the best-fit model for each group distribution.....	57
MANUSCRITO II - Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica: abordagem regional	
Tabela 1. Localização, altitude e riqueza específica de briófitas das localidades de Floresta Atlântica Nordeste, Brasil.....	84
Tabela 2. Variáveis ambientais utilizadas no estudo.....	85
Tabela 3. Coeficientes de Regressão Linear Múltipla “stepwise” (valores de Beta, desvios padrões correspondentes, t e p), com inserção progressiva de variáveis, entre a riqueza total e a riqueza relativa de espécies raras e frequentes e as variáveis ambientais da Floresta Atlântica Nordeste. Valores em negrito indicam significância estatística.....	86
MANUSCRITO III - Diversidade de briófitas em áreas prioritárias para conservação na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil	
Tabela 1. Localização e riqueza de briófitas em áreas de Floresta Atlântica nordestina.....	130
Tabela 2. Comparação do número de táxons de briófitas da Floresta Atlântica Nordeste com outras regiões.....	131

Tabela 3. Índice de diversidade taxonômica (PD), proporção de especialistas de sombra e número de espécies endêmicas (Brasil) de briófitas na Floresta Atlântica para cada localidade estudada. Para sigla das áreas ver Tabela 1.....	131
--	-----

Tabela 4. Prioridade de ação e importância biológica das localidades estudadas, segundo o Ministério do Meio Ambiente, e modificações sugeridas por este estudo. Para sigla das áreas ver Tabela 1. s.m. = sem modificação.....	132
---	-----

MANUSCRITO IV – Is the current network system of protected areas in the Atlantic Forest effective in conserving key species of bryophytes?

Table 1. Distribution and number of occurrences used in the modeling of potential distribution of the bryophytes studied. Species are sorted alphabetically.....	167
--	-----

Table 2. Statistical modeling of potential distribution and a more explanatory variable for the distribution of bryophytes in the Atlantic forest. Species are sorted alphabetically.....	168
---	-----

SUMÁRIO

	Pág.
APRESENTAÇÃO	13
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
<i>A Floresta Atlântica e suas relações biogeográficas</i>	14
<i>Distribuição de briófitas: relações biogeográficas, de história de vida e ambientais</i>	18
<i>Panorama da conservação de briófitas no Brasil</i>	24
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
MANUSCRITO I - Do extant bryophyte distribution patterns mirror the fragmentation of the Amazon and Atlantic rainforests?	37
Abstract	38
Introduction	39
Materials and methods	41
Results and discussion	45
Acknowledgements	48
References	48
Supplemental material	60
MANUSCRITO II - Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica: abordagem regional	62
Resumo	63
Abstract	63
Introdução	64
Métodos	66
Resultados	69
Discussão	71
Agradecimentos	75
Referências bibliográficas	75
Anexos	92
MANUSCRITO III - Diversidade de briófitas em áreas prioritárias para conservação na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil	111
Resumo	112

Abstract	112
Introdução	113
Material e Métodos	115
Resultados e discussão	117
Agradecimentos	121
Referências	122
Anexos	135
MANUSCRITO IV – Is the current network system of protected areas in the atlantic forest effective in conserving key species of bryophytes?	145
Abstract	147
Introduction	148
Materials and methods	151
Results and discussion	154
Conclusions	158
Acknowledgements	159
References	159
Supplemental material	173
CONCLUSÕES GERAIS	184
RESUMO	186
ABSTRACT	187
ANEXOS	188

APRESENTAÇÃO

As briófitas, hepáticas, musgos e antóceros, são atraqueófitas que formam um grupo parafilético representados pelos filos Marchantiophyta, Bryophyta e Anthocerophyta, respectivamente (Vanderpoorten & Goffinet 2009). São eficientes bioindicadoras, tendo em vista que, devido à ausência de cutícula epidérmica, absorvem diretamente água, nutrientes e poluentes do ar, sendo, portanto, influenciadas pelo teor hídrico e condições ambientais externas (Proctor 1990). Oferecem, ainda, uma combinação de características de história de vida que facilita o entendimento da dinâmica de processos ambientais tanto em escala local quanto regional (Pharo & Zartman 2007).

O grupo apresenta distribuição ubíqua, estando ausente somente em ambiente marinho. No Brasil, a Floresta Atlântica destaca-se como um centro de diversidade de briófitas, sendo superada apenas, em termos de número de espécies, pelas florestas do Norte dos Andes e da América Central (Gradstein et al. 2001). Além disso, a Floresta Atlântica abriga 16 espécies (94%) daquelas ameaçadas de extinção no Brasil (Fundação Biodiversitas 2005). Na região Nordeste, a Floresta Atlântica tem se mostrado de alta relevância para a brioflora. No entanto, o conhecimento sobre o grupo está concentrado em alguns Estados, principalmente, Bahia e Pernambuco, o que pode levar a interpretações errôneas dos padrões de distribuição de muitos táxons.

Com base nessas considerações, esse trabalho se propõe a contribuir para o conhecimento da brioflora na Floresta Atlântica Nordestina em relação a fatores biogeográficos, ambientais e de história de vida, ecologia e conservação das espécies, baseando-se em informações disponíveis na literatura e em novos inventários, sobretudo nos últimos anos, sobre a distribuição das briófitas.

A tese está dividida em quatro capítulos que abordam as seguintes temáticas:

- 1) *Manuscrito 1*: estudo dos processos biogeográficos moldadores da distribuição atual de briófitas nas Florestas Úmidas Brasileiras – Florestas Atlântica e Amazônica, e enclaves florestais em meio à Caatinga;
- 2) *Manuscrito 2*: determinação dos fatores condicionantes da distribuição de briófitas em escala regional, sejam eles ambientais e/ou intrínsecos das espécies;

- 3) *Manuscrito 3*: síntese da diversidade de briófitas na Floresta Atlântica Nordestina e seleção de áreas mais relevantes para a conservação do grupo;
- 4) *Manuscrito 4*: verificação da eficiência da atual rede de Unidades de Conservação brasileira na manutenção da brioflora, através de técnicas de modelagem de distribuição potencial de espécies e análises de lacunas de áreas protegidas.

Os capítulos estão formatados seguindo as normas dos periódicos para os quais serão submetidos à publicação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Floresta Atlântica e suas relações biogeográficas

No Brasil, as Florestas Tropicais Úmidas estão representadas pelas florestas Amazônica e Atlântica, separadas por formações vegetacionais abertas que cruzam toda a porção central do país – Caatinga, Cerrado e Chaco (Bigarella & Andrade-Lima 1982; Prado & Gibbs 1993).

A Floresta Atlântica, situada ao longo da costa brasileira, outrora ocupava aproximadamente 1,5 milhão de km² (Fiaschi & Pirani 2009), distribuídos ao longo de 24 graus de latitude, do Estado do Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul (Conservation International et al. 2000). A largura desta faixa de floresta ainda é variável, e se estende até o interior de algumas áreas no Sudeste do Brasil, Leste do Paraguai e a Província de Misiones na Argentina (Galindo-Leal & Câmara 2005). É uma formação florestal de complexa topografia em curtas distâncias geográficas, moldadas por atividades tectônicas durante o Terciário e Quaternário (Sugio et al. 2005). Caracteriza-se por marcantes gradientes ambientais (decorrentes, sobretudo, da variação latitudinal e da topografia) e chuvas orográficas resultantes de correntes de vento provenientes do Oceano Atlântico (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 1993). Devido aos fatores complexos listados acima, a Floresta Atlântica forma uma paisagem diversa que inclui formações florestais estacionais, ombrófilas abertas, densas e mistas, brejos de altitude, restingas e manguezais (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 1993).

Esse Domínio florestal é considerado um dos mais diversos do planeta. Estima-se que existam 1,6 milhão de espécies de animais, incluindo os insetos, (Martins 2011) e

16.717 espécies de plantas (desconsiderando-se algas e fungos) (Lista de Espécies da Flora do Brasil 2012). No sul da Bahia, foram identificadas 454 espécies de árvores em um só hectare, um recorde mundial (Thomas et al. 1998); apesar de os autores terem contabilizado árvores com DAP > 4,8cm. Com relação a níveis de endemismo, sua média geral é de 50% e chega a 90% para alguns grupos de organismos (Costa et al. 2000). Mais precisamente, esta floresta abriga 8.599 espécies endêmicas entre plantas, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (Mittermeier et al. 2004). Especificamente para as plantas, Stehman et al. (2009) afirmam que existem 7.155 (45%) espécies endêmicas.

A estimativa mais recente da quantidade de área de Floresta Atlântica remanescente é dada por Ribeiro et al. (2009): variando de 11,4% a 16% (considerando-se erros de comissão e omissão do mapeamento). Estes números são maiores do que os previamente estimados por outros autores (7-8%), devido à inclusão de florestas secundárias e pequenos fragmentos (<100ha), que correspondem a aproximadamente 32-40% do que remanesce. Ainda assim, a Floresta Atlântica é o segundo Domínio mais ameaçado de extinção do mundo, perdendo apenas para as quase extintas florestas da Ilha de Madagascar, na costa da África (Rede de ONGs da Mata Atlântica 2006). Um agravante da situação é que a maior parte dos remanescentes florestais da região encontra-se na forma de pequenos fragmentos (< 100ha), altamente perturbados, isolados, pouco estudados, sob ameaça antrópica e inseridos em paisagens intensamente cultivadas (Ranta et al. 1998; Viana & Pinheiro 1998; Tabarelli et al. 2005).

A situação crítica de devastação na Floresta Atlântica aliada à sua exuberante biodiversidade, levou o Domínio a ser incluído na lista de *hotspots* – áreas que abrigam pelo menos 1.500 espécies endêmicas mas que perderam, pelo menos, 70% da sua área original (Mittermeier et al. 2004).

Na região Nordeste do Brasil, mais precisamente na sub-região biogeográfica de Pernambuco (ver Ribeiro et al. 2009), remanescem apenas 12% da cobertura vegetal original, com a maioria dos fragmentos < 50ha (Viana et al. 1997; Ranta et al. 1998; Ribeiro et al. 2009), onde a sobrevivência das espécies ocorrentes é incerta (Silva & Tabarelli 2000, 2001). Análises comparativas de imagens de satélite desta região, no período de 1979 a 2000, demonstram que houve uma perda de 43,57% de cobertura (De Paula 2009). Atualmente, nos Estados Nordestinos, excluindo-se a Bahia, Pernambuco apresenta a maior área florestada, 12%, seguido por Paraíba (9,7%), Alagoas (9,5%), Rio Grande do Norte (8,8%) e Sergipe (7,1%) (Fundação SOS Mata Atlântica 2011).

Na busca do melhor conhecimento e da conservação desses ambientes, nos últimos anos, vários estudos de cunho ecológico vêm sendo realizados na Floresta Atlântica do Nordeste (Silva & Tabarelli 2001; Oliveira et al. 2004; Girão et al. 2007; Wirth et al. 2007; Alvarenga et al. 2009; Silva & Pôrto 2010, 2013). Além da abundante biota, a Floresta Atlântica nordestina é particularmente importante pelas diversas espécies endêmicas (Peixoto et al. 2003; Roda 2003; Siqueira-Filho 2003) e pela presença de encaves de florestas úmidas em meio à floresta seca, as matas dos brejos nordestinos (matas serranas ou serras úmidas) (Andrade-Lima 1960; Vasconcelos Sobrinho 1971; Sales et al. 1998; Pôrto et al. 2004).

Por outro lado, até mesmo com altos índices de diversidade e endemismo, estudos empíricos que procuram desvendar os processos históricos responsáveis pela formação da biodiversidade da Floresta Atlântica estão apenas no começo (Rizzini 1963; Haffer 1969; Andrade-Lima 1982; Bigarella & Andrade-Lima 1982; Gentry 1982; Costa 2003; Santiago 2006; Santos et al. 2007; Carnaval & Moritz 2008; Santiago et al. 2008; Martins 2011).

Do ponto de vista biogeográfico, os principais processos moldadores e mantenedores da biodiversidade e da distribuição de espécies ao longo do globo terrestre são especiação, dispersão e vicariância (Cox & Moore 2009). Enquanto a especiação aumenta o número de espécies endêmicas, a dispersão promove o intercâmbio biótico e a vicariância indica a conexão pretérita de populações amplamente distribuídas, mas que atualmente estão separadas em sub-populações devido ao surgimento de barreiras geográficas e/ou ecológicas (Avice 2000; Santos 2006; Cox & Moore 2009).

Uma das hipóteses para a formação das Florestas Úmidas brasileiras é condizente com o processo de vicariância seguido por eventos de especiação – a teoria de refúgios do Pleistoceno, primeiramente proposta por Haffer (1969). Esta teoria sugere que as florestas Atlântica e Amazônica foram formadas a partir da dinâmica espaço-temporal da vegetação (eventos variados de expansão e retração) durante as flutuações climáticas do Terciário e Quaternário (Rizzini 1963; Andrade-Lima 1982; Bigarella & Andrade-Lima 1982; Gentry 1982; Oliveira 2000). Durante esse período, os dois blocos florestais teriam sido separados pelo corredor de formações secas e áridas da Caatinga, do Cerrado e do Chaco (Bigarella & Andrade-Lima 1982).

Apesar da extensão dessas conexões não ser conhecida, três rotas principais para intercâmbio de espécies entre as florestas Atlântica e Amazônica têm sido propostas (Costa 2003): 1) via Sudeste, através da bacia do rio Paraná; 2) pelo Nordeste, através da Caatinga (Rizzini 1963; Andrade-Lima 1966); 3) e pelas Florestas de Galeria do Cerrado central brasileiro (Oliveira-Filho & Ratter 1995). Relações biogeográficas demonstrando afinidades florísticas mais marcantes entre as Florestas de Terras Baixas do Nordeste (Floresta Atlântica costeira) juntamente com os brejos de altitude e com a Amazônia dão suporte à rota nordestina (Andrade-Lima 1960; Andrade-Lima 1982; Prance 1979, 1982; Santos et al. 2007). Nesse contexto, os brejos de altitude funcionariam como uma relíquia desse vínculo pretérito.

De fato, evidências de estudos palinológicos, de modelagem de distribuição de espécies, fito- e filogeográficos têm confirmado a teoria dos refúgios (Ledru 1993; Costa 2003; Santos et al. 2007; Carnaval & Moritz 2008) (no entanto, ver Porto et al. 2012).

Quando estudos palinológicos são considerados, torna-se evidente a separação histórica dos blocos florestais pelas áreas de vegetação abertas (Behling 1999, 2002; Lichte & Behling 1999) deixando-os largamente isolados (Ledru et al. 1998; Behling & Negrelle 2001) (no entanto, ver Colinvaux & de Oliveira 2001; Bush & de Oliveira 2006). Ledru (1993) demonstrou que entre 33.000 e 25.000 anos atrás a região central do Brasil era mais úmida do que atualmente, o que permitiu a cobertura florestal. Já Prado & Gibbs (1993) evidenciaram que o presente corredor de vegetação xérica brasileiro era coberto por uma extensiva floresta durante o Último Máximo Glacial (18.000-12.000 anos atrás). Além disso, um perfil palinológico do Pleistoceno mais recente (10.990-10.540 anos atrás) da Caatinga revelou uma alta concentração de pólen de táxons encontrados tanto na Amazônia quanto na Floresta Atlântica, provavelmente refletindo uma área bem drenada com clima propício à cobertura de florestas densas (de Oliveira et al. 1999).

Santos et al. (2007) avaliaram as relações biogeográficas entre a Amazônia, os brejos de altitude, a Floresta Atlântica do Nordeste e do Sudeste para a composição atual de plantas lenhosas. Os autores registraram evidências da separação desses dois grandes blocos florestais e de que a Floresta Atlântica não é uma região biogeográfica única, tendo em vista que a porção Nordeste (i.e. Centro de Endemismo Pernambuco, ver Santos et al. 2007) mostrou maiores relações florísticas com a Amazônia do que

com a porção Sudeste, e que os brejos de altitude são mais próximos floristicamente da porção Sudeste.

Concernente às plantas criptogâmicas, Santiago (2006) e Santiago et al. (2008) utilizou análises de Parcimônia de Endemismo e de similaridade para o grupo de pteridófitas da Floresta Atlântica Nordestina e não encontrou agrupamentos que viessem a confirmar essas relações biogeográficas. Especificamente para o grupo das briófitas, há relatos de convergência de espécies entre as florestas Atlântica e Amazônica (Yano & Andrade-Lima 1987; Pôrto 1992), contudo análises ou testes biogeográficos mais aprofundados devem ser realizados para dar maior suporte a essa hipótese.

Distribuição de briófitas: relações biogeográficas, de história de vida e ambientais

Em geral, espécies de briófitas têm grande abrangência geográfica (Schofield 1985), algumas são cosmopolitas, sendo bem distribuídas em todos os continentes, como, por exemplo, os musgos *Bryum argenteum* Hedw (Ochi 1981) e *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. e os gêneros de hepáticas *Frullania*, *Radula* e *Plagiochila*.

Para o hemisfério Norte, nas áreas boreais e árticas, a composição brioflorística é muito semelhante a da América do Norte, Ásia e Europa (Vanderpoorten & Goffinet 2009). Por exemplo, 70% das espécies de briófitas da Europa também ocorrem na América do Norte (Frahm & Vitt 1993). Por outro lado, nos trópicos, essas similaridades são menos evidentes, mas muitas famílias e gêneros de briófitas mostram ampla distribuição em todos os continentes (Schofield 1985).

Entretanto, disjunções existem, e algumas delas são muito marcantes, como a do gênero *Takakia*, encontrado em raros sítios na Ásia e no oeste do Canadá (Schofield & Crum 1972; Schofield 1985; Glime 2012). Pode-se citar, ainda, as hepáticas *Lepidozia reptans* (L.) Dumort., de distribuição holoártica – norte de América, Europa, norte da África e a maior parte de Ásia – mas também registrada em áreas montanhosas dos trópicos (Tan & Pócs 2000) e *Lophozia bicrenata* (Schmid. Ex Hoffm.) Dum., que ocorre na Serra da Mantiqueira (Brasil) e na América do Norte e Europa (Gradstein & Costa 2003).

Duas hipóteses competitivas, nomeadas vicariância e dispersão intercontinental, têm sido tradicionalmente propostas para explicar a distribuição ampla e disjunta, típica

de espécies de briófitas (Shaw 2001a; Désamoré 2009; Laenen 2009; Vanderpoorten et al. 2007, 2010). A primeira ocorre com a fragmentação de uma área biótica, separando as populações. A falta de fluxo gênico entre as novas sub-populações agora formadas pode levar à especiação alopátrica (Avice 2000). Já na dispersão, uma espécie tem o seu centro de origem e a partir dele seus descendentes ultrapassam uma barreira geográfica e se dispersam para outros lugares, ficando isolados e podendo formar espécies distintas (Avice 2000).

Esta dualidade entre as teorias "vicariante" e "dispersalista" não se restringe às briófitas; é parte de um debate muito mais amplo na biologia evolutiva que teve início com a publicação de "A origem das espécies" (Humphries & Parenti 1999). Segundo esses autores, Darwin não estava ciente de que os continentes estavam em movimento e acreditava em uma teoria que, posteriormente, seria designada dispersalista (Humphries & Parenti 1999). Na década de 1960, a reavaliação da teoria de Wegener sobre as placas tectônicas ofereceu uma explicação extraordinária para os padrões disjuntos observados em algumas plantas e animais. De acordo com Wegener, as distribuições atuais da biota no Planeta são o resultado de separações de massas de terra seguidas por eventos de especiação devido ao isolamento das populações, i.e., vicariância (Croizat 1982; Cecca 2009). Assim, eventos de dispersão passaram a ser vistos como mascaradores dos padrões estabelecidos pela deriva continental. Defensores da teoria vicariante argumentaram que qualquer padrão poderia ser explicado por dispersão, então, como consequência, nenhum padrão poderia ser confirmado como proveniente de dispersão (Laenen 2009). Portanto, a dispersão foi considerada um ruído irrelevante e os padrões de distribuição passaram a ser mais bem explicados por vicariância (McGlone 2005).

Um argumento utilizado pelos briólogos defensores da teoria vicariante é que a produção de esporos é rara em briófitas dióicas, que são mais comuns na natureza (Longton 1997). Setenta por cento das hepáticas e 60% dos musgos são, de fato, dióicas (Vanderpoorten & Goffinet 2009); então, a dioícia, juntamente com padrão geral de segregação espacial de plantas com sexos distintos, limita a reprodução sexuada. Por exemplo, segundo Longton & Schuster (1983), somente 14% dos musgos da Grã-Bretanha apresentam reprodução sexuada e espécies dióicas particularmente fracassaram em se reproduzir sexuadamente. Em um estudo sobre a biologia reprodutiva de musgos da Grã-Bretanha, Longton (1997) registrou que 87% das espécies para as quais esporófitos não eram conhecidos, eram dióicas, enquanto esporófitos eram

considerados ocasionais a comuns em 83% das espécies monóicas. Por outro lado, Longton (1992) e Laaka-Lindberg et al. (2000) verificaram que não somente a produção de esporófito, mas também a variabilidade genética (presumivelmente menor em espécies monóicas) e a eficiência do evento reprodutivo (às vezes, único nas dióicas) são importantes quando uma espécie tenta ocupar um novo sítio. Por conta disso, as dióicas seriam mais bem distribuídas do que as monóicas.

Como consequência da relativamente baixa reprodução sexuada entre as briófitas, algumas teorias biogeográficas têm desconsiderado a dispersão a longa distância para explicar os padrões de distribuição atuais (Vanderpoorten et al. 2007, 2010). De fato, o nível de diferenciação morfológica entre espécies de briófitas é relativamente mais baixo do que em angiospermas (Shaw 2001), o que tem sido usado como hipótese de que as briófitas têm um baixo potencial evolutivo e que suas distribuições são principalmente resultantes de deriva continental e de mudança climática pretérita (Schofield & Crum 1972; Laenen et al. 2001).

Já os defensores da teoria dispersalista argumentam que, devido à ampla distribuição de briófitas quando comparada a outros grupos de plantas, os seus padrões de distribuição são provenientes da eficiente dispersão dos seus diásporos, que, geralmente, se dá pelo vento (Schofield & Crum 1972; Frahm 2008). Para o grupo, há dois mecanismos principais de dispersão: sexuada e assexuada. Em termos gerais, a reprodução assexuada (produção de gemas e esporos) é assumida como uma solução de curto prazo para o crescimento e a manutenção da população, enquanto a reprodução sexuada traz vantagens em longo prazo, tais como a variabilidade genética e dispersão de longa distância, ampliando o alcance geográfico e ambiental das espécies (Miles & Longton 1992; Frahm 2008; Mota de Oliveira 2010).

O modo de reprodução das espécies tem sido um dos principais focos na biologia moderna e a evolução do sistema reprodutivo em plantas tem sido extensivamente estudada (Barrett & Harder 1996). Nas plantas, dois sistemas sexuais distintos, com, no entanto, muitas situações intermediárias, podem ser reconhecidos (Holsinger 1996). Espécies monóicas produzem gametângios masculinos e femininos no mesmo indivíduo, aumentando a probabilidade de autofecundação. Ao contrário, nas espécies dióicas, os sexos são separados e a probabilidade de reprodução sexuada é baixa devido à distância que deve ser percorrida para encontrar um parceiro (Wyatt 1985).

Apesar de a capacidade de dispersão a longa distância ser difícil de avaliar em estudos experimentais e a maioria destes ser feitos em escala local (Kimmerer 1991; Miles & Longton 1992), múltiplos eventos são documentados (Van Zanten 1978; Van Zanten & Pócs 1981; Gradstein et al. 1983; Van Zanten & Gradstein 1988; Miller & McDaniel 2004; Muñoz et al. 2004; Ah-Peng et al. 2007; Hutsemékers et al. 2008). Por exemplo, Hutsemékers et al. (2008) estudaram a colonização de briófitas em áreas de deposição de resíduos provenientes da mineração de carvão para documentar o alcance e a taxa de dispersão de diásporos em nível de paisagem. Os autores verificaram que 56% das espécies que compõem atualmente as áreas foram recrutadas de populações-fonte localizadas entre 6-86km no período inferior a 50 anos, provando a longa viabilidade dos esporos das espécies estudadas. Muñoz et al. (2004) demonstraram uma correlação entre a distribuição das espécies e a conectividade eólica entre ilhas disjuntas no Hemisfério Sul. Ademais, medições indiretas de dispersão a longa distância através da utilização de marcadores genéticos (Snäll et al. 2003) reforçam que a dispersão pode desempenhar um papel importante na distribuição das briófitas (Korpelainen et al. 2005).

Além disso, estudos filogeográficos comprovam a dispersão como processo determinante na distribuição de espécies de briófitas (Shaw 2001b; Shaw et al. 2003; Heinrichs et al. 2009). Segundo Heinrichs et al. (2009), ao revisar os trabalhos publicados sobre filogenia molecular e biogeografia filogenética de briófitas, afirmaram que distribuições intercontinentais de briófitas são muitas vezes causadas pela dispersão em vez de vicariância; além de muitos padrões disjuntos de distribuição de briófitas serem provavelmente formados por dispersão a curta distância, raros eventos de dispersão de longa distância, extinção, recolonização e diversificação. Sendo assim, uma simples hipótese, vicariância ou dispersão, não parece suficiente para explicar todas as disjunções existentes das briófitas, sendo necessária, portanto, uma análise holística dos fatores determinantes (Vanderpoorten et al. 2010).

Além dos fatores históricos que influenciam a distribuição das briófitas (posição dos continentes ao longo do tempo, variações climáticas pretéritas e flutuações no nível do mar), variáveis ambientais presentes também são responsáveis por moldar os padrões atuais. Estudos realizados na Europa utilizando Sistema de Informação Geográfica (SIG), em escala de paisagem, têm combinado informações de riqueza de espécies com fatores ambientais (O'Brien 1998; Cowley et al. 2000; Lenton et al. 2000) e encontrado

fortes relações, principalmente da cobertura de floresta e das condições edáficas (Vanderpoorten & Engels 2002, 2003; Söderström 2006; Vanderpoorten et al. 2005, 2006).

Em escala local, a literatura indica a influência de características microambientais como altitude, pH e tipo de substrato, luz, temperatura e umidade relativa do ar na ocorrência de espécies (Pôrto 1992; Coley et al. 1993; Costa 1999; Wiklund & Rydin 2004; Silva & Pôrto 2010). Já em nível de paisagem, estudos sobre a distribuição de briófitas em localidades do Rio de Janeiro-São Paulo evidenciaram que a riqueza e a diversidade da brioflora tem como principais condicionantes fatores topográficos, edáficos, climáticos e de vegetação (Costa & Lima 2005; Santos & Costa 2010; Santos et al. 2011). Interessantemente, variáveis ecológicas locais podem ser melhor preditoras da composição brioflorística do que variáveis regionais de paisagens (Bacaro et al. 2008). Provavelmente, isso acontece porque as inúmeras variáveis relevantes para a ocorrência de briófitas podem exibir toda a sua gama em distâncias muito curtas, sem importar a extensão da região em estudo, aliado ao fato de que populações de briófitas podem estar distribuídas em uma área muito pequena (Mota de Oliveira 2010).

Recentemente, atividades humanas também se tornaram cada vez mais importantes na alteração dos padrões de distribuição de briófitas. A interferência antrópica influencia de maneira significativa estas plantas, tendo em vista que o processo de degradação resultante das atividades humanas vem tornando os microambientes favoráveis para o desenvolvimento do grupo cada vez mais escassos. Trabalhos abordando o efeito nocivo da degradação ambiental sobre a brioflora têm sido intensificados nas últimas décadas (Pócs 1980; Kantvilas & Jarman 1993; Acebey et al. 2003; Germano 2003; Zartman 2003; Alvarenga & Pôrto 2007, 2009, 2010; Silva & Pôrto 2009, 2010; Oliveira et al. 2011). Essas pesquisas confirmam que, de modo semelhante a outros organismos, a fragmentação e a perda de habitats originais têm ocasionado a perda de riqueza e diversidade desse grupo de plantas.

No entanto, determinados grupos funcionais são mais diretamente afetados do que outros. Especialistas de sombra, epífilas (colonizadoras de folhas) e espécies com forma de crescimento pendente são os primeiros grupos a serem prejudicados pelo desaparecimento dos habitats de floresta madura (Gradstein 1992a,b; Alvarenga & Pôrto 2007; Alvarenga et al. 2009, 2010; Silva & Pôrto 2009, 2010; Oliveira et al.

2011); ainda, com as alterações microclimáticas relacionadas a perda de habitat, espécies generalistas e especialistas de sol podem ser beneficiadas (Costa 1999; Acebey et al. 2003)

A influência da fragmentação e, conseqüentemente, do efeito de borda, sobre as briófitas começaram a receber atenção e são mais comuns em florestas temperadas (Moen & Jonsson 2003; Pharo et al. 2004; Gignac & Dale 2005; Baldwin & Bradfield 2005; Hylander 2005). Para as Florestas Tropicais brasileiras, vale citar os trabalhos de Costa (1999), Zartman (2003), Zartman e Nascimento (2006), Pôrto et al. (2006), Alvarenga & Pôrto (2007), Alvarenga et al. (2009, 2010), Silva & Pôrto (2009, 2010; 2013) e Oliveira et al. (2011), com importantes contribuições para o entendimento da relação da brioflora com fragmentação e efeito de borda. Por exemplo, Costa (1999) demonstrou que fragmentos de uma área de Floresta Atlântica do Sudeste em fase inicial de regeneração apresentaram maiores taxas de perda de riqueza, principalmente de grupos funcionais mais sensíveis. Já para a Floresta Atlântica do Nordeste, a fim de compreender os processos ecológicos determinantes para as assembléias de briófitas, diversas variáveis foram analisadas, tais como: o tamanho do remanescente, a proximidade com outros fragmentos florestais, o percentual de vegetação secundária e a distância da borda (Alvarenga et al 2009; Silva e Pôrto 2009, 2010). Estes autores comprovaram a fragilidade de alguns grupos, como as hepáticas em relação aos musgos e a epífilas em relação às epífitas; ainda, sugerem que somente uma análise holística dos fatores de paisagem e de eventos de perturbação humana podem explicar a distribuição espacial, a riqueza e a diversidade de briófitas na Floresta Atlântica Nordestina.

Apesar do conhecimento geral das briófitas ser razoavelmente bem estabelecido, detalhes dos padrões de distribuição são melhor conhecidos para espécies de climas temperados e árticos do que para aquelas dos trópicos (Schofield 1985). Para o Brasil, a brioflora vem sendo mais bem documentada nas últimas três décadas (Churchill 1998; Yano 1981, 1984, 1989, 1995, 2004, 2006, 2008, 2010). Contudo, ainda há lacunas de coleta em alguns Estados, sendo a região Sudeste com o maior número de publicações.

Dessa forma, entender as causas dos padrões de distribuição das briófitas, dada a sua sensibilidade a impactos do habitat, em relação a parâmetros ambientais, biogeográficos e de história de vida constitui-se conhecimento importante para o manejo e a conservação eficiente da brioflora.

Panorama da conservação de briófitas no Brasil

A biologia da conservação é uma ciência multidisciplinar relativamente nova, desenvolvida com a finalidade de lidar com a dramática perda de biodiversidade mundial, tendo em vista a necessidade de tomar medidas para antecipar, prevenir e reverter a tendência atual (Heywood & Iriondo 2003).

Portanto, o interesse pela conservação tem aumentado progressivamente, visando incluir uma ampla gama de táxons que costumava ser completamente ignorada (Vanderpoorten & Hallingbäck 2009). Essa situação tem sido, mais recentemente, alterada graças à crescente conscientização da necessidade de incluir criptógamos em geral, e, em particular, briófitas, em programas de conservação (Hylander & Jonsson 2007). Em 1999, a IUCN (União Internacional para Conservação da Natureza), através do grupo de especialistas em briófitas (Species Survival Commission), adaptou as suas regras para a criação de um Plano de Ação visando a conservação das espécies de briófitas no mundo (Hallingbäck & Hodgetts 2000). Nesse documento, 92 espécies são citadas com diferentes graus de ameaça, incluindo duas hepáticas do Brasil em perigo de extinção (EN): *Drepanolejeunea aculeata* Bischl. e *Myriocoleopsis fluviatilis* (Steph.) E. Reiner & Gradst.

O crescente interesse na conservação de briófitas é justificado por múltiplas razões. Embora essas plantas não sejam os elementos mais visíveis na paisagem, desempenham importantes papéis ecológicos, como balanço hídrico, controle de erosão, fixação de nitrogênio, ou simplesmente no fornecimento de habitat para outros organismos (Richards 1984; Longton 1992; Chang et al. 2002). Ademais, as briófitas muitas vezes apresentam níveis locais de riqueza que são comparáveis ou mesmo superiores aos de angiospermas. Por exemplo, em uma floresta na Tasmânia, a razão entre o número de espécies de briófitas epífitas em relação ao de angiospermas foi de 3,4:1 (Jarman & Kantvilas 1995). Por último, e talvez mais importante, os padrões de diversidade em briófitas não necessariamente seguem os padrões presentes em outros táxons melhor estudados (Sérgio et al. 2000; Pharo et al. 2005), de modo que um conceito ampliado de biodiversidade tornou-se cada vez mais necessário.

Atualmente, estima-se que ocorram no país 1.526 espécies de briófitas, sendo 271 (18%) endêmicas: 3 antóceros, 86 hepáticas e 182 musgos (Costa et al. 2012). No Brasil, os trabalhos que tratam de conservação de briófitas incluem análises nacionais, regionais e locais. Análises em nível nacional foram realizadas por Yano et al. (2005),

que elaboraram a primeira lista vermelha de briófitas para o Brasil, onde estão citadas 17 espécies, recentemente reconhecidas oficialmente como ameaçadas pelo Ministério do Meio Ambiente na Instrução Normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008. Em nível regional, o número de estudos é maior, com várias espécies com algum grau de ameaça (Tabela 1).

Tabela 1. Estudos realizados no Brasil com registro de espécies de briófitas com algum grau de ameaça.

Área de estudo	Nº de táxons com algum grau de ameaça	Referência
Estado de Pernambuco	20 (6,5%)	Pôrto & Germano (2002)
Brejos de altitude de Pernambuco e Paraíba	8 (3,3%)	Pôrto et al. (2004)
Estado do Rio de Janeiro	150 (14%)	Costa et al. (2005)
Estado de Minas Gerais	26 (2,8%)	Costa et al. (2006)
Estado do Espírito-Santo	36 (9%)	Yano & Peralta (2007)
RPPN El Nagual (Rio de Janeiro)	4 (3%)	Santos & Costa (2008)
Estado do Rio de Janeiro	150 (42%)	Costa & Santos (2009)

Da mesma forma, diversos trabalhos foram desenvolvidos na Estação Ecológica de Murici (Alagoas), abordando importantes aspectos de ecologia de populações e comunidades de briófitas em relação à conservação deste grupo de plantas (Alvarenga et al. 2009, 2010; Silva & Pôrto 2009, 2010; Oliveira et al. 2011). Todos esses autores evidenciaram a exuberante brioflora local, inclusive reportaram seis espécies endêmicas da Floresta Atlântica e um novo táxon para a ciência: *Ceratolejeunea atlantica* Alvarenga & Ilkiu-Borges (Ilkiu-Borges & Alvarenga 2008).

Alvarenga et al. (2009) observaram tendências decrescentes na abundância regional e local de briófitas epífilas em relação à perda de habitat, o que foi relacionado

com a expressão sexual e assexual; espécies férteis colonizaram mais sítios nos fragmentos do que espécies inférteis. Além disso, evidenciaram que as métricas de paisagem estudadas (tamanho de fragmento, grau de isolamento, proporção de vegetação secundária e de área núcleo, etc.) explicaram melhor a variação na riqueza de epífilas do que a distância da borda da floresta (0-100m), sugerindo que a modificação abrupta da qualidade do habitat resultante da criação de bordas é secundária na área estudada, enquanto modificações irreversíveis na paisagem ainda desempenham um papel importante.

Silva & Pôrto (2010) também não registraram variação significativa na riqueza e na diversidade de briófitas com a distância da borda, desta vez analisada até 1084m adentro em um fragmento. Dentre as variáveis microclimáticas avaliadas, somente altitude mostrou-se significativa, especialmente para epífilas e especialistas de sombra. Ainda para a Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil, Alvarenga et al. (2010) tiveram importantes resultados para a conservação de briófitas nesse ambiente: 1) os fragmentos considerados conservados comportavam uma riqueza total de briófitas 10 vezes maior do que os não conservados; 2) as espécies com amplitude ecológica restrita, tais como especialistas de sol e sombra foram mais negativamente afetadas por perda de habitat do que generalistas. Embora a riqueza média das generalistas não diminuiu em fragmentos conservados, a contribuição proporcional deste grupo funcional aumentou, provando que estas taxa são os que persistem em áreas antropizadas; 3) os fragmentos de floresta capazes de abrigar uma flora rica de briófitas na área estudada têm mais de 300 ha, o que está longe de ser um tamanho comum entre os fragmentos de Floresta Atlântica.

Sendo assim, todos esses trabalhos realizados na Floresta Atlântica nordestina convergem no sentido de que o empobrecimento das comunidades briofíticas se expressa de modo mais acentuado sobre grupos ecológicos de maior sensibilidade a impactos e a perda de habitat, como as epífitas de sombra e as epífilas, sobretudo nos remanescentes pequenos, isolados, com menor variação altitudinal e com elevados graus de abertura do dossel.

Frente a essas observações, faz-se urgente a necessidade da continuidade dos estudos de conservação da brioflora com o objetivo de identificar quais fatores afetam negativamente as espécies, qual o grau de ameaça destas e, o mais importante, fornecer subsídios para a política de conservação das briófitas no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acebey, A.; Gradstein, S.R. & Krömer, T., 2003. Species diversity and habitat diversification of epiphytic bryophytes in submontane forest and fallows in Bolivia. *Journal of Tropical Ecology* 19: 9-18.
- Ah-Peng, C.; Chuah-Petiot, M.; Descamps-Julien, B.; Bardat, J.; Stamenoff P. & Strasberg, D. 2007. Bryophyte diversity and distribution along an altitudinal gradient on a lava flow in La Reunion. *Diversity and Distributions* 13: 654-662.
- Alvarenga, L.D.P. & Pôrto, K.C. 2007. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation* 34(3): 415-427.
- Alvarenga, L.D.P.; Pôrto, K.C. & Silva, M.P.P. 2009. Relations Between Regional–Local Habitat Loss and Metapopulation Properties of Epiphyllous Bryophytes in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 41: 682-691.
- Alvarenga, L.D.P.; Pôrto, K.C. & Oliveira, J.R.P.M. 2010. Habitat loss effects on spatial distribution of epiphytic bryophytes in a Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity and Conservation* 19: 619-635.
- Andrade-Lima, D. 1960. Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Arquivo do Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco* 5: 305-341.
- Andrade-Lima, D. 1966. Vegetação. In: IBGE, *Atlas Nacional do Brasil*. Conselho Nacional de Geografia, Rio de Janeiro.
- Andrade-Lima, D. 1982. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. In: Prance G.T. (ed.). *Biological diversification in the Tropics*. Columbia University, New York. Pp. 245-254.
- Avice, J. 2000. *Phylogeography: The History and Formation of Species*. President and Fellows of Harvard College.
- Bacaro, G.; Rocchini, D.; Bonini, I.; Marignani, M.; Maccherini, S. & Chiarucci, A. 2008. The role of regional and local scale predictors for plant species richness in Mediterranean forests. *Plant Biosystems* 142: 630-642.
- Barrett, S.C.H. & Harder, L.D. 1996. Ecology and evolution of plant mating. *Trends in Ecology & Evolution* 11: A73-A79.
- Behling, H. 1999. Late Quaternary vegetational and climatic changes in Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99: 143-156.
- Behling, H. 2002. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 177: 19-27.
- Behling, H. & Negrelle, R.R.B. 2001. Tropical rain forest and climate dynamics of the Atlantic lowland, Southern Brazil, during the late Quaternary. *Quaternary Research* 56: 383-389.
- Bigarella, J.J. & Andrade–Lima, D. 1982. Paleoenvironmental changes in Brazil. In: Prance G.T. (ed.). *Biological diversification in the Tropics*. Columbia University, New York. Pp. 27-40.
- Bush, M.B. & de Oliveira, P.E. The rise and fall of the Refugial Hypothesis of Amazonian Speciation: a paleoecological Perspective. *Biota Neotropica* 6 (n1) – <http://www.biotaneotropica.org.br/v6n1/pt/abstract?point-of-view+bn00106012006>.

- Carnaval, A.C. & Moritz, C. 2008. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Biogeography* 35: 1187-1201.
- Cecca, F. 2009. The biogeographic dimension of life evolution. *Comptes Rendus Palevol* 8: 119-132.
- Chang, S.-C.; Lai, I.-L.; Wu, J.-T. 2002. Estimation of fog deposition on epiphytic bryophytes in a Subtropical Montane Forest ecosystem in Northeastern Taiwan. *Atmospheric Research* 64: 159-167.
- Churchill, S.P. 1998. Catalog of Amazonian Mosses. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 85: 191-238.
- Coley, P.D.; Kursar, T.A. & Machado, J.-L. 1993. Colonization of tropical rain forests leaves by epiphylls: effects of site and host plant leaf lifetime. *Ecology* 74: 619-623.
- Colinvaux, P.A. & de Oliveira, P.E. Amazon plant diversity and climate through the Cenozoic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 166: 51-63.
- Conservation International do Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas e Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2000. Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. MMA, Brasília.
- Costa, D.P. 1999. Epiphytic Bryophyte Diversity in Primary and Secondary Lowland Rainforest in Southeastern Brazil. *Bryologist* 102: 320-326.
- Costa, L.P. 2003. The historical bridge between the Amazon and the Atlantic Forest of Brazil: a study of molecular phylogeography with small mammals. *Journal of Biogeography* 30(1): 71-86.
- Costa, D.P. & Lima, F.M. 2005. Moss diversity in the tropical rainforest of Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 28(4): 671-685.
- Costa, D.P. & Santos, N.D. 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, L.P.; Leite, Y.L.R.; Fonseca, G.A.B.D. & Fonseca, M.T.D. 2000. Biogeography of South American forest mammals: endemism and diversity in the Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 872-881.
- Costa, D.P.; Imbassahy, C.A.A. & Silva, V.P.A.V. 2005. Diversidade e importância das espécies de briófitas na conservação dos ecossistemas do estado do Rio de Janeiro. *Rodriguésia* 56(87): 13-49.
- Costa, D.P.; Pôrto, K.C.; Starling, F.; Santos, N.D. & Yano, O. 2006. Briófitas. 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. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte. Pp. 42-43.
- Costa, D.P.; Câmara, P.E.A.S.; Pôrto, K.C.; Luiz-Ponzo, A.P. & Ilkiu-Borges, A.L. 2012. Briófitas. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB000006>).
- Cowley, M.J.R.; Wilson, R.J.; Leon-Cortes, J.L.; Gutierrez, D.; Bulman, C.R. & Thomas, C.D. 2000. Habitat-based statistical models for predicting the spatial

- distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology* 37: 60–72.
- Cox, C.B. & Moore P.D. 2009. *Biogeografia – uma abordagem ecológica e evolucionária*. 7ª ed. LTC Editora, Rio de Janeiro.
- Croizat, L. 1982. Vicariance/Vicariism, Panbiogeography, "Vicariance Biogeography," Etc.: A Clarification. *Systematic Zoology* 31: 291-304.
- Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. United Kingdom, London.
- de Oliveira, P.E.; Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 1999. Late Pleistocene Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian Caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 145: 319-337.
- de Paula, M.D. 2009. *Papel da biodiversidade na retenção de carbono em uma paisagem fragmentada da Mata Atlântica Nordeste*. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco.
- Désamoré, A. 2009. From Engler's relictualism model to Wallace's dynamic interchange model: Genetic structure and gene flow between Macaronesian islands and the neighboring continents in the heathers *Erica arborea* and *Erica scoparia*. Dissertação de Mestrado. Université de Liège, Bélgica.
- Fiaschi, P. & Pirani, J.R. 2009. Review of plant biogeographic studies in Brazil. *Journal of Systematics and Evolution* 47: 477–496.
- Frahm, J.-P. 2008. Diversity, dispersal and biogeography of bryophytes (mosses). *Biodiversity and Conservation* 17: 277-284.
- Frahm, J.P. & Vitt, D.H. 1993. Comparisons between the Moss floras of North-America and Europe. *Nova Hedwigia* 56: 307-333.
- Fundação Biodiversitas. 2005. *Espécies Ameaçadas* online. (<http://www.biodiversitas.org.br/boletim/EOO/>).
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1993. *Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro.
- Galindo-Leal, C. & Câmara, I.G. 2005. Status do hotspot Mata Atlântica: uma síntese. In: Galindo-Leal C. & Câmara I.G. (eds.). *Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas*. Fundação SOS Mata Atlântica - Belo Horizonte: Conservação Internacional, São Paulo. Pp. 3-12.
- Gentry, A.H. 1992. Tropical forest biodiversity: distributional patterns and their conservational significance. *Oikos* 63: 19-28.
- Germano, S.R. 2003. *Florística e ecologia das comunidades de briófitas em um remanescente de Floresta Atlântica (Reserva Ecológica de Gurjaú, Pernambuco, Brasil)*. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, UFPE, Recife.
- Girão, L.C.; Lopes, A.V.; Tabarelli, M. & Bruna, E.M. 2007. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic Forest landscape. *PLoS ONE* 2(9): e908. doi:10.1371/journal.pone.0000908

- Glime, J. Bryophyte Ecology (online). <http://www.bryoecol.mtu.edu>, acessado em 20/08/2012.
- Gradstein, S.R. 1992a. Threatened bryophytes of the Neotropical Rain Forest: a status report. *Tropical Bryology* 6: 83-93.
- Gradstein, S.R. 1992b. The vanishing tropical rain forest as an environment for bryophytes and lichens. In: Bates J.W. & Farmer A.M. (eds.). *Bryophytes in a Changing Environment*. Claredon Press, Oxford. Pp. 232-256.
- Gradstein, S.R. & Costa, D.P. 2003. The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 87: 1-301.
- Gradstein, S.R.; Pócs, T. & Vána, J. 1983. Disjunct hepaticae in tropical America and Africa. *Acta Botanica Hungarica* 29: 127-171.
- Gradstein, S.R.; Churchill, S.P. & Salazar, A.N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 86: 1-577.
- Haffer, J. 1969. Speciation in Amazonian forest birds. *Science* 165: 131-137.
- Hallingbäck, T. & Hodgetts, N. 2000. Mosses, liverworts & hornworts: a status survey and conservation action plan for bryophytes. IUCN, Gland.
- Heinrichs, J.; Hentschel, J.; Feldberg, K.; Bombosch, A. & Schneider, H. 2009. Phylogenetic biogeography and taxonomy of disjunctly distributed bryophytes. *Journal of Systematics and Evolution* 47: 497-508.
- Heywood, V.H. & Iriondo, J.M. 2003. Plant conservation: old problems, new perspectives. *Biological Conservation* 113: 321-335.
- Holsinger, K.E. 1996. Pollination biology and the evolution of mating systems in flowering plants. *Evolutionary Biology* 29: 107-149.
- Humphries, C.J. & Parenti, L.R. 1999. *Cladistic biogeography: interpreting patterns of plant and animal distributions*. Oxford University Press, Oxford.
- Hutsemékers, V.; Dopagne, C. & Vanderpoorten, A. 2008. How far and how fast do bryophytes disperse at the landscape scale? *Diversity and Distributions* 14: 483-492.
- Hylander, K. & Jonsson, B.G. 2007. The conservation ecology of cryptogams. *Biological Conservation* 135: 311-14.
- Ilkiu-Borges, A.L. & Alvarenga, L.D.P. 2008. On *Ceratolejeunea atlantica*, a new species of Lejeuneaceae (Jungermanniopsida) from Brazil. *Nova Hedwigia* 86: 237-241.
- Jarman, S.J. & Kantvilas, G. 1995. Epiphytes on an old Huon pine tree (*Lagarostrobos franklinii*) in Tasmanian rainforest. *New Zealand Journal of Botany* 33: 65-78.
- Kantvilas, G. & Jarman, S.J. 1993. The cryptogamic flora of an isolated rainforest fragment in Tasmania. *Botanical Journal of Linnean Society* 111: 211-228.
- Kimmerer, R.W. 1991. Reproductive ecology of *Tetraphis pellucida*. 2. Differential success of sexual and asexual propagules. *Bryologist* 94: 284-288.
- Korpelainen, H.; Pohjamo, M. & Laaka-Lindberg, S. 2005. How efficiently does bryophyte dispersal lead to gene flow? *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 97: 195-205.

- Laaka-Lindberg, S.; Hedderson, T.A. & Longton, R.E. 2000. Rarity and reproductive characters in the british hepatic flora. *Lindbergia* 25: 78-84.
- Laenen, B. 2009. Role of sexual determinism in the genetic structure and diversity in bryophytes: a model based on two sister taxa in the genus *Radula*. Dissertação de Mestrado. Université de Liège, Bélgica.
- Laenen, B.; Désamoredé, A.; Devos, N.; Shaw, A.J.; González-Mancebo, J.M.; Carine, M.A. & Vanderpoorten, A. 2011. Macaronesia: a source of hidden genetic diversity for post-glacial recolonization of western Europe in the leafy liverwort *Radula lindenberghiana* *Journal of Biogeography* 38: 631–639.
- Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. *Quaternary Research* 39: 90-98.
- Ledru, M.-P.; Salgado-Labouriau, M.L. & Lorscheitter, M.L. 1998. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10000 yr. B.P. Review of Palaeobotany and Palynology 99: 131-142.
- Lenton, S.M.; FA, J.E. & Del Val, J.P. 2000. A simple non-parametric GIS model for predicting species distribution: endemic birds in Bioko Island, West Africa. *Biodiversity and Conservation* 9: 869–885.
- Lichte, M. & Behling, H. 1999. Dry and cold climatic conditions in the formation of the present landscape in Southeastern Brazil: an interdisciplinary approach to a controversial topic. *Zeitschrift für Geomorphologie* 43: 341-358.
- Lista de Espécies da Flora do Brasil. 2012. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012>).
- Longton, R.E. 1992. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems. In: Bates J.W. & Farmer A.M. (eds.). *Bryophytes in a Changing Environment*. Clarendon Press, Oxford. Pp. 32-76.
- Longton RE. 1997. Reproductive biology and life-history strategies. *Advances in Bryology* 6: 65-101.
- Longton, R.E. & Schuster, R.M. 1983. Reproductive biology. In: Schuster R.M. (ed.). *New Manual of Bryology*. Hattori Botanical Laboratory, Nichinan. Pp. 386-462.
- Martins, F.M. 2011. Historical biogeography of the Brazilian Atlantic Forest and the Carnaval-Moritz model of Pleistocene refugia: what do phylogeographical studies tell us? *Biological Journal of the Linnean Society* 104: 499-509.
- McGlone, M.S. 2005. Goodbye Gondwana. *Journal of Biogeography* 32: 739-740.
- Miles, C.J. & Longton, R.E. 1992. Deposition of moss spores in relation to distance from parent gametophytes. *Journal of Bryology* 17: 355-368.
- Miller, N.G. & McDaniel, S.F. 2004. Bryophyte dispersal inferred from colonization of an introduced substratum on Whiteface Mountain, New York. *American Journal of Botany* 91: 1173-1182.
- Mittermeier, R.A.; Robles-Gil, P.; Hoffmann, M.; Pilgrim, J.; Brooks, T.; Mittermeier, C.G.; Lamoreux, J. & Da Fonseca, G.A.B. 2004. Hotspots revisited. CEMEX, Mexico.
- Mota de Oliveira, S. 2010. Diversity of epiphytic bryophytes across the Amazon. Tese de doutorado. Universiteit Utrecht, Holanda.

- Muñoz, J.; Felicísimo, A.M.; Cabezas, F.; Burgaz, A.R. & Martinez, I. 2004. Wind as a longdistance dispersal vehicle in the Southern Hemisphere. *Science* 304: 1144-1147.
- O'Brien, E.M. 1998. Water-energy dynamics, climate, and prediction of woody plant species richness: a general model. *Journal of Biogeography* 25: 379-398.
- Ochi, H. 1981. A revision of the Neotropical Bryoideae, Musci (Second part). *Journal of Faculty Education Tottori University* 30: 21-55.
- Oliveira, P.E. 2000. Esfriamento glacial e expansão de florestas úmidas e frias no último máximo glacial da Amazônia. In: *Anais do 51º Congresso Nacional de Botânica, Brasília*.
- Oliveira-Filho, A.T. & Ratter, J.A. 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.
- Oliveira, M.A.; Grillo, A.S. & Tabarelli, M. 2004. Forest edge in the Brazilian Atlantic forest: drastic changes in tree species assemblages. *Oryx* 38(4): 389-394.
- Oliveira, J.R.P.M.; Pôrto, K.C. & Silva, M.P.P. 2011. Richness preservation in a fragmented landscape: a study of epiphytic bryophytes in an Atlantic forest remnant in Northeast Brazil. *Journal of Bryology* 33(4): 279-290.
- Peixoto, O.L.; Caramaschi, U.; Freire, E.M.X. 2003. Two new species of *Phyllodytes* (Anura: Hylidae) from the state of Alagoas, northeastern Brazil. *Herpetologia* 59: 235-246.
- Pharo, E.J. & Zartman, C.E. 2007. Bryophytes in a changing landscape: The hierarchical effects of habitat fragmentation on ecological and evolutionary processes. *Biological Conservation* 135: 315-325.
- Pharo, E.J.; Kirkpatrick, J.B.; Gilfedder, L.; Mendel, L. & Turner, P.A.M. 2005. Predicting bryophyte diversity in grassland and eucalypt-dominated remnants in subhumid Tasmania. *Journal of Biogeography* 32: 2015-2024.
- 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 Academia of Science Hungarica* 26(1-2): 143-167.
- Pôrto, K.C. 1990. Bryoflores d'une forêt de plaine et d'une forêt d'altitude moyenne dans l'État de Pernambuco (Brésil); Analyse floristique. *Cryptogamie, Bryologie, Lichénologie* 11: 109-161.
- Pôrto, K.C. 1992. Bryoflores d'une forêt de plaine et d'une forêt d'altitude moyenne dans l'État de Pernambuco (Brésil); 2. Analyse écologique comparative des forêts. *Cryptogamie, Bryologie, Lichénologie* 13(3): 187-219.
- Pôrto, K.C. & Germano, S.R. 2002. Biodiversidade e importância das briófitas na conservação dos ecossistemas naturais de Pernambuco. In: Tabarelli M. & Silva J.M.C. (orgs.). *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco*. Editora Massangana, Recife. Pp 125-152.
- Pôrto, K.C.; Cabral, J.J.P. & Tabarelli, M. 2004. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. *História Natural, Ecologia e Conservação*. MMA, Brasília.
- Porto, T.J.; Carnaval, A.C. & Rocha, P.L.B. 2012. Evaluating forest refugial models using species distribution models, model filling and inclusion: a case study with 14

- Brazilian species. Diversity and Distributions. doi: 10.1111/j.1472-4642.2012.00944.x
- Prado, D.E. & Gibbs, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forest South America. *Annals of the Missouri Botanic Garden* 80: 902-927.
- Prance, G.T. 1979. Distribution patterns of lowland Neotropical species with relation to history, dispersal and ecology, with special reference to Chrysobalanaceae, Caryocaraceae and Lecythidaceae. In: Larsen K. & Holm-Nielsen, L.B. (eds.). *Tropical botany*. Academic Press, London. Pp. 59-87.
- Prance, G.T. 1982. Forest refuges: evidence from woody angiosperms. In: Prance, G.T. (ed.). *Biological diversification in the tropics*. Columbia University Press, New York. Pp.137-58.
- Proctor, M.C.F. 1990. The physiological basis for bryophyte production. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104: 61–77.
- Ranta, P.; Blom, T.; Niemelä, J.; Joensuu, E. & Siitonen, M. 1998. The Atlantic Rain Forest of Brasil: size, shape and distribution of forest fragments. *Biodiversity and Conservation* 7: 385-403.
- Rede de ONGs da Mata Atlântica 2006. *Mata Atlântica, uma rede pela floresta*. Campanili, M. & Prochnow, M. (Orgs.). RMA, Brasília.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F. & Hirota, M.M. 2009. Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141–1153.
- Richards, P.W. 1984. The Ecology of Tropical Forest Bryophytes. In: Schuster R.M. (ed.). *New Manual of Bryology*. The Hattori Botanical Laboratory, Nichinan. Pp. 1233-1270.
- Rizzini, C.T. 1963. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-sociológica) do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia* 25: 1-64.
- Roda, S.A. 2003. *Aves do Centro de Endemismo Pernambuco: composição, biogeografia e conservação*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Pará e Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Sales, M.F.; Mayo, S.J. & Rodal, M.J.N. 1998. *Plantas vasculares das florestas serranas de Pernambuco: um checklist da flora ameaçada dos brejos de altitude*. Pernambuco-Brasil. UFRPE, Recife.
- Santiago, A.C.P. 2006. *Pteridófitas da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco: Florística, Biogeografia e Conservação*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Santiago, A.C.P.; Santos, A.M.M. & Barros, I.C.L. 2008. Considerações sobre a biogeografia de pteridófitas: um estudo de caso na Floresta Atlântica Nordeste. In: Loiola M.I.; Baseia I.G. & Lichston J.E. (eds.). *Atualidades, desafios e perspectivas da Botânica no Brasil*. Imagem Gráfica, Natal. Pp. 422-424.
- Santos, A.M.M. 2006. *Flora do Centro de endemismo Pernambuco: Biogeografia e conservação*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco.
- Santos, N.D. & Costa, D.P. 2008. A importância de Reservas Particulares do Patrimônio Natural para a conservação da brioflora da Mata Atlântica: um estudo em El Nagual, Magé, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 22(2): 359-372.

- Santos, N.D. & Costa, D.P. 2010. Phytogeography of the liverwort flora of the Atlantic Forest of south-eastern Brazil. *Journal of Bryology* 32: 9-22.
- Santos, A.M.M.; Cavalcanti, D.R.; Silva, J.M.C. & Tabarelli, M. 2007. Biogeographical relationships among tropical Forest in North-eastern Brazil. *Journal of Biogeography* 34: 437-446.
- Santos, N.D.; Costa, D.P.; Kinoshita, L.S. & Sheperd, G.J. 2011. Aspectos brioflorísticos e fitogeográficos de duas formações costeiras de Floresta Atlântica da Serra do Mar (Ubatuba, SP). *Biota Neotropica* (Edição em português. Impresso) 11: 1-14.
- Schofield, W.B. 1985. *Introduction to Bryology*. MacMillan Publishing, New York.
- Schofield, W.B. & Crum, H.A. 1972. Disjunctions in bryophytes. *Annals of Missouri Botanical Garden* 59: 174-202.
- Shaw, A.J. 2001a. Biogeographic patterns and cryptic speciation in bryophytes. *Journal of Biogeography* 28: 253-261.
- Shaw, A.J. 2001b. Molecular phylogeography and cryptic speciation in the mosses *Mielichhoferia elongata* and *M. mielichhoferiana* (Bryaceae). *Molecular Ecology* 9: 595-608.
- Shaw, A.J.; Werner, O. & Ros, R.M. 2003. Intercontinental Mediterranean disjunct mosses: morphological and molecular patterns. *American Journal of Botany* 90: 540-550.
- Silva, M.P.P. & Pôrto, K.C. 2009. Effect of fragmentation on the community structure of epixylic bryophytes in Atlantic Forest remnants in the Northeast of Brazil. *Biodiversity and Conservation* 18: 317-337.
- Silva, M.P.P. & Pôrto, K.C. 2010. Spatial structure of bryophyte communities along an edge-interior gradient in an Atlantic Forest remnant in Northeast Brazil. *Journal of Bryology* 32: 101-112.
- Silva, M.P.P. & Pôrto, K.C. 2013. Bryophyte communities along horizontal and vertical gradients in a human-modified Atlantic Forest remnant. *Botany*: in press.
- Silva, J.M.C. & Tabarelli, M. 2000. Tree species impoverishment and the future flora of the Atlantic Forest of northeast Brazil. *Nature* 404: 72-74.
- Silva, J.M.C. & Tabarelli, M. 2001. The future of the Atlantic Forest in Northeastern Brazil. *Conservation Biology* 15(4): 819-820.
- Siqueira-Filho, J.A. 2003. Fenologia da floração, ecologia da polinização e conservação de Bromeliaceae na Floresta Atlântica Nordeste. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Snäll, T.; Ribeiro, P.J. & Rydin, H. 2003. Spatial occurrence and colonisations in patch-tracking metapopulations: local conditions versus dispersal. *Oikos* 103: 566-578.
- Söderström, L. 2006. Conservation biology of Bryophytes. *Lindbergia* 31: 24-32.
- Stehmann, J.R.; Forzza, R.C.; Salino, A.; Sobral, M.; Costa, D.P. & Kamino, L.H.Y. 2009. *Plantas da Floresta Atlântica*. Instituto de Pesquisas Jardim Botânica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Suguio, K.; Angulo, R.J.; Carvalho, A.M.; Corrêa, I.C.S.; Tomazelli, L.J.; Vilwock, J.A. & Vital, H. 2005. Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: Souza C.R.G.;

- Suguio K.; Oliveira A.M.S. & Oliveira P.E. (eds.). Quaternário do Brasil. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA/ Holos Editora, Ribeirão Preto.
- Tabarelli, M.; Pinto, L.P.; Silva, J.C.; Hirota, M. & Bedê, L. 2005. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conservation Biology* 19(3): 695–700.
- Tan, B.C. & Pócs, T. 2000. Bryogeography and conservation of bryophytes. In: Shaw A.J. & Goffinet B. (eds.). *Bryophyte Biology*, 1^a edição. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 403-448.
- Thomas, W.; Carvalho, A.; Amorim, A.; Garison, J. & Arbeláez, A. 1998. Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation* 7: 311-322.
- Van Zanten, B.O. 1978. Experimental studies on aerial trans-oceanic long-range dispersal of moss spores in the Southern Hemisphere. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 44: 455-482.
- Van Zanten, B.O. & Pócs, T. 1981. Distribution and dispersal of bryophytes. *Advances in Bryology* 1: 480–562.
- VanZanten, B.O. & Gradstein, S.R. 1988. Experimental dispersal geography of neotropical liverworts. *Nova Hedwigia* 90: 41-94.
- Vanderpoorten, A. & Engels, P. 2002. The effects of environmental variation on bryophytes at regional scale. *Ecography* 25: 513-522.
- Vanderpoorten, A. & Engels, P. 2003. Patterns of bryophyte diversity and rarity at a regional scale. *Biodiversity and Conservation* 12: 545–553.
- Vanderpoorten, A. & Goffinet, B. 2009. *Introduction to bryophyte*. Cambridge University Press.
- Vanderpoorten, A. & Hallingbäck, T. 2009. Conservation Biology of bryophytes. In: Goffinet B. & Shaw A.J. (eds.). *Bryophyte Biology*, 2^a edição. Cambridge University Press, Cambridge. Pp. 487-533.
- Vanderpoorten, A.; Sotiaux, A. & Engels, P. 2005. A GIS-based survey for the conservation of bryophytes at the landscape scale. *Biological Conservation* 121: 189–194.
- Vanderpoorten, A.; Sotiaux, A.; & Engels, P. 2006. A GIS-based model of the distribution of the rare liverwort *Aneura maxima* at the landscape scale for an improved assessment of its conservation status. *Biodiversity and Conservation* 15: 829-838.
- Vanderpoorten, A.; Rumsey, F.J. & Carine, M.A. 2007. Does macaronesia exist? Conflicting signal in the bryophyte and pteridophyte floras. *American Journal of Botany* 94: 625-639.
- Vanderpoorten, A.; Gradstein, S.R.; Carine, M.A. & Devos, N. 2010. The ghosts of Gondwana and Laurasia in modern liverwort distributions. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 85(3): 471-487.
- Vasconcelos Sobrinho, J. 1971. *As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização*. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife.

- Viana, V.M. & Pinheiro, L.A.F.V. 1998. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. *Série Técnica IPEF* 12: 25-42.
- Viana, V.M.; Tabanez, A.J. & Batista, J.L. 1997. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: Laurance W.F. & Bierregaard Jr.R.O. (eds). *Tropical Forest Remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*. University of Chicago Press, Chicago. Pp. 351–365.
- Wiklund, K. & Rydin, H. 2004. Ecophysiological constraints on spore establishment in bryophytes. *Functional Ecology* 18: 907-913.
- Wirth, R.; Meyer, S.T.; Almeida, W.R.; Araújo Jr., M.V.; Barbosa, V.S. & Leal I.R. 2007. Increasing densities of leaf-cutting ants (*Atta* spp.) with proximity to the edge in a Brazilian Atlantic forest. *Journal of Tropical Ecology* 23: 501-505.
- Wyatt, R. 1985. Terminology for bryophyte sexuality: toward a unified system. *Taxon* 34(3): 420-425.
- Yano, O. 1981. A checklist of Brazilian Mosses. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 50: 279-456.
- Yano, O. 1984. Checklist of Brazilian liverworts and hornworts. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 56: 481-548.
- Yano, O. 1989. An additional checklist of Brazilian bryophytes. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 66: 371-434.
- Yano, O. 1995. A new additional annotated checklist of Brazilian bryophytes. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory* 78: 137-182.
- Yano, O. 2004. Novas ocorrências de briófitas para vários estados do Brasil. *Acta Amazônica* 34(4): 559-576.
- Yano, O. 2006. Novas adições as briófitas brasileiras. *Boletim do Instituto de Botânica (São Paulo)* 18: 229-233.
- Yano, O. 2008. Catálogo de antóceros e hepáticas brasileiros: literatura original, basônimo, localidade-tipo e distribuição geográfica. *Boletim do Instituto de Botânica (São Paulo)* 19: 1-110.
- Yano, O. 2010. Levantamento de novas ocorrências de briófitas brasileiras. *Boletim do Instituto de Botânica (São Paulo)*: 1-243.
- Yano, O. & Andrade-Lima, D. 1987. Briófitas do Nordeste brasileiro: Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Botânica* 10: 171-181.
- Yano, O. & Peralta, D.F. 2007. As briófitas ameaçadas de extinção no Espírito Santo. In: Simonelli M. & Fraga C.N. *Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo*. Ipema, Vitória. Pp. 81-87.
- Yano, O.; Costa, D.P.; Pôrto, K.C. & Peralta, D.F. 2005. Lista de espécies da flora brasileira ameaçada de extinção: briófitas. <http://www.biodiversitas.org.br/floraBr/grupo3fim.asp> (acesso em 13/08/2012).
- Zartman, C.E. 2003. Habitat fragmentation impacts on epiphyllous bryophyte communities in Central Amazonia. *Ecology* 84: 948-954.
- Zartman, C.E. & Nascimento, H.E. 2006. Patch-tracking metacommunities dispersal limited? Inferences from abundance-occupancy patterns of epiphylls in Amazonian forest fragments. *Biological Conservation* 127: 46-54.

Manuscrito I

Do extant bryophyte distribution patterns mirror the fragmentation of the Amazon and Atlantic rainforests?

A ser submetido ao periódico

Global Ecology and Biogeography

para publicação

Do extant bryophyte distribution patterns mirror the fragmentation of the Amazon and Atlantic rainforests?

Mércia P. P. Silva^{1*}, Alain Vanderpoorten² and Kátia C. Pôrto¹

¹*Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, Av. Prof. Moraes Rego s/n - Cidade Universitária, 50670 – 901, Recife, PE, Brazil, and* ²*Institute of Botany, University of Liège, B22 Sart Tilman, Liège, Belgium.*

*Correspondence: Mércia P.P. Silva, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, Av. Prof. Moraes Rego s/n - Cidade Universitária, 50670 – 901, Recife, PE, Brazil.

E-mail: merciapps@yahoo.com.br

ABSTRACT

Aim To investigate whether the signature of the fragmentation of a once continuous rainforest across the Amazon and Atlantic can still be observed in bryophytes.

Location Atlantic and Amazon forests and Forest enclaves within Caatinga, Brazil.

Methods The distribution of each species was mapped onto the phylograms describing the floristic affinities among areas. We used an explicit model-based approach of bryophyte species distributions across the Amazonian and Atlantic rainforests of Brazil, by implementing the Markov model of MrBayes.

Results The model that assumes dispersal was the most significant for liverworts species. On the other hand, the model that assumes vicariance explained mosses species' distribution. Nine species showed distribution consistent with the expectations of the ancient vicariance scenario whilst seven species distribution fit with the dispersal scenario.

Main conclusions Our result provide evidence for a relictual status, with some species whose extant distribution bears the memory of the fragmentation of a once continuous forest. Thus, indeed the Amazonia, Forest enclaves within Caatinga and Atlantic Forest

were once connected, and the current patterns of species distribution mirror the fragmentation of this ancestral biota.

Keywords biogeography, Bayesian inference, dispersal, liverwort, moss, vicariance.

INTRODUCTION

In Brazil, the Tropical Rainforests are represented by the Amazon and Atlantic Forests (Ab'Saber, 1977), which together, are the most diverse in the world (Gentry, 1988; Valencia *et al.*, 1994). However, the processes by which this diversity was formed are still controversial and the knowledge about patterns of endemism and species bio- and phylogeography is scarce in relation to other locations (Moritz *et al.*, 2000).

The most accepted vicariance hypothesis has been the Pleistocene refugia hypothesis, first formulated by Haffer (1969). This hypothesis postulates that the Amazon and Atlantic forests were once continuous, becoming separated as increasing aridity in the Tertiary formed the belt of xeromorphic formations between them (Bigarella *et al.*, 1975). The northeast–southwest diagonal swath of open or dry formations that separates the Amazon and Atlantic forest includes the Argentinean and Paraguayan Chaco, the central Brazilian Cerrado and the Caatinga in Northeastern Brazil (Prado & Gibbs, 1993; De Oliveira *et al.*, 1999; Prado, 2000; Silva *et al.*, 2004). These dry corridors are believed to act as a barrier to floristic exchange (Mori *et al.*, 1981; but see Oliveira-Filho & Ratter, 1995; Costa, 2003), facilitating allopatric speciation (Haffer, 1969, 1997; Prance, 1973; Haffer & Prance, 2001) and showing a clear signature of vicariance as revealed by species distribution analyses (Prance, 1982, 1987; Santos *et al.*, 2007) and phylogeographic studies (Quijada-Mascareñas *et al.*, 2007; Carnaval *et al.*, 2009; Pavan *et al.*, 2011).

Palynological records of the Quaternary period between 33,000–25,000 yr BP, (Ledru, 1993) and the last glacial maximum (18,000–12,000 yr BP) (Prado & Gibbs, 1993) suggest, however, that the present-day corridor of xeric vegetation was moister, and hence, less hostile to migrations, than today. In the Caatinga, high concentrations of pollen of taxa currently distributed in the Amazonian and Atlantic forests were found in Pleistocene layers (10,990–10,540 yr BP), suggesting the presence of a large and well-drained watershed under a climate conducive for a dense forest cover (De Oliveira *et*

al., 1999). These records indicate that floristic interchanges between the Atlantic and Amazonian forests through the Caatinga must have been facilitated during the wet periods of the Tertiary and Quaternary periods.

Furthermore, rainforest enclaves still persist within the Caatinga (Mori, 1989; Silva & Casteletti, 2003) and the Cerrado (Kellman *et al.*, 1996) on well-irrigated plateau slopes or along rivers, respectively, and have therefore been considered as relicts of the once connected Amazonian and Atlantic forests. Those enclaves in fact harbour disjunct elements shared with either the Amazon or Atlantic Forest (Rizzini, 1963; Bigarella *et al.*, 1975; Coimbra-Filho & Câmara, 1996; Santos *et al.*, 2007), behaving as a complementary to the forests blocks and not as a separate region (Cracraft & Prum, 1988; Amorim & Pires, 1996).

The “Amazonic species” preferentially occur in lowlands of the Northeastern Atlantic Forest, whilst the “Caatinga enclaves species” occur in the Southern Atlantic Forest (Andrade-Lima, 1964). In fact, regardless of the study group and methodology used, most studies agree that there is a historical separation between the northern and southern parts of the domain (Cracraft & Prum, 1988; Amorim & Pires, 1996; Costa, 2003; Silva *et al.*, 2004; Pinto-da-Rocha *et al.*, 2005; Perret *et al.*, 2006).

Here, we investigate whether the signature of the fragmentation of a once continuous rainforest across the Amazon and Atlantic can still be observed in spore-producing plants, taking bryophytes as a model. In contrast to the global equilibrium of higher plant distributions with present climate (see Araujo & Pearson, 2003 for review), bryophytes are able to persist in microhabitats, where a suitable microenvironment persists, long after the general climate of the region has changed (Schuster, 1983). Anderson (1963) therefore suggested that bryophytes ‘potentially offer a better clue to the solution of phytogeographical problems than do many vascular plants’. The idea, that bryophyte distributions bear the memory of ancient ecological conditions, was reinforced, in the 70s-90s, by the notion that bryophytes display a low dispersal and evolutionary power (Schofield & Crum, 1972).

This notion, fed by the interpretation of massive range disjunctions in terms of vicariance and (limited) fossil evidence (see Vanderpoorten *et al.*, 2010 for review), has been, however, increasingly challenged. Indirect assessments through phylogenetic and genetic analyses and observations of the colonization of artificial substrates, and patterns of species distributions coupled with wind connectivity, along with the

typically small spore size and massive production of asexual gemmae, rather point to high dispersal ability of bryophytes (see Vanderpoorten *et al.*, 2010 for review). If, as such evidence suggests, recent dispersal has been the major factor shaping current bryophyte distributions, then any signal from historical events is likely to have been erased due to the intensity and random character of migrations (van Zanten & Pócs, 1981). Recent analyses of worldwide liverwort distributions, however, recovered many patterns that have traditionally been attributed to continental drift, thereby challenging the idea that dispersal necessarily obscures evidence of vicariance in spore-producing plants (Vanderpoorten *et al.*, 2010).

Using an explicit model-based approach of bryophyte species distributions across the Amazonian and Atlantic rainforests of Brazil, we aim more specifically at testing the following hypotheses:

- i) The Amazonia, Forest enclaves within Caatinga and Atlantic Forest were once connected, and the current patterns of species distribution mirror the fragmentation of this ancestral biota (Andrade-Lima, 1953, 1982; Bigarella & Andrade-Lima, 1982).
- ii) Although the historical signal of this disjunction might have been erased by subsequent dispersal, the distribution of at least some species must be consistent with an ancient range fragmentation.
- iii) Species with large spores have distribution compatible with vicariance models.

MATERIALS AND METHODS

Distribution data

Bryophytes are a paraphyletic group comprised of the mosses, liverworts, and hornworts, which exhibit contrasted ecologies and life-strategies. Each group was therefore analysed independently with the exception of the hornworts, whose 6 recorded species did not warrant a separate analysis.

Fifty-three sites scattered across the Amazonian, and Atlantic regions and the Caatinga were selected on the basis of the availability of floristic records (Fig. 1, Table1). Species distribution data were obtained by checking: (1) Bryophyte monographs and checklists, (2) plant records stored in three important Brazilian herbaria: Herbário Geraldo Mariz (UFP), Herbário Jayme Coelho de Moraes (EAN) and

Herbário Lauro Pires Xavier (JPB) and (3) data bases from scientific institutions available online [e.g. Lista de espécies da Flora do Brasil (MMA/JBRJ) and the Missouri Botanical Garden (MBOT)]. Furthermore, in order to increase information about species distribution, we performed extensive field work in 13 of the 53 studied areas. The data were included in a data matrix comprised of the presence/absence of each of 412 liverwort and 543 moss species in each of the 53 study sites. Species names followed recent taxonomic revisions and checklists (Buck, 1998; Crosby *et al.*, 1999; Gradstein & Costa, 2003; Bastos & Yano, 2004; Pócs & Bernecker, 2009), and database queries of the Missouri Botanical Garden (<http://mobot.mobot.org/Pick/Search/most.html>).

The localities were grouped into three categories: 1) Amazon – eight areas – (PAR, CAX, ICO, IGE, AAM, REJ, RPC, SNO), 2) Forest enclaves within Caatinga – seven areas – (MDE, VSO, PFE, BOT, PTA, BIT, JIB) and 3) Atlantic Forest – 38 areas (APA, AZU, MUR, JBB, ITA, PDU, GBA, SAL, MJU, DIR, GJA, FCA, GGA, MBL, MET, PAC, SGR, ESS, IBB, BAB, IGR, JCR, MAG, NFB, PTY, IAN, JUR, ITT, TIJ, PET, PRN, PCA, RDO, SSB, STA, TER, UBA, MPA).

Completeness of sampling of each locality category was assessed through species-area curve computed using EstimateS 7.5 (Colwell, 2005). Each locality was treated as an independent sample.

Data analysis

Area relationships and test of hypothesis

Floristic relationships among the Atlantic forest and Amazonia biogeographic regions were examined through an adaptation of Jukes-Cantor's substitution model for binary characters (Lewis, 2001). The method was initially designed for modeling shifts in character states among morphological traits. In a biogeographic context, 'gains', i.e. transition from state 0 to state 1, either represent dispersal from an area into another or in situ speciation; 'losses', i.e. transition from state 1 to state 0, represent either extinction from an area or failure to colonize it (see Vanderpoorten *et al.*, 2010). The resulting cladograms represent nested sets of areas, in which terminal dichotomies represent areas between which the most recent biotic interchange has occurred (Morrone & Crisci, 1995). Given that our approach is not historical (i.e. it is not based

on hypotheses of relationships between taxa), the trees describing the floristic affinities among areas cannot be considered as area cladograms (Garron-Orduna *et al.*, 2008).

The proportion of constant characters in the present data matrix is extremely low due to the lack of all-zero columns and the rarity of widespread and common species (0.5% of the species occur in >70% of the localities), which is not compatible with the Poisson distribution used to model the probability of change. Therefore, the ‘variable’ coding option of MrBayes 3.1 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003), which implements Felsenstein’s correction (Felsenstein, 1992), was applied to the data. Lewis’s model was implemented in a Bayesian framework. Four Metropolis-coupled Markov Chain Monte Carlo (MCMCMC) simulations were run independently for 26,000,000 and 74,000,000 generations for liverworts and mosses, respectively, with MrBayes 3.1. Trees and model parameters were sampled every 10,000 generations. The number of generations needed to reach stationarity in the algorithm was estimated by visual inspection of the plot of the log-likelihood score at each sampling point. The trees of the ‘burn-in’ for each run were excluded from the tree set, and the remaining trees from each run were combined to form the full sample of trees assumed to be representative of the posterior probability distribution.

We contrasted the performance of three models. The first model (M1) assumed equal transition rates from 0 to 1 and from 1 to 0. The second (M2) and third (M3) models assumed asymmetry in the transitions rates by sampling the stationary state frequencies of the two states from different discrete uniform distributions with five categories. In model M2, the stationary state frequencies were 0 to 1 and in model M3, they were 1 to 0. The performance of the competing models was tested using Bayes factors (BF). The Bayes factors represent a summary of the evidence provided by the data in favour of a certain model (Kass & Raftery, 1995). The log BF is defined as minus twice the difference of the log marginal likelihoods of the two competing models. The marginal likelihoods of the different models are well approximated by the log of the harmonic mean of the likelihoods when the Markov chain is allowed to run for a very large number (millions) of iterations (Kass & Raftery, 1995; Raftery, 1996). The log marginal likelihoods threshold values of 2, 5, and 10 were taken as positive, strong, and very strong evidence, respectively, for selecting one model over another (Raftery, 1996).

After selection of the best-fit model, constrained analyses were performed to test whether alternative scenarios of area relationships were consistent with the data. In this context, there are three possible scenarios (modified from Costa, 2003): (1) Forest enclaves within Caatinga could be more related to Atlantic Forest (left), (2) to Amazon (middle) or (3) be basal relative to the two forest Domains (right) (Fig. 2).

The MCMC analyses were successively re-run under the constraints that correspond to competing hypotheses of area relationships. The results of the different analyses were compared using Bayes factors (BFs).

Taxon optimizations

In order to identify species, whose distribution fits with the expectations of the ancient vicariance scenarios, the distribution of each individual species with a frequency of > 10% in each biogeographic region was mapped onto the phylograms fitting with a vicariant origin of the Atlantic and Amazonian forests resulting from analyses (Fig. 2). The probabilities of change in a branch were calculated by estimating the instantaneous forward (q_{01}) and backward (q_{10}) rates among the two states by implementing the Markov model of ‘Multistate’ in BayesTraits 1.0 (Pagel *et al.*, 2004). We contrasted the performance of two competing models of taxon optimizations. The first model, wherein the root was fixed at state ‘present’ and the forward rate q_{01} was set to 0, described a situation of ancient vicariance. The second model described a situation of dispersal, with limited instances of extinction allowed. In that model, q_{10} was forced to be very low (i.e. was sampled from a uniform distribution with a 0–1 range), whereas no constraint was imposed on q_{01} (which was sampled from a uniform distribution with a range of 0–100). Bayes factors were used to contrast the fit of the competing models.

For each species and each model, a MCMC was used to visit, at each iteration, the space of rate parameter values and sample one of the trees generated by the MrBayes analysis. The likelihood of the new combination was calculated and this new state of the chain was accepted or rejected following evaluation by the Metropolis-Hastings term. The rate at which parameters were changed (‘ratedev’) was set at the beginning of each run so that the acceptance rate of the proposed change globally ranges between 20 and 40%. The chain was run for 10,000,000 generations and was sampled for rate parameters and state probabilities at the nodes of interest every 10,000 generations.

The Mann-Whitney test was used to compare spore size between the two conflitant scenarios: vicariance and dispersal.

RESULTS AND DISCUSSION

The number of species per biogeographic region is given in Table 1. The Atlantic Forest was the richest area (859spp. – 90% of the total), followed by Amazonia (327spp.) and Caatinga forest enclaves (316spp.). 58% of species occur in only one of the three biogeographic regions whilst 12% occur in all of them and thus exhibit a cosmopolitan range with respect to the areas defined here.

The species-area curve showed that the sampling completeness ranged between 76-96% of the expected number of species in the biogeographic areas, which may be considered enough for a good representation of extant species (Appendix S1).

The model that assumes dispersal (equal states frequency) among liverworts species to infer the floristic relationships among the biogeographic regions studied here improved the log marginal likelihoods over a model assuming asymmetry in the state frequencies [log marginal likelihood of 5675.49 versus 5680.06 and 5685.50] (Table 2). The dispersal model was therefore selected for subsequent analyses. On the other hand, the model that assumes vicariance among mosses species to infer the floristic relationships among the biogeographic regions studied here improved the log marginal likelihoods over a model assuming equal state frequencies [log marginal likelihood of 6820.49 versus 6.836.15]. This model therefore was used in the subsequent analyses.

Regarding taxa optimization, only 1.7% (16) of the species showed a significant response. Nine species showed distribution consistent with the expectations of the ancient vicariance scenario: *Cyclolejeunea luteola* (Spruce) Grolle, *Lejeunea flava* (Sw.) Nees, *Lejeunea laetevirens* Nees & Mont., *Bryum mildeanum* Jur. Verh., *Isopterygium tenerum* (Sw.) Mitt., *Octoblepharum albidum* Hedw., *Philonotis uncinata* Brid., *Syrrhopodon africanus* (Mitten) Paris and *Syrrhopodon rigidus* Hook. & Grev. On the other hand, seven species distribution fit with the dispersal scenario: *Archilejeunea parviflora* (Nees) Schiffn., *Cololejeunea obliqua* (Nees & Mont.) Schiffn., *Harpalejeunea stricta* (Lindenb. & Gottsche) Steph., *Bryum coronatum* Schwägr., *Campylopus savannarum* (Müll.Hal.) Mitt., *Vesicularia vesicularis* (Schwägr.) Broth. and *Zelometeorium patulum* (Hedw.) Manuel.

This result provide evidence for a relictual status, i.e., we found nine species (56%) whose extant distribution bears the memory of the fragmentation of an once continuous forest. Thus, our first hypothesis was confirmed: indeed the Amazonia, Forest enclaves within Caatinga and Atlantic Forest were once connected, and the current patterns of species distribution mirror the fragmentation of this ancestral biota (Andrade-Lima, 1982; Bigarella & Andrade-Lima, 1982).

However, considering our data, liverworts showed distribution patterns that match with dispersal theory. Thus, subsequent dispersal might had erased the historical signal of this disjunction, at least for some species, confirming our second assumption.

In fact, liverworts of the biogeographic regions studied showed the average of spore size significantly smaller than mosses (Mann-Whitney test: $Z=7.24$, $p<0.001$; Fig. 3a) (Silva & Pôrto, unpublished data), what might have been contributing to its dispersal among biogeographical regions. In addition, in the evolutionary lineage, liverworts are more basal than mosses. Fossil spores that are comparable to liverwort spores date back to 475 million years before present (Wellman *et al.*, 2003), and estimates of divergence times based on molecular evidence suggest a Late Ordovician origin for the phylum (Heinrichs *et al.*, 2007). On the other hand, the origin of the mosses predate the divergence of the ancestor to the hornworts and vascular plants but evolved from a common ancestor with liverworts (Qiu *et al.*, 2006); Although unambiguous fossils of mosses have only been recovered from sediments dating from younger geological periods (Upper Carboniferous), divergence time estimates based on molecular phylogenies suggest that the origin of mosses dates back to the Ordovician (Newton *et al.*, 2007) and thus that their unique evolutionary history spans at least 400 million years. Although the neotropics are more recent in the geological time, it is reasonable to affirm that, probably, in this region, liverworts are also basal in relation to mosses. Therefore, coupled with the small size of the spores, the dispersion process of liverworts between the atlantic and amazon forests can be older than that of mosses.

The spore size was also an important feature in determining the taxa consistent with the dispersal or vicariance theories. We found that the distribution of species consistent with ancient fragmentation showed spores significantly larger than those compatible with the dispersal theory (Mann-Whitney test: $Z=2.25$, $p=0.02$; Fig. 3b), which is an indicative that dispersal also has a key role in the distribution of bryophytes among the biogeographic regions studied.

The importance of long distance dispersal for bryophytes has been widely reported by several studies (Shaw, 2001; Shaw *et al.*, 2003; Heinrichs *et al.*, 2009; Piñeiro *et al.*, 2012), although this idea is being recently challenged (for a review see Vanderpoorten *et al.*, 2010), showing a duality between the “dispersalist” and “vicariantist” theories.

This debate is not restricted to bryophyte but is part of great discussions in evolutionary biology. For instance, Heinrichs *et al.* (2009) reviewed published papers on phylogeny and molecular biogeography of bryophytes and concluded that intercontinental distributions of bryophytes are mainly driven by dispersal rather than vicariance; besides, many disjunct distribution patterns of bryophytes are probably formed by short dispersal, rare events of long-distance dispersal, extinction, recolonization and diversification. On the other hand, vicariantists argued that any pattern could be explained by dispersion; as a consequence, no pattern at all could be proved to be due to dispersal. Therefore, dispersal was considered as irrelevant noise and observed patterns were best explained by drift (McGlone, 2005).

Recently, the increasing availability of molecular data gave the possibility to revisit those ancient biogeographical questions about dispersal and vicariance. These new information about evolutionary history of species led to much more dynamic and complex theories that associate vicariance and dispersion, which seems consistent with our results. Thus, a simple hypothesis, vicariance or dispersal, does not seem sufficient to explain all existing disjunctions of bryophytes, requiring therefore a holistic analysis of the determinants. However, further studies using molecular data are needed to confirm this pattern and to date speciation events and then draw the historical pattern underlying the current distributions (de Queiroz, 2005) of bryophyte species between Atlantic and Amazon forests.

To summarize, based in our study, the Atlantic Forest and Amazon were once connected across Caatinga during several periods of the Tertiary and Quaternary. However, molecular data for neotropical bryophyte species are still scarce and do not have the spatial resolution required to reconstruct the history of connections among the forests in northeastern Brazil. Therefore an integrated approach combining molecular phylogenies of targeted taxa and past species distribution modeling information is needed to improve our knowledge about the evolution and dynamics of the humid forests in Brazil.

Acknowledgements

The authors thank Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq [National Council for Scientific and Technological Development] and Fundação Grupo Boticário de Proteção À Natureza [Boticário Group Foundation for Nature Protection] for their financial support.

References

- Ab'saber, A.N. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul. Primeira aproximação. **Geomorfologia** 52: 121.
- Amorim, D.S. & Pires, M.R.S. 1996. Neotropical biogeography and a method for maximum biodiversity estimation. In: Bicudo C.E.M. & Menezes N.A. (ed.). **Biodiversity in Brazil, a first approach**. CNPq, São Paulo, pp 183-219.
- Anderson, L.E. 1963. Modern species concepts: mosses. **Bryologist** 66: 107-119.
- Andrade-Lima, D. 1964. Contribuição à flora do Brasil. **Arquivo do Instituto Ciência da Terra**. Universidade do Recife 2: 15-20.
- Andrade-Lima, D. 1953. Notas sobre a dispersão de algumas espécies vegetais no Brasil. **Anais da Sociedade de Biologia de Pernambuco** 11: 25-49.
- Andrade-Lima, D. 1982. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. In: Prance, G.T. (ed.). **Biological diversification in the Tropics**. Columbia University, New York, pp 245-254.
- Araujo, M.B. & Pearson, R.G. 2003. Equilibrium of species' distributions with climate. **Ecography** 28: 693-695.
- Bastos, C.J.P. & Yano, O. 2004. O gênero *Lejeunea* Libert (Lejeuneaceae) no Estado da Bahia, Brasil. **Hoehnea** 36: 303-320.
- Bigarella, J.J. & Andrade-Lima, D. 1982. Paleoenvironmental changes in Brazil. In: Prance G.T. (ed.). **Biological diversification in the Tropics**. Columbia University, New York, pp 27-40.
- Bigarella, J.J.; Andrade-Lima, D. & Riehs, P.J. 1975. Considerações a respeito das mudanças paleoambientais na distribuição de algumas espécies vegetais e animais no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências, São Paulo** 47: 411-464.

Buck, W.R. 1998. Pleurocarpous Mosses of the West Indies. **Memoirs of the New York Botanical Garden** 82: 1-401.

Carnaval, A C.; Hickerson, M.J.; Haddad, C.F.B.; Rodrigues, M.T.; Moritz, C. 2009. Stability Predicts Genetic Diversity in the Brazilian Atlantic Forest Hotspot. **Science** 323: 785-789.

Cecca, F. 2009. The biogeographic dimension of life evolution. **Comptes Rendus Palevol** 8: 119-132.

Coimbra-Filho, A.F. & Câmara, I.G. 1996. **Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil**. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza, Rio de Janeiro.

Colwell, R.K. 2005. **Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples**, Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.

Gradstein, S.R. & Costa, D.P. 2003. The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. **Memoirs of the New York Botanical Garden** 88: 1-673.

Costa, L.P. 2003. The historical bridge between the Amazon and the Atlantic of Brazil: a study of molecular phylogeography with small mammals. **Journal of Biogeography** 30: 71-86.

Cracraft, J. 1985. Historical biogeography and patterns of differentiation within the South America avifauna: areas of endemism. **Ornithological Monographs** 36: 49-84.

Cracraft, J. & Prum, R.O. 1988. Patterns and processes of diversification: speciation and historical congruence in some Neotropical birds. **Evolution** 42: 603-620.

Crosby, M.R.; Magill, R.E.; Allen, B. & He, S. 1999. **A Checklist of the Mosses**. Missouri Botanical Garden, St. Louis.

Dantas, G.P.M.; Cabanne, G.S. & Santos, F.R. 2011. **How past vicariant events can explain the Atlantic Forest biodiversity?**, Ecosystems Biodiversity, PhD. InTech, available from: <http://www.intechopen.com/books/ecosystems-biodiversity/how-past-vicariant-events-can-explain-the-atlantic-forest-biodiversity->.

de Oliveira, P.E.; Barreto, A.M.F. & Suguio, K. 1999. Late Pleistocene Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian Caatinga: the fossil dunes of the

middle São Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** **145**: 319-337.

de Queiroz A. 2005. The resurrection of oceanic dispersal in historical biogeography. **Trends in Ecology & Evolution** **20**: 68-73.

Felsenstein, J. 1992. Phylogenies from restriction sites: A maximum-likelihood approach. **Evolution** **46**: 159-173.

Garron-Orduna, I.J., Miranda-Esquivel, D.R. & Donato, M. 2008. Parsimony analysis of endemism describes but does not explain: an illustrated critique. **Journal of Biogeography** **35**: 903-913.

Gentry, A.H. 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. **Annals of Missouri Botanical Garden** **75**:1-34.

Haffer, J. & Prance, G.T. 2001. Climatic forcing of evolution in Amazonia during the Cenozoic: on the refuge theory of biotic differentiation. **Amazoniana** **16**: 579–607.

Haffer, J. 1969. Speciation in Amazonian forest birds. **Science** **165**: 131-137.

Haffer, J. 1997. Contact zones between birds of southern Amazonia. **Ornithological Monographs** **48**: 281-305.

Heinrichs, J.; Hentschel, J.; Wilson, R.; Feldberg, K. & Schneider, H. 2007. Evolution of leafy liverworts (Jungermanniidae, Marchantiophyta): estimating divergence times from chloroplast DNA sequences using penalized likelihood with integrated fossil evidence. **Taxon** **56**: 31-44.

Heinrichs, J.; Hentschel, J.; Feldberg, K.; Bombosch, A. & Schneider, H. 2009. Phylogenetic biogeography and taxonomy of disjunctly distributed bryophytes. **Journal of Systematics and Evolution** **47**: 497–508.

Humphries, C.J. & Parenti, L.R. 1999. **Cladistic biogeography: interpreting patterns of plant and animal distributions**. Oxford University Press, Oxford.

Kass, R.E. & Raftery, A.E. 1995. Bayes factors. **Journal of the American Statistical Association** **90**: 773-795.

Kellman, M.; Tackaberry, R. & Meave, J. 1996. The consequences of prolonged fragmentation: lessons from tropical gallery forests. In: Schellas, J. & Greenberg, R.

(ed.). **Forest patches in tropical landscapes**. University Island Press, Washington, pp 37-58.

Ledru, M.P. 1993. Late Quaternary environmental and climatic changes in central Brazil. **Quaternary Research** **39**: 90-98.

Lewis, P.O. 2001. A likelihood approach to estimating phylogeny from discrete morphological character data. **Systematic Biology** **50**: 913-925.

McGlone, M.S. 2005. Goodbye Gondwana. **Journal of Biogeography** **32**: 739-740.

Moraes-Barros, N.; Silva, J.A.B.; Miyaki, C.Y. & Morgante, J.S. 2006. Comparative phylogeography of the Atlantic forest endemic sloth (*Bradypus torquatus*) and the widespread three-toed sloth (*Bradypus variegatus*) (Bradypodidae, Xenarthra). **Genetica** **126**: 189-198.

Mori, S.A. 1989. Eastern, Extra-Amazonian Brazil. In: Campbell, D.G. & Hammond H.D. (ed.). **Floristic inventory of tropical countries: the status of plant systematics, collections, and vegetation, plus recommendations for the future**. New York Botanical Garden, New York, pp. 545.

Mori, S.A.; Boom, B.M. & Prance, G.T. 1981. Distribution patterns and conservation of eastern brazilian coastal forest species. **Brittonia** **33**: 233-245.

Moritz, C.; Patton, J.L.; Schneider, J.C. & Smith, J.B. 2000. Diversification of rainforest faunas: an integrated molecular approach. **Annual Review in Ecology and Systematics** **21**: 533-563.

Morrone, J.J. & Crisci, J.V. 1995. Historical biogeography—introduction to methods. **Annual Review of Ecology and Systematics** **26**: 373-401.

Newton, A. E.; Wikström, N.; Bell, N.; Forrest, L.L. & Ignatov, M. 2007. Dating the diversification of pleurocarpous mosses. In: Newton, A.E. & Tangney, R. **Pleurocarpous Mosses: Systematics and Evolution**. FL Taylor & Francis, Boca Raton, pp 337–366.

Nihei, S.S.; Carvalho, C.J.B. 2007. Systematics and biogeography of *Polietina* Schnabl & Dzierdzicki (Diptera, Muscidae): Neotropical area relationships and Amazonia as a composite area. **Systematic Entomology** **32**: 477-501.

Oliveira-Filho, A.T.; Fontes, M.A.L. 2000. Patterns of floristic differentiation among

Atlantic forests in southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica** **32**: 793-810.

Oliveira-Filho, A.T. & Ratter, J.A. 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.

Oliveira-Filho, A.T.; Tameirão-Neto, E.; Carvalho, W.A.C.; Werneck, C.; Brina, A.E.; Vidal, C.V.; Rezende, S.C. & Pereira, J.A.A. 2005. Análise florística do compartimento arbóreo de áreas de Floresta Atlântica *sensu lato* na região das bacias do Leste (Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro). **Rodriguésia** **56**: 185-235.

Pagel, M., Meade, A. & Barker, D. 2004. Bayesian estimation of ancestral character states on phylogenies. **Systematic Biology** **53**: 673-684.

Pavan, A.C.; Martins, F.; Santos, F.R.; Ditchfield, A. & Redondo, R.A.F. 2011. Patterns of diversification in two species of short-tailed bats (*Carollia* Gray, 1838): the effects of historical fragmentation of Brazilian rainforests. **Biological Journal of the Linnean Society** **102**: 527-539.

Perret, M.; Chautems, A. & Spichiger, R. 2006. Dispersal-Vicariance analyses in the tribe Sinningieae (Gesneriaceae): a clue to understanding biogeographical history of the Brazilian Atlantic Forest. **Annals of the Missouri Botanical Garden** **93**: 340-358.

Piñeiro, R.; Popp, M.; Hassel, K.; Listl, D.; Westergaard, K.B.; Flatberg, K.I.; Stenøien, H.K. & Brochmann, C. 2012. Circumarctic dispersal and long-distance colonization of South America: the moss genus *Cinclidium*. **Journal of Biogeography** **39**: 2041-2051.

Pinto-da-Rocha, R.; Silva, M.B. & Bragagnolo, C. 2005. Faunistic similarity and historic biogeography of the harvestmen of southern and southeastern Atlantic Rain Forest of Brazil. **The Journal of Arachnology** **33**: 290-299.

Pócs, T. & Bernecker, A. 2009. Overview of *Aphanolejeunea* (Jungermannioptida) after 25 years. **Polish Botanical Journal** **54(1)**: 1-11.

Prado, D.E. & Gibbs, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forest South America. **Annals of the Missouri Botanic Garden** **80**: 902-927

Shaw, A.J. 2001. Molecular phylogeography and cryptic speciation in the mosses *Mielichhoferia elongata* and *M. mielichhoferiana* (Bryaceae). **Molecular Ecology** **9**: 595–608.

Shaw, A.J.; Werner, O. & Ros, R.M. 2003. Intercontinental Mediterranean disjunct mosses: morphological and molecular patterns. **American Journal of Botany** **90**: 540-550.

Prado, D.E. 2003. As Caatingas da América do Sul. In: Leal, I.R.; Tabarelli, M. & Silva, J.M.C. (ed.). **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária, UFPE, pp 3-73.

Prance, G.T. 1973. Phytogeographic support for the theory of Pleistocene forest refuges in the Amazon basin, based on evidence from distribution patterns in Caryocaraceae, Chrysobalanaceae, Dichapetalaceae and Lecythidaceae. **Acta Amazônica** **3**: 5-28.

Prance, G.T. 1987. Biogeography of Neotropical plants. In: Whitmore, T.C. & Prance, G.T. (ed.). **Biogeography and Quaternary history in tropical America**. Clarendon Press, Oxford, pp 46-65.

Prance, G.T. 1982. Forest refuges: evidence from woody angiosperms. In: Prance, G.T. (ed.). **Biological diversification in the tropics**. Columbia University Press, New York, pp 137-158.

Quijada-Mascareñas, J.A.; Ferguson, J.E.; Pook, C.P.; Salomão, M.D.G.; Thorpe R.S. & Wüster, W. 2007. Phylogeographic patterns of trans-Amazonian vicariants and Amazonian biogeography: the Neotropical rattlesnake (*Crotalus durissus* complex) as an example. **Journal of Biogeography** **34**: 1296-1312.

Qiu, Y.L.; Li, L.; Wang, B.; Chen, Z.; Knoop, V.; Groth-Malonek, M.; Dombrowska, O.; Lee, J.; Kent, L.; Rest, J.; Estabrook, G.F.; Hendry, T.A.; Taylor, D.W.; Testa, C.M.; Ambros, M.; Crandall-Stotler, B.; Duff, R.J.; Stech, M.; Frey, W.; Quandt, D. & Davis, C. 2006. The deepest divergences in land plants inferred from phylogenomic evidence. **Proceedings of the National Academy of Sciences** **103**: 15511-15516.

Raftery, A.E. 1996. Hypothesis testing and model selection. In: Gilks, W.R.; Richardson, S. & Spiegelhalter, D.J. (ed.). **Markov Chain Monte Carlo in Practice**. Chapman & Hall, London, pp 163-187.

Rizzini, C.T. 1963. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florístico-sociológica) do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia** 25: 1-64.

Ronquist, F. & Huelsenbeck, J.P. 2003. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. **Bioinformatics** 19: 1572-1574.

Santos, A.M.M.; Cavalcanti, D.R.; Silva, J.M.C. & Tabarelli, M. 2007. Biogeographical relationships among tropical Forest in North-eastern Brazil. **Journal of Biogeography** 34: 437-446.

Schofield, W.B. & Crum, H.A. 1972. Disjunctions in bryophytes. **Annals of Missouri Botanical Garden** 59: 174-202.

Schuster, R.M. 1983. Phytogeography of the Bryophyta. In: Schuster, R.M. (ed.). **New Manual of Bryology, Vol. 1**. Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, pp. 463-626.

Silva, J.M.C.; Casteletti, C.H.M. 2003. Status of the biodiversity of the Atlantic forest of Brazil In: Galindo-Leal, C. & Camara, I. G. (eds). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Center for Applied Conservation Science and Island Press, Washington, USA, pp 3-11.

Silva, J.M.C.; Souza, M.C. & Casteletti, C.H.M. 2004. Areas of endemism for passerine birds in the Atlantic forest, South America. **Global Ecology and Biogeography** 13: 85-92.

Soderstrom, T.R.; Judziewicz, E.J. & Clark, L.G. 1988. Distribution patterns of Neotropical bamboos. In: Vanzolini, P.E. & Heyer, W.R. (ed.). **Proceedings of a workshops on Neotropical distribution patterns**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, pp 121-175.

Valencia, R.; Balslev, H.; Paz Y Mino, G.C. 1994. High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. **Biodiversity and Conservation** 3:21-28.

van Zanten, B.O. & Pócs, T. 1981. Distribution and dispersal of bryophytes. **Advances in Bryology** 1: 479-562.

Vanderpoorten, A.; Gradstein, S.R.; Carine, M.A. & Devos, N. 2010. The ghosts of Gondwana and Laurasia in modern liverwort distributions. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society** 85: 471-487.

Wellman, C.H.; Osterloff, P.L. & Mohiuddin, U. 2003. Fragments of the earliest land plants. **Nature** 425: 282-4.

Table 1. Sites from Amazonia, forest enclaves within Caatinga and the Atlantic Forest.

NT= number of bryophyte taxa.

Site	Abbreviation	Location (Long; Lat)	NT
Amazonia			327
Belém	PAR	-48.4692;-1.4550	101
Floresta Nacional de Caxiuanã	CAX	-51.5292;-1.7083	142
Ilha do Combu	ICO	-48.1969;-1.9608	68
Ilha de Germoplasma/ Reservatório de Tucuruí	IGE	-49.6403;-3.8661	24
Manaus	AAM	-60.0250;-3.1019	206
Reserva Extrativista do Alto Juruá	REJ	-72.5614;-8.9364	32
Reserva Indígena da Praia do Carapanã	RPC	-71.4500;-8.5000	46
Santarém Novo	SNO	-47.3969;-0.9289	36
Forest enclaves within Caatinga			316
Mata do Estado/ Serra dos Mascarenhas	MDE	-35.5094;-7.6162	99
Parque Ecológico Municipal João Vasconcelos Sobrinho	VSO	-35.6167;-8.3692	157
Reserva Ecológica da Mata do Pau-ferro	PFE	-35.7445;-6.9836	50
Reserva Municipal de Bonito	BOT	-35.7156;-8.5039	80
REBIO Pedra Talhada	PTA	-36.4304;-9.2591	103
RPPN Fazenda Bituri	BIT	-36.3711;-8.1458	90
Serra da Jibóia	JIB	-39.4667;-12.8500	127
Atlantic Forest			859
APA Barra do Rio Mamanguape	APA	-34.9091;-6.8536	12
Engenho Água Azul	AZU	-35.3333;-7.5833	70
Estação Ecológica de Murici	MUR	-35.9167;-9.2667	199
Jardim Botânico Benjamim Maranhão	JBB	-34.8614;-7.1366	21
Parque Estadual Dunas do Natal	PDU	-35.1833;-5.8500	12
Parque Nacional de Itabaiana	ITA	-37.3423;-10.7545	70
REBIO Guaribas	GBA	-35.1419;-6.7420	40
REBIO de Saltinho	SAL	-35.1833;-8.7333	86
Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco	MJU	-37.0588;-10.5382	62
Reserva Ecológica de Dois Irmãos	DIR	-35.0000;-7.9167	59
Reserva Ecológica de Gurjaú	GJA	-35.6750;-8.3589	105
RPPN Frei Caneca	FCA	-35.8333;-8.7000	119
RPPN Gargaú	GGA	-34.9563;-6.9913	36
RPPN Mata Bela	MBL	-35.0659;-6.4092	24
RPPN Mata Estrela	MET	-35.0235;-6.3744	20
RPPN Pacatuba	PAC	-35.1566;-7.0425	46
Usina Serra Grande	SGR	-36.1128;-9.0003	75
Espírito santo	ESS	-40.2833;-20.3333	128
Ilha Bela	IBB	-45.3281;-23.8564	65
Ilha do Bom Abrigo	BAB	-47.8667;-25.1167	36
Ilha Grande	IGR	-44.2472;-23.1406	190
Jardim Botânico do Rio de Janeiro	JCR	-43.2217;-22.9706	91
Magé	MAG	-43.0406;-22.6528	85
Nova Friburgo	NFB	-42.5311;-22.2819	227
Paraty	PTY	-44.7139;-23.2225	94

Site	Abbreviation	Location (Long; Lat)	NT
Parque Estadual da Ilha Anchieta	IAN	-45.0331;-23.5164	205
Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba	JUR	-41.5000;-22.0164	60
Parque Nacional do Itatiaia	ITT	-44.5833;-22.3333	409
Parque Nacional da Tijuca	TIJ	-43.2831;-22.9503	261
Petrópolis	PET	-43.1786;-22.5050	130
Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba	PRN	-46.3100;-23.7802	110
Reserva Biológica Poço das Antas	PCA	-43.3497;-21.7603	41
Reserva Natural da Vale do Rio Doce	RDO	-40.8333;-19.1667	52
São Sebastião	SSB	-45.4094;-23.7603	68
Santo André	STA	-46.5383;-23.6642	115
Teresópolis	TER	-42.9833;-22.4333	209
Ubatuba	UBA	-45.0708;-23.4342	252
Zacarias	MPA	-49.9833;-21.0500	75

Table 2. Log of the marginal likelihood of the Bayesian analysis (ML) for liverworts and mosses. Numbers in bold are the best-fit model for each group distribution.

	Liverwort	Moss
	-ML	-ML
M1	5675.49	6.836.15
M2	5680.06	6820.49
M3	5685.50	6824.97

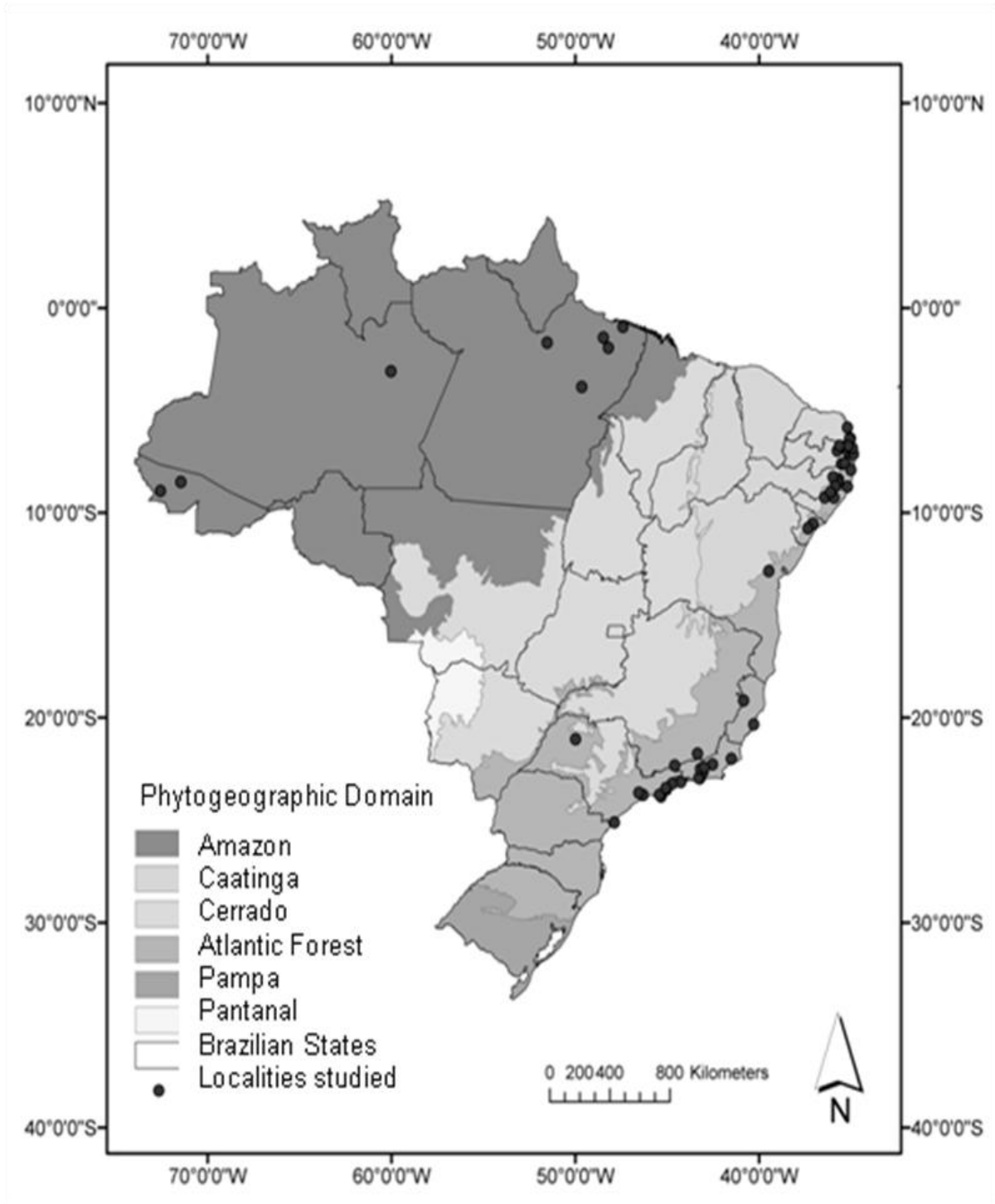


Figure 1. The 53 localities studied according to their position in relation to Brazilian phytogeographical domains. For a complete list of the areas see Table 1.

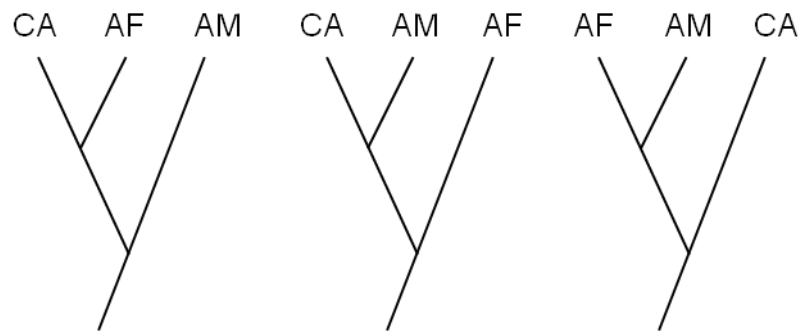


Figure 2. Hypothetical area cladograms depicting possible phylogeographical affinities of Forest enclaves within Caatinga (CA), Amazonia (AM) and Atlantic forest (AF). The CA could be more closely related to AF (left), to AM (middle), or be basal relative to the two forest domains (right). Adapted from Costa (2003).

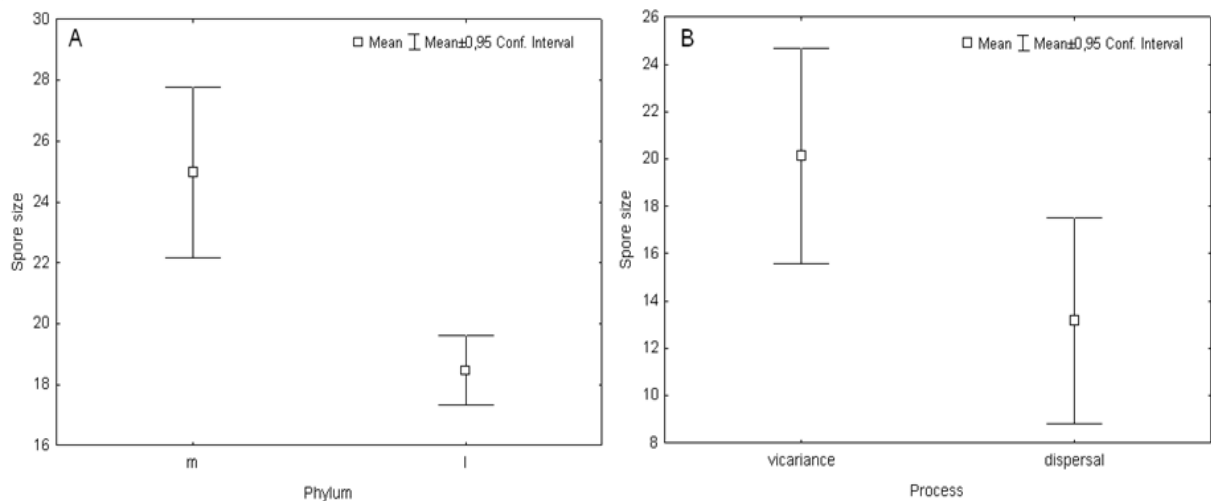
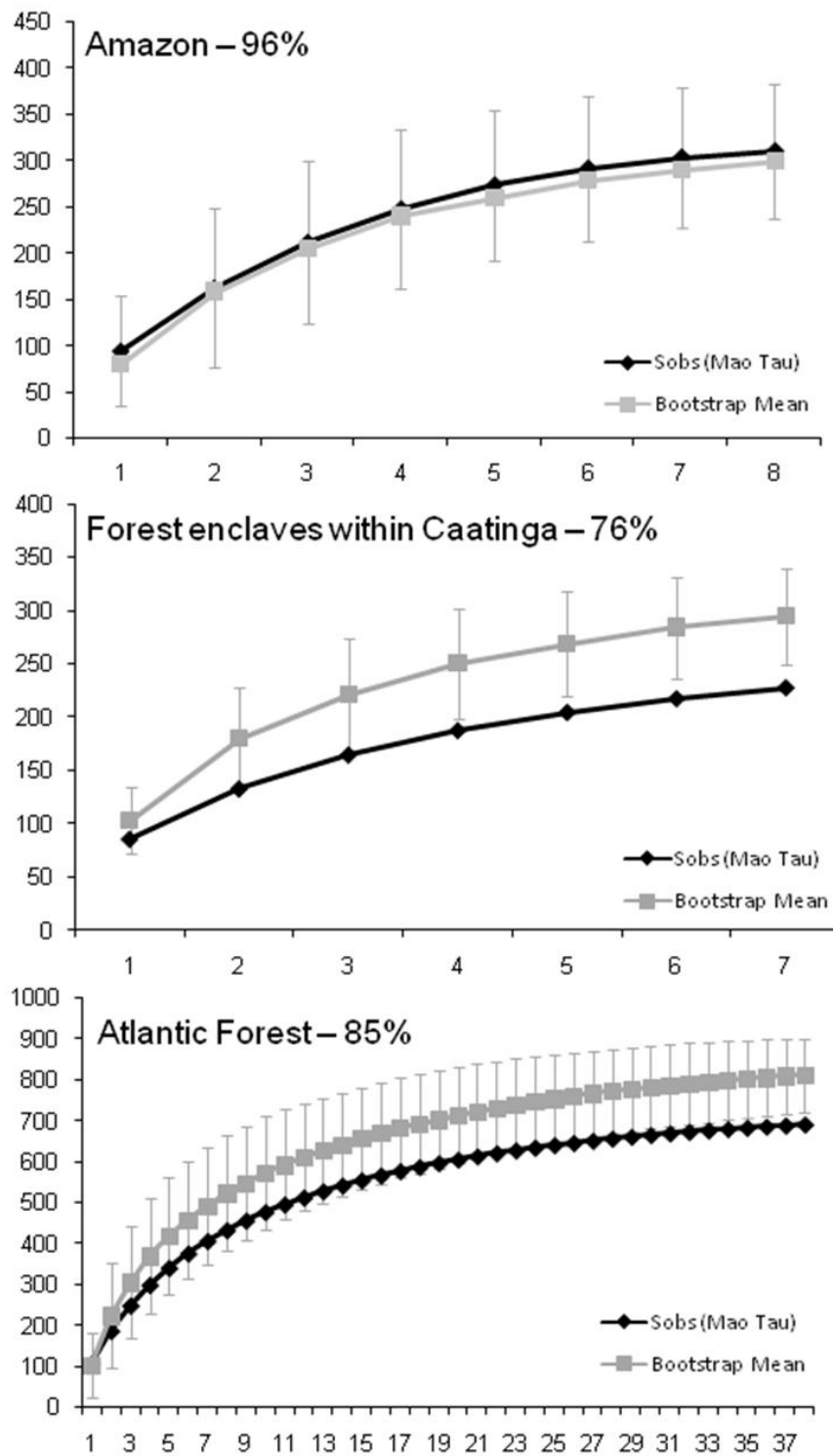


Figure 3. Relation of spore size between the bryophyte phylum studied (A) and biogeographic process (B). m = moss, l = liverwort.

SUPPLEMENTAL MATERIAL

Appendix S1. Species-area curve of each biogeographic region. Numbers indicate sampling completeness.



Manuscrito II

Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica: abordagem regional.

A ser submetido ao periódico

Biodiversity and Conservation

para publicação

Padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica: abordagem regional.

Mércia Patrícia Pereira Silva · Kátia Cavalcanti Pôrto

Resumo Os padrões de distribuição de briófitas são atribuídos principalmente a filtros ambientais e à competição (similaridade limitante) por recursos ambientais. Assim, foi objetivo desse trabalho determinar quais fatores regem a distribuição de briófitas, em escala regional, na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Foram realizados inventários brioflorísticos em 13 localidades na região (ao longo de seis graus de latitude) e, para cada uma, compilaram-se variáveis geográficas, climáticas e topográficas. Paralelamente, foram anotadas informações sobre história de vida e ecologia para cada espécie de briófita registrada. Na região, as principais condições ecológicas modeladoras dos padrões de diversidade e raridade de briófitas foram as exigências de microhabitat das espécies, como tolerância à luminosidade, e os parâmetros ambientais, sendo a variação altitudinal, a variação da temperatura média anual e a latitude os de maior relevância. Assim, áreas e espécies que possuem tais características devem ser consideradas relevantes para o manejo e conservação do grupo.

Palavras-chave Brasil · Distribuição espacial · Diversidade · Ecologia de comunidades · Floresta Tropical

M. P. P. Silva (✉) · K. C. Pôrto

Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Botânica, Av. Prof. Moraes Rego s/n -
Cidade Universitária, 50670 – 901, Recife, PE, Brasil;

e-mail: merciapps@yahoo.com.br, fax: (55) (81) 21268941

Abstract The distribution patterns of bryophytes are mainly attributed to competition (limiting similarity) for environmental resources and environmental filters. Thus, we aimed to determine which factors determine the distribution of bryophytes on a regional scale, in the Northeastern Atlantic Forest, Brazil. Briofloristic inventories were conducted in 13 localities in the region (over six degrees of latitude) and, for each one, we compiled geographical, climatic and topographical variables. In parallel, we recorded information on life history and ecology of each bryophyte species. In the region, the main ecological conditions shaping the patterns of diversity and rarity of bryophytes were the microhabitat requirements of the species, such as tolerance to light, and environmental parameters, such as altitudinal and mean temperature ranges and latitude with the highest relevance. Thus, areas and species that have such features should be considered relevant to conservation and management of the group.

Key-words Brazil · Community ecology · Diversity · Spatial distribution · Tropical Forest ·

Introdução

Os padrões atuais de distribuição de plantas têm sido recentemente atribuídos a duas causas principais: forças evolutivas (presença de sinal filogenético nos traços das espécies) e forças determinísticas, seja por filtros ambientais (fatores climáticos, geográficos e histórico de uso da terra atual e pretérito) ou por competição – ou similaridade limitante – entre espécies (e.g. Vellack et al. 2007).

Os filtros ambientais atuam como regras de montagem das comunidades por selecionarem espécies que possuem nichos semelhantes que as permitem sobreviver e reproduzir efetivamente em um ambiente (Sobral and Cianciaruso 2012). Por sua vez, a competição assume que a co-ocorrência de espécies somente é possível se elas possuírem características distintas entre si (ou seja, baixa sobreposição de nicho), pois espécies com características muito similares devem se excluir (Funk et al. 2008).

Como os processos envolvidos na distribuição das espécies são dependentes da escala espacial, espera-se que os filtros ambientais estructurem as assembléias predominantemente em escalas espaciais maiores, onde espécies com requerimentos ambientais semelhantes devem ocorrer em habitats similares e específicos (Sobral and Cianciaruso 2012). Porém, sabe-se que os fatores ambientais somente podem afetar a

ocorrência de uma espécie, se uma dispersão eficiente tiver acontecido (Mota de Oliveira 2010). Então, dependendo da proximidade entre duas ou mais comunidades, bem como do tamanho de cada uma delas, a sua distribuição pode variar meramente devido a processos de dispersão (Hubbel 2001). A teoria neutra de ecologia de comunidades afirma que eventos ao acaso moldam a estrutura da metacomunidade, baseando-se na premissa de que os indivíduos são funcionalmente equivalentes e, portanto, a probabilidade de geração per capita de nascimentos, mortes, migração e especiação são essencialmente idênticos.

Por outro lado, em escalas espaciais menores, a homogeneidade do habitat deve aumentar a importância da competição, tornando-a uma restrição predominante para a co-ocorrência de espécies com características similares (e.g. história de vida e preferência por microhabitats específicos) (Webb et al. 2002). Por exemplo, indivíduos masculinos e femininos de espécies dióicas de briófitas podem falhar em se estabelecer próximos um do outro, enquanto espécies monóicas podem se tornar raras por conta dos efeitos da endogamia (Longton 1994). Análises realizadas com a flora Britânica por Longton (1992) e Laaka-Lindenberg et al. (2000) mostraram que dentre as espécies produtoras de esporófito, mais monóicas do que dióicas foram raras (Söderstrom and During 2005). O tamanho do esporo também pode influenciar os padrões de distribuição. Quanto menor os esporos, característica geralmente atribuída a espécies com ampla distribuição geográfica, mais facilmente estes são transportados por longas distâncias pelo vento (Frahm 2008).

Ademais, a perda de habitat pode causar raridade em muitas espécies (Vanderpoorten and Engels 2003). Espécies raras são usualmente mais especializadas a um tipo de habitat (Heinlen and Vitt 2003) e mudanças nos ambientes originais podem diminuir as suas amplitudes de ocorrência ou levar à substituição de espécies com nicho ecológico mais estreito por generalistas (Naaf and Wulf 2010).

Nesse contexto, o entendimento das causas da distribuição de briófitas é extremamente relevante para a Floresta Atlântica. Este Domínio de Floresta Tropical Úmida é situada ao longo de toda a costa brasileira e tem uma das maiores biodiversidades do planeta (Rede de ONGs da Mata Atlântica 2006). Apesar do grande número de espécies, a Floresta Atlântica constitui-se num dos principais alvos da degradação ambiental advinda das atividades exploratórias humanas, como a expansão agro-pecuária e indústria madeireira, sendo considerada um *Hotspot* mundial para a

conservação (Conservation International do Brasil et al. 2000). Na região Nordeste do Brasil, a situação de degradação florestal é ainda mais severa, em consequência da exploração secular dos seus recursos florestais, tendo como principal agente causador a cultura canavieira (Tabarelli et al. 2005).

A ocorrência de briófitas no Nordeste do Brasil tem sido bem documentada de forma concentrada para algumas localidades (Silva and Pôrto, dados não publicados), porém ainda faltam estudos que sintetizem as relações entre a distribuição de espécies e as características de paisagem em escala regional. Assim, foi objetivo desse trabalho determinar quais fatores regem a distribuição de briófitas na Floresta Atlântica, em escala regional. As seguintes hipóteses foram postuladas:

- (1) A composição, a riqueza total e as relativas de espécies raras e freqüentes são moldadas por fatores ambientais, em escala regional.
- (2) Espécies monóicas, com esporos pequenos e generalistas quanto ao microhabitat são mais bem distribuídas regionalmente.

Métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em 13 localidades na porção setentrional da Floresta Atlântica, *lato sensu*, do Brasil, abrangendo os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe (34°51'41" – 37°20'32"W; 5°51'00" – 10°45'16"S) (Fig. 1, Tabela 1). Todas as áreas estudadas cobrem uma distância linear de 595 km no sentido Norte-Sul e 243 km Leste-Oeste.

Nesses Estados, a Floresta Atlântica está distribuída principalmente sobre as terras baixas da Formação Barreiras e os contra-fortes do Planalto da Borborema até 1.200m de altitude (Veloso et al. 1991; Tabarelli et al. 2006). O clima é Tropical Úmido, com influência oceânica e duas estações (seca e chuvosa), definidas principalmente pelo regime pluvial, sendo este variável latitudi- e longitudinalmente. A temperatura média é de 25°C. Há a formação de florestas de terras baixas (0-100m), submontanas (100-600m) e montanas (600-1.200m) (Veloso et al. 1991). Nesta última inserem-se os encaves de Floresta Úmida em meio à região semi-árida, os brejos de altitude (*sensu* Andrade-Lima 1982).

Nas Florestas de Terras Baixas, a geomorfologia caracteriza-se por solos profundos e a precipitação atinge até 2.000mm/ano (Webb 1979). Nas regiões mais interioranas, a distribuição da precipitação é bem mais reduzida e irregular (600-1000 mm/ano) (Braga et al. 2003), enquanto nos encaves de Floresta Úmida as chuvas orográficas garantem níveis de precipitação superiores a 1.200mm/ano (Andrade-Lima 1960; Andrade and Lins 1986; Cabral et al. 2004). As áreas têm história natural e econômica semelhantes.

Amostragem e montagem de banco de dados

Foram realizadas coletas exploratórias com duração média de dois dias em cada uma das áreas estudadas. O inventário contemplou tronco vivo, tronco morto, folha, rocha e solo, substratos favoráveis ao desenvolvimento de briófitas.

As amostras foram identificadas ao nível específico e a atualização da nomenclatura taxonômica foi realizada através de revisões taxonômicas e checklists (Buck 1998; Crosby et al. 1999; Gradstein and Costa 2003; Bastos and Yano 2004), e consultas a bancos de dados *online* [Missouri Botanical Garden (<http://mobot.mobot.org/Pick/Search/most.html>) e Lista de espécies da flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB000006>)]. O sistema de classificação adotado para Marchantiophyta (hepáticas) foi Crandall-Stotler et al. (2009) e para Bryophyta (musgos) Goffinet et al. (2009), com atualizações. O material testemunho está registrado e depositado no Herbário UFP, da Universidade Federal de Pernambuco.

Com base em literatura especializada (Ochi 1980, 1981, 1982; Gradstein 1992; Sharp et al. 1994; Buck 1998; Heinrichs et al. 1998; Reiner-Drehwald 1998, 2000; Grolle and Heinrichs 1999; Luizi-Ponzo and Barth 1999; Reiner-Drehwald and Goda 2000; Gradstein et al. 2001; Gradstein and Costa 2003; Bastos 2004; Bischler-Causse et al. 2005; Ilkiu-Borges 2005; Caldeira et al. 2006, 2009; Luizi-Ponzo and Melhem 2006; Visnadi 2006; Pursell 2007; Reiner-Drehwald and Pôrto 2007; Costa 2008; Ilkiu-Borges and Alvarenga 2008; Alvarenga et al. 2009, 2010; Silva and Pôrto 2009, 2010; Oliveira et al. 2011; Glime 2012) foram compilados, para cada espécie, os seguintes parâmetros: 1) tipo de sistema reprodutivo (dióico e/ou monóico), 2) tamanho do esporo, 3) forma de crescimento, considerando a tolerância à dessecação (*Exigente* – flabeliforme, pendente, caudado e dendróide – *Intermediária* - trama e tapete – e *Tolerante* - tufo e

coxim e 4) preferência de microhabitat quanto à tolerância à luminosidade (generalista, especialista de sol e de sombra). A partir disso, seis grupos funcionais foram considerados: generalistas, especialistas de sol, especialistas de sombra, de forma de crescimento exigente, intermediária e tolerante. Devido à insuficiência ou à duplicidade de informações, algumas espécies deixaram de ser contabilizadas nas análises (16 spp. para sistema reprodutivo e 52 spp. para tamanho do esporo – quatro espécies de musgos com esporófito desconhecido e 48 spp. de hepáticas sem informação).

Para cada localidade estudada foram compiladas 19 variáveis bioclimáticas (Tabela 2), extraídas do banco de dados do Worldclim¹ na resolução espacial de 1 km², sendo todas cortadas (“clipadas”) para a região estudada, utilizando-se o programa Arcview 9.3. Visando gerar fatores biologicamente mais significativos, as *layers* são resultantes de interpolações de temperatura e pluviosidade obtidas por estações meteorológicas no período de 1950 a 2000 (Hijmans et al. 2005), representando padrões anuais, sazonalidade e fatores ambientais extremos. Além disso, a variação altitudinal, a latitude e a longitude das áreas coletadas foram aferidas em campo com um GPS, totalizando 22 variáveis ambientais analisadas.

Análise de dados

A suficiência amostral de cada uma das áreas estudadas foi acessada através de curvas de acumulação de espécies usando o *software* EstimateS 8.2 (Colwell 2005).

Com o intuito de averiguar se a composição florística é mais similar entre áreas geograficamente mais próximas foi realizado o teste de Mantel (Mantel 1967), utilizando-se o programa Fitopac 2.

Para analisar tendências nos padrões de ocupação, as espécies foram enquadradas em categorias de distribuição com base na constância regional (nº de áreas) e na frequência local (nº de assinalamentos): 1) freqüentes e abundantes (cores), freqüentes e pouco abundantes (rurais), pouco freqüentes e abundantes (urbanas) e pouco freqüentes e pouco abundantes (satélites) (Söderström 1989; Holz et al. 2002). Esta classificação foi padronizada para o conjunto total de espécies ocorrentes nas áreas inventariadas e separadamente para cada uma delas (Alvarenga et al. 2009) (Anexo 1), sendo válida apenas para o presente estudo.

¹ Worldclim, 2006, disponível em <http://www.worldclim.org>

As variáveis ambientais mais autocorrelacionadas foram eliminadas através do teste de correlação de Spearman ($|rs| > 0.7$). A relevância de cada uma das variáveis selecionada em relação a riqueza total e a riqueza relativa das espécies raras (satélites) e frequentes (cores) foi calculada através de uma Análise de Regressão Múltipla “Stepwise” com a inserção progressiva de variáveis. Todas as variáveis ambientais foram “ranging” transformadas.

As relações entre a composição total e os grupos funcionais e as variáveis ambientais foram analisadas através de uma análise de correspondência canônica (CCA, Canonical Correspondence Analysis). Este método de ordenação consiste em sintetizar, em um gráfico com eixos perpendiculares, a variação multidimensional de um conjunto de variáveis (Zuur et al. 2007). As variáveis bióticas e ambientais são transformadas em coordenadas (scores) correspondentes à sua projeção em cada eixo de ordenação (eigenvector). O autovalor (eigenvalue) é o peso relativo de cada eixo na explicação da variância total dos dados. Assim, uma matriz primária contendo os dados de frequência das espécies de briófitas por área e uma matriz secundária contendo as variáveis ambientais selecionadas, todas as variáveis computadas como quantitativas, foram fornecidas para a análise. Testes de permutações de Monte Carlo foram feitos para determinar a significância do primeiro eixo, usando uma aleatorização com 999 permutações. A análise foi procedida no programa PC-ORD 5.

O teste de qui-quadrado foi utilizado para verificar se a preferência de microhabitat quanto à tolerância à luminosidade, a forma de crescimento e o tipo de sistema reprodutivo variaram em relação às categorias de distribuição. Os testes de Kruskal-Wallis e Bonferroni para comparações *a posteriori* (forma de crescimento e guildas), Mann-Whitney (sistema reprodutivo) e Regressão linear simples (tamanho do esporo) foram usados para investigar se a frequência local e a constância regional variaram em relação aos parâmetros de história de vida e ecológicos (Zar 1996). As análises estatísticas foram procedidas no *software* Statistica 8.0.

Resultados

O inventário de briófitas resultou em 839 amostras. Foram registradas 200 spp., distribuídas em 96 gêneros e 40 famílias, sendo 103 hepáticas (42 gêneros e 13 famílias)

e 97 musgos (54 gêneros e 27 famílias) (Anexo 2). Somente *Octoblepharum albidum* Hedw. ocorreu em todas as áreas estudadas.

A riqueza das localidades variou entre 12–104 spp., sendo a PTA (para abreviação das localidades, ver Tabela 1) a mais rica, seguida pela MDE (99 spp.), enquanto as mais pobres foram a PDU e a APA. Entre 81%-94% das espécies esperadas para as localidades foram coletadas, observando-se uma tendência à estabilização da curva espécie-área (Anexo 3).

Variáveis ambientais

Das 22 variáveis ambientais analisadas, 10 foram utilizadas no modelo de regressão linear múltipla. O modelo mais eficiente para a riqueza (R^2 ajustado=0.91, $F=23.7$, $p<0.001$, Erro Padrão estimado: 9.45) considerou cinco variáveis, com apenas duas significativas: Variação altitudinal e Variação da temperatura média anual (Tabela 3). Por sua vez, a riqueza relativa de espécies raras (satélite) foi influenciada positivamente pela latitude e variação da temperatura média anual, enquanto as freqüentes (core) não mostraram influência com nenhuma variável ambiental estudada.

A análise de ordenação explicou nos dois principais eixos 47% da variação na composição de espécies (Fig. 2a). Ademais, mostrou que a variação altitudinal, variação da temperatura média anual, latitude e sazonalidade da temperatura são os parâmetros ambientais que explicaram a composição de espécies das áreas mais ricas. Em oposição, a variação da precipitação, a precipitação média dos três meses mais quentes e a temperatura média dos três meses mais frios, explicaram a composição de espécies das áreas menos ricas. Quanto aos grupos funcionais, os dois primeiros eixos da ordenação explicaram 75.5% da variação dos dados. Novamente, a variação altitudinal, a sazonalidade da temperatura, a variação da temperatura média anual e a latitude foram as variáveis que mais explicaram a composição dos grupos funcionais, somente nas duas localidades mais ricas (Figura 2b).

Observou-se, um acréscimo da riqueza total, embora marginalmente significativo, com a latitude (Beta: 0.67, $p=0.07$), sendo as áreas mais diversas situadas ao Sul e a maioria das mais pobres ao Norte (Figura 3). O mesmo padrão foi observado para a riqueza relativa de espécies raras, enquanto as freqüentes decresceram em relação à latitude. Não foi observado autocorrelação espacial dos dados, i.e., a composição

florística não foi correlacionada com a distância geográfica das localidades estudadas ($r_M = 0.20$, $p = 0.15$).

Ecologia e História de vida

No total, predominaram espécies generalistas (98 spp., especialistas de sol – 48 spp. e de sombra – 62 spp.), com forma de crescimento de tolerância intermediária (111 spp., exigente – 41 spp., 48 – tolerante), dióicas (99 spp. e 85 spp. monóicas) e com esporos pequenos, abaixo ou igual à média dos dados ($23\mu\text{m} \pm 19.6$) (92 spp.).

Quanto aos padrões de ocupação, seis espécies foram classificadas como “core”, 16 como “rural”, 108 como “urbana” e 70 como “satélite” (Figura 4).

A preferência por microhabitat foi o único parâmetro que variou significativamente em relação à frequência local ($H(2,200)=11.67$, $p<0.001$), constância regional ($H(2,200)=13.64$, $p=0.001$) (Figura 5) e entre as categorias de padrões de distribuição ($X^2=6.71$, $df=2$, $p=0.03$), sendo todas as espécies frequentes, core, consideradas generalistas e 40% das espécies raras, satélite, especialistas de sombra (Figura 6).

Nenhum parâmetro de história de vida mostrou relação com a frequência local (sistema reprodutivo: $U=4053$, $p=0.77$; forma de crescimento: $H(2,200)=4.64$, $p=0.09$; tamanho do esporo: $R^2<0.01$, $p=0.89$). Essas variáveis também não foram informativas para explicar os padrões de distribuições das espécies (sistema reprodutivo: $X^2=3.27$, $df=1$, $p=0.07$; forma de crescimento: $X^2=3.65$, $df=2$, $p=0.16$; tamanho do esporo: $H(3,148)=3.29$, $p=0.35$). Por outro lado, quando analisados regionalmente, espécies monóicas foram mais constantes na paisagem, i.e, aconteceram em um maior número de áreas, do que as dióicas ($U=3468$, $p=0.04$).

Discussão

A distribuição de briófitas na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil não pôde ser explicada pela proximidade geográfica entre as áreas, o que sugere que outros fatores determinísticos, ambientais, de paisagem e/ou do estado de conservação, definem a estrutura das comunidades nessa região.

Segundo os resultados encontrados, tanto a competição quanto os filtros ambientais operam simultaneamente na seleção das espécies das localidades (Vellak et al. 2007; Cianciaruso et al. 2009). De fato, a preferência de microhabitat e fatores de história de vida e ambientais (relacionados a filtros ambientais) influenciaram a riqueza das espécies de briófitas, corroborando, assim, a primeira hipótese. No entanto, a preferência de microhabitat quanto à tolerância à luminosidade (em escala regional e local), o tipo de sistema reprodutivo (regionalmente) e parâmetros ambientais, como variação altitudinal, latitude e variação da temperatura média anual parecem mais relevantes para as comunidades estudadas. Por sua vez, a segunda hipótese não foi confirmada, tendo em vista que a forma de crescimento, o tamanho médio do esporo e o tipo de sistema reprodutivo não influenciaram a frequência local nem os padrões de distribuição das espécies.

Variáveis ambientais

Observou-se que as briófitas responderam negativamente ao aumento da variação da temperatura. Esse resultado corrobora o fato de a maioria das briófitas ser adaptada a condições restritas de temperatura e umidade, devido, principalmente, a sua natureza poiquilohídrica (i.e., não possuem mecanismos especializados para a regulação e perda de água; Proctor 1979; Schofield 1985). Sendo assim, variações bruscas desses parâmetros ambientais, como aberturas de clareiras, desmatamento, abertura de estradas e incêndios, podem influenciar negativamente a brioflora.

Complementarmente, as respostas obtidas por esse estudo reforçam, ainda, que, devido a sua sensibilidade às alterações de temperatura, as briófitas representam importantes monitores na predição de mudanças climáticas e seus efeitos nos ecossistemas. Apesar das briófitas serem usadas com sucesso como monitoras da deposição de metais pesados, chuva ácida e até radionuclídeos (Gignac 2001), elas são escassamente usadas como monitores de mudanças climáticas (porém, ver Tuba et al. 2011). Sendo assim, as briófitas podem contribuir para responder questões do quão rápido as mudanças climáticas afetam as espécies e os ecossistemas, o que deve ser levado em conta em trabalhos futuros (Gignac 2001).

Nesse estudo, ficou evidente a relação positiva da variação altitudinal com a brioflora. Vários autores corroboraram a importância da altitude para a riqueza de

briófitas (Richards 1984; Frahm 1990; Gradstein 1995; Frahm and Ohlemüller 2001), inclusive para a Floresta Atlântica (Pôrto 1992; Santos and Costa 2010) e sugerem que essa relação pode ser explicada por temperaturas mais amenas, mais umidade e neblina e maior diversidade de microhabitats e nichos especializados disponíveis para estabelecimento de um maior número de espécies. Na região estudada, embora com níveis elevacionais não tão pronunciados (9 áreas tem altitude média abaixo de 400m), a amplitude da altitude dentro de cada área foi confirmada como um parâmetro relevante para a brioflora da região.

A riqueza total e a relativa de espécies raras da Floresta Atlântica do Nordeste Brasileiro aumentaram com a diminuição da latitude, apesar deste estudo ter se restringido à análise de seis graus de latitude. As briófitas parecem apresentar padrões de diversidade diferentes das plantas vasculares com relação à latitude (Cox and Larson 1993; Pharo et al. 1999; Vanderpoorten and Goffinet 2009). Por exemplo, no Chile, os padrões de riqueza de espécies vasculares e avasculares foram invertidos ao longo de 25 graus de latitude (Rozzi et al. 2008). Este padrão se torna evidente quando a diversidade mundial de gêneros do filo Marchantiophyta é examinada (Vanderpoorten et al. 2010). As famílias Lophoziaceae e Scapaniaceae, por exemplo, seguem uma tendência de aumento da diversidade com a distância do Equador (Söderström et al. 2007). Embora seja verdade que o atual nível de conhecimento brioflorístico em regiões tropicais é muito inferior ao alcançado em áreas temperadas, o quadro teria que mudar dramaticamente para uma clara tendência, com a aproximação do Equador, sobressair (Shaw et al. 2005).

Para a Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil, o aumento da diversidade com a latitude também têm sido reportado para outros grupos, como aves e mamíferos (Asfora & Mendes Pontes 2009, Roda et al. 2003). Porém, este resultado tem sido mais atribuído à maior proporção de área florestal no limite sul desta floresta (ver Fig. 1) do que à latitude propriamente dita. Dessa forma, provavelmente a cobertura florestal nos remanescentes, dentro da abrangência do estudo, está intimamente relacionada à distribuição da brioflora regional.

A predominância da forma de crescimento intermediária pode ser atribuída à grande representatividade da família Lejeuneaceae (64spp. – 32%), uma das mais ricas de briófitas, na qual a maioria das espécies possui o tipo de crescimento trama, intermediária quanto à dessecação. Por outro lado, esporos de briófitas variam de cinco (*Dawsonia*) a 310 (*Archidium*) μm , mas poucos são maiores que 30 μm (Crum 2001), o que influencia a sua dispersão. No entanto, Söderström & During (2005) argumentam que a taxa de produção de esporos pode ter mais peso na distribuição de espécies do que o tamanho propriamente dito. Espécies com esporos pequenos produzem, em geral, mais esporos do que aquelas com esporos maiores. Essa maior quantidade de esporos promoverá maior chances de sucesso na dispersão e no estabelecimento e, assim, pode contrabalancear o efeito do tamanho do esporo (Eriksson & Jakobsson 1998; Söderström & During 2005).

Quanto ao tipo de sistema reprodutivo, espécies monóicas foram regionalmente mais constantes, i.e., ocorreram em um maior número de áreas. Sabe-se que mais da metade das espécies de briófita é dióica (Longton & Schuster 1983), e que, muitas delas têm produção de esporófito limitada pelo declínio de populações de um dos sexos, ou pela distância entre populações de sexo oposto (Longton & Greene 1969, Longton 1976, Longton & Schuster 1983). Por conta disso, espécies dióicas muitas vezes se valem de propágulos assexuados, tidos como mais importantes para o estabelecimento e a manutenção da população local (Newton & Mishler 1994, Reese 1997), enquanto as monóicas, por se valerem mais de reprodução sexuada (Longton & Schuster 1993), conseguem alcançar distâncias maiores.

Espécies generalistas sobressaíram-se significativamente, tanto local- quanto regionalmente, em relação àquelas de nicho mais estreito, o que é recorrente na literatura (Alvarenga & Pôrto 2007, Silva & Pôrto 2009, 2010) devido a própria biologia dessa guilda. Ademais, para o banco de dados geral, espécies raras, ou satélites, foram predominantemente especialistas de sombra, ao passo que todas as freqüentes, ou core, foram generalistas, corroborando a terceira hipótese levantada. Espécies de nicho ecológico mais amplo vivem em condições sub-ótimas de recurso. Acebey et al. (2003) constataram ser as briófitas de sombra mais fortemente prejudicadas pelo desflorestamento, às vezes encontrando-se completamente ausentes em sítios degradados, seguidas pelas típicas de sol, enquanto as generalistas foram praticamente indiferentes.

Vários trabalhos avaliaram aspectos de populações e comunidades de briófitas em remanescentes de uma Unidade de Conservação da Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil, considerando tanto o gradiente vertical (classes de altura dentro das plantas hospedeiras) quanto horizontal (margem-núcleo), e encontraram um padrão semelhante (Alvarenga et al. 2009, 2010, Silva & Pôrto 2009, 2010, Oliveira et al. 2011). As autoras verificaram que fragmentos pequenos e isolados apresentaram uma riqueza significativamente maior de generalistas, além de espécies afetadas em aspectos reprodutivos, sendo as populações férteis menos freqüentes. Ademais, constataram que a perda de habitat levou a um deslocamento das guildas típicas de sol do dossel para o sub-bosque.

Sendo assim, a redução da heterogeneidade das comunidades estudadas, em decorrência dos processos de degradação e da perda de habitat, recorrentes na região, também pode ser apontada como causas da predominância de generalistas (Naaf & Wulf 2010).

Em suma, na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil, as principais condições ecológicas que controlam os padrões de diversidade e raridade de briófitas são as exigências ecológicas das espécies, como amplitude de nicho, e os parâmetros ambientais, sendo a variação altitudinal, a variação da temperatura média anual e a latitude relevantes. Assim, áreas e espécies que possuem tais características devem ser consideradas interessantes para o manejo e conservação do grupo.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Dra. Olga Yano pela confirmação e identificação de algumas espécies e ao CNPq e à Fundação Grupo O Boticário de Proteção À Natureza pelo suporte financeiro.

Referências bibliográficas

- Acebey A, Gradstein SR, Krömer T (2003) Species diversity and habitat diversification of epiphytic bryophytes in submontane forest and fallows in Bolivia. *J Trop Ecol* 19: 9-18
- Alvarenga LDP, Pôrto KC (2007) Patch size and isolation effects on epiphytic and

- epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic Forest. *Biol Conserv* 134: 415-427
- Alvarenga LDP, Pôrto KC, Silva MPP (2009) Relations Between Regional–Local Habitat Loss and Metapopulation Properties of Epiphyllous Bryophytes in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 41: 682-691
- Alvarenga LDP, Pôrto KC, Oliveira JRPM (2010) Habitat loss effects on spatial distribution of epiphytic bryophytes in a Brazilian Atlantic forest. *Biodivers Conserv* 19: 619-635
- Andrade-Lima D (1960) Estudos fitogeográficos de Pernambuco. *Arquivo do Instituto de Pesquisas Agronômicas de Pernambuco* 5: 305-341
- Andrade-Lima D (1982) Present day forest refuges in Northeastern Brazil. In: Prance GT (ed) *Biological diversification in the Tropics*, Columbia University, New York, pp 245-254
- Andrade GO, Lins RC (1986) Introdução ao estudo dos “brejos” de Pernambuco. In: Jatobá L (ed) *Estudos Nordestinos de Meio Ambiente, I Encontro Nacional de Estudos do Meio Ambiente*, Massangana, Recife, pp 271-294
- Asfora PH, Mendes Pontes AR (2009) The small mammals of the highly impacted North-eastern Atlantic Forest of Brazil, Pernambuco Endemism Center. *Biota Neotrop* 9: 31-35
- Bastos CJP (2004) *Lejeuneaceae (Marchantiophyta) no estado da Bahia, Brasil*. Dissertation, University of São Paulo
- Bastos CJP, Yano O (2004) O gênero *Lejeunea* Libert (Lejeuneaceae) no Estado da Bahia, Brasil. *Hoehnea* 36: 303-320
- Bates JW, Proctor MCF, Preston CD, Hodgetts NG, Perry AR (1997) Occurrence of epiphytic bryophytes in a ‘tetrad’ transect across southern Britain. 1. Geographical trends in abundance and evidence of recent change. *J Bryol* 19: 685-714
- Bischler-Causse H, Gradstein SR, Jovet-Ast S, Long DG, Allen NS (2005) *Marchantiidae*. *Flora Neotropica Monograph* 97: 1-262
- Braga CC, Brito JIB, Sansigolo CA, RAO TVR (2003) Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. *Rev Bras Agrometeorol* 11: 149-157
- Buck WR (1998) *Pleurocarpous Mosses of the West Indies*. *Mem New York Bot Gard*

82: 1-401

- Cabral JJSP, Braga RAP, Montenegro SMGL, Campello MSC, Filho SL (2004) Recursos hídricos e os brejos de altitude. In: Pôrto KC, Cabral JJP, Tabarelli M (ed) Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: História Natural, Ecologia e Conservação, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp 31-48
- Caldeira IC, Esteves VGL, Luiz-Ponzo AP (2006) Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. Rev Bras Bot 29: 301-307
- Caldeira IC, Esteves VGL, Luiz-Ponzo AP (2009) Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. Rev Bras Bot 32: 299-306.
- Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009) Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. Biota Neotrop 9: 93-103
- Clarke KR, Warwick RW (2001) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation, 2nd ed. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth
- Colwell RK (2005) Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples, Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>
- Conservation International do Brasil, Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (2000) Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. MMA, Brasília
- Costa DP (2008) Metzgeriaceae. Flora Neotropica Monograph 102. New York Botanical Garden, New York
- Cox JE, Larson DW (1993) Environmental relations of the bryophytic and vascular components of a talus slope plant community. J Veg Sci 4: 553-560
- Crandall-Stotler B, Stotler RE, Long DG (2009) Morphology and classification of the Marchantiophyta. In: Goffinet B, Shaw AJ (ed) Bryophyte Biology, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, pp 1-54
- Crosby MR, Magill RE, Allen B, He S (1999) A Checklist of the Mosses. Missouri Botanical Garden, St. Louis.
- Crum H (2001) Structural Diversity of Bryophytes. University of Michigan Herbarium,

Michigan

- Eriksson O, Jakobsson A (1998) Abundance, distribution and life histories of grassland plants: a comparative study of 81 species. *J Ecol* 86: 922–933
- Frahm JP (1990) The effect of light and temperature on the growth of the bryophytes of tropical rain forests. *Nova Hedwigia* 51: 151-164
- Frahm JP (2008) Bryophyte phytomass in tropical ecosystems. *Bot J Linn Soc* 104: 23-33
- Frahm JP, Ohlemüller R (2001) Ecology of bryophytes along altitudinal and latitudinal gradients in New Zealand. *Studies in austral temperate rain forest bryophytes* 15. *Trop Bryol* 20: 117-137
- Funk JL, Cleland EE, Suding KN, Zavaleta ES (2008) Restoration through reassembly: Plant traits and invasion resistance. *Trends Ecol Evol* 23: 695-703
- Gignac DL (2001) New frontiers in bryology and lichenology: bryophytes as indicators of climate change. *Bryologist* 104: 410-420
- Glime J (2012) Bryophyte Ecology. (<http://www.bryoecol.mtu.edu>)
- Goffinet B, Buck WR, Shaw AJ (2009) Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In: Goffinet B, Shaw AJ (ed) *Bryophyte Biology*, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, pp 56-138
- Gradstein SR (1992) Threatened bryophytes of the Neotropical Rain Forest: a status report. *Trop Bryol* 6: 83-93
- Gradstein SR (1995) Bryophyte diversity of the tropical rainforest. *Arch Sci Genève* 48: 91-96
- Gradstein SR, Churchill SP, Salazar AN (2001) Guide to the Bryophytes of Tropical America. *Mem New York Bot Gard* 86: 1-577
- Gradstein SR, Costa DP (2003) The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. *Mem New York Bot Gard* 88: 1-673
- Grolle R, Heinrichs J (1999) Redescription and synonymy of *Plagiochila aerea* Taylor 1846 (Hepaticae), first described as *Lycopodium pinnatum* by Lamarck 1702. *Nova Hedwigia* 68: 511-525
- Hawkins BA (2001) Ecology's oldest pattern? *Trends Ecol Evol* 16: 470
- Heinlen ER, Vitt DH (2003) Patterns of rarity in mosses of the Okanogan Highlands of Washington State: an emerging coarse filter approach to rare moss conservation. *Bryologist* 106: 34-52

- Heinrichs J, Gradstein SR, Grolle R (1998) A revision of the Neotropical species of *Plagiochila* (Dumort.) Dumort. (Hepaticae) described by Olof Swartz. J Hattori Bot Labo 85: 1-32
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, Jones PG, Jarvis A (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. Int J Climatol 25: 1965-1978
- Holz I, Gradstein SR, Heinrichs J, Kappelle M (2002) Bryophyte Diversity, Microhabitat Differentiation, and Distribution of Life Forms in Costa Rican Upper Montane Quercus Forest. Bryologist 105: 334-438
- Hubbel SP (2001) The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University Press, Princeton
- Ilkiu-Borges AL (2005) A taxonomic monograph of the genus *Prionolejeunea* (Lejeuneaceae, Jungermanniopsida). Dissertation, Göttingen, Cuvillier Verlag
- Ilkiu-Borges AL, Alvarenga LDP (2008) On *Ceratolejeunea atlantica*, a new species of Lejeuneaceae (Jungermanniopsida) from Brazil. Nova Hedwigia 86: 237-241
- Laaka-Lindberg S, Hedderson TAJ, Longton RE (2000) Rarity and reproductive characters in the British hepatic flora. Lindbergia 25: 75-81
- Longton RE (1976) Reproductive biology and evolutionary potential in bryophytes. J Hattori Bot Labo 41: 205-223
- Longton RE (1992) The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems. In: Bates JW, Farmer AM (ed) Bryophytes in a Changing Environment, Claredon Press, Oxford, pp 32-76
- Longton RE (1994) Genetic differentiation within the moss species *Polytrichum alpestre* Hoppe. J Hattori Bot Labo 75: 1-13
- Longton RE, Greene SW (1969) The growth and reproductive cycle of *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. Annals Bot 33: 83-105
- Longton RE, Schuster RM (1983) Reproductive biology. In: Schuster RM (ed) New Manual of Bryology, Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, pp 386-462
- Luizi-Ponzo AP, Barth OM (1999) Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. Grana 38: 42-49
- Luizi-Ponzo AP, Melhem TS (2006) Palinotaxonomia de Rhachithecaceae (Bryophyta) do Brasil. Bol Inst Bot 18: 91-100
- Mantel N (1967) The Detection of Disease Clustering and a Generalized Regression Approach. Cancer Res 27: 209-220

- Mota de Oliveira S (2010) Diversity of epiphytic bryophytes across the Amazon. Dissertation, Utrecht University
- Naaf T, Wulf M (2010) Habitat specialists and generalists drive homogenization and differentiation of temperate forest plant communities at the regional scale. *Biol Conserv* 143: 848-855
- Newton AE, Mishler BD (1994) The evolutionary significance of asexual reproduction in mosses. *J Hattori Bot Labo* 76: 127-145
- Ochi H (1980) A revision of the Neotropical Bryoideae, Musci (First part). *J Facul Educ, Tottori University* 29: 45-154
- Ochi H (1981) A revision of the Neotropical Bryoideae, Musci (Second part). *J Facul Educ, Tottori University* 30: 21-55
- Ochi H (1982) A revision of Bryoideae (Musci) in Southern South America. *J Facul Educ, Tottori University* 31: 11-47
- Oliveira JRPM, Pôrto KC, Silva MPP (2011) Richness preservation in a fragmented landscape: a study of epiphytic bryophytes in an Atlantic forest remnant in Northeast Brazil. *J Bryol* 33: 279-290
- Pharo EJ, Beattie AJ, Binns D (1999) Vascular plant diversity as a surrogate for bryophyte and lichen diversity. *Conserv Biol* 13: 282-292
- Pôrto KC (1992) Bryoflores d'une forêt de plaine et d'une forêt d'altitude moyenne dans l'État de Pernambuco (Brésil); 2. Analyse écologique comparative dès forêts. *Cryptogam, Bryol, Lichenol* 13: 187-219
- Proctor MCF (1979) Structure and eco-physiological adaptation in bryophytes. In: Clarke GCS, Duckett JG (ed) *Bryophyte Systematics*, Academic Press, London, pp 479-509
- Pursell RA (2007) Fissidentaceae. *Flora Neotropica Monograph* 101. New York Botanical Garden, New York
- Rede de ONGs da Mata Atlântica (2006) *Mata Atlântica, uma rede pela floresta*. RMA, Brasília
- Reese WD (1997) Asexual reproduction in Calymperaceae (Musci), with special reference to functional morphology. *J Hattori Bot Labo* 82: 227-244
- Reiner-Drehwald ME (1998) Las Lejeuneaceae (Hepaticae) de Misiones, Argentina V. *Cheilolejeunea y Lepidolejeunea*. *Trop Bryol* 14: 53-68
- Reiner-Drehwald ME (2000) Las Lejeuneaceae (Hepaticae) de Misiones, Argentina VI.

- Lejeunea y Taxilejeunea. Trop Bryol 19: 81-131
- Reiner-Drehwald ME, Goda A (2000) Revision of the genus *Crossotolejeunea* (Lejeuneaceae, Hepaticae). J Hattori Bot Labo 89: 1-54
- Reiner-Drehwald ME, Pôrto KC (2007) *Lejeunea perpapillosa* (Lejeuneaceae), a new species from north-eastern Brazil. Nova Hedwigia 85: 541-546
- Richards PW (1984) The ecology of tropical forest bryophytes. In: Schuster RM (ed) New Manual of Bryology, Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, pp 1233-1270
- Roda SA, Carlos CJ, Rodrigues RC (2003) New and noteworthy records for some endemic and threatened birds of the Atlantic forest of north-eastern Brazil. Bulletin of the British Ornithologists' Club 123: 227-236
- Rozzi R, Armesto JJ, Goffinet B, Buck W, Massardo F, Silander J, Kalin-Arroyo M, Russell S, Anderson CB, Cavieres L, Callicott JB (2008) Changing biodiversity conservation lenses: insights from the sub-Antarctic non-vascular flora of southern South America. Frontiers Ecol Environm 6: 131-137
- Santos ND, Costa DP (2010) Phytogeography of the liverwort flora of the Atlantic Forest of southeastern Brazil. J Bryol 32: 9-22
- Schofield WB (1985) Introduction to Bryology. MacMillan Publishing, New York
- Sharp AJ, Crum H, Eckel PM (1994) The moss flora of Mexico. Mem New York Bot Gard 69: 1-1113
- Shaw AJ, Cox CJ, Goffinet B (2005) Global patterns of moss diversity: Taxonomic and molecular inferences. Taxon 54: 337-352
- Silva IA, Batalha MA (2006) Taxonomic distinctness and diversity of a hyperseasonal savanna in central Brazil. Divers Distrib 12: 725-730
- Silva MPP, Pôrto KC (2009) Effect of fragmentation on the community structure of epixylic bryophytes in Atlantic Forest remnants in the Northeast of Brazil. Biodivers Conserv 18: 317-337
- Silva MPP, Pôrto KC (2010) Spatial structure of bryophyte communities along an edge-interior gradient in an Atlantic Forest remnant in Northeast Brazil. J Bryol 32: 101-112
- Sobral FL, Cianciaruso MV (2012) Estrutura filogenética e funcional de assembléias: (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais. Biosci J 28: 617-631
- Söderström L, Durrant H (2005) Bryophyte rarity viewed from the perspectives of life

- history strategy and metapopulation dynamics. *J Bryol* 27: 259-266
- Söderström L (1989) Regional distribution among bryophyte species on a temporal, patchy substrate. *Bryologist* 92: 349-355
- Söderström L, Séneca A, Santos M (2007) Rarity patterns in the northern hemisphere members of the Lophoziaceae/Scapaniaceae complex. *Biol Conserv* 135: 352-359
- Tabarelli M, Pinto LP, Silva JMC, Hirota M, Bedê L (2005) Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. *Conserv Biol* 19: 695-700
- Tabarelli M, Siqueira Filho JA, Santos AMM (2006) A Floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco. In: Pôrto KC, Almeida-Cortez J, Tabarelli M (ed) *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp 25–40
- Tuba Z, Slack NG, Stark LR (2011) *Bryophyte ecology and climate change*. Cambridge University press, Cambridge
- Vanderpoorten A, Gradstein SR, Carine MA, Devos N (2010) The ghosts of Gondwana and Laurasia in modern liverwort distributions. *Biol Rev Cambridge Philos Soc* 85: 471-487
- Vanderpoorten A, Engels P (2003) Patterns of bryophyte diversity and rarity at a regional scale. *Biodivers Conserv* 12: 545-553
- Vanderpoorten A, Goffinet B (2009) *Introduction to bryophyte*. Cambridge University Press, Cambridge
- Vellack K, Vellack A, Ingerpuu N (2007) Reasons for moss rarity: study in three neighbouring countries. *Biol Conserv* 135: 360-368
- Veloso HP, Rangel Filho ALR, Alves-Lima JC (1991) *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Fundação IBGE, Rio de Janeiro
- Visnadi SR (2006) *Sematophyllaceae da Mata Atlântica do nordeste do Estado de São Paulo*. *Hoehnea* 33: 455-484
- Warwick RM, Clarke KR (1995) New “biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Mar Ecol, Prog Ser* 129: 301-305
- Warwick RM, Clarke KR (1998) Taxonomic distinctness and environmental assessment. *J Appl Ecol* 35: 532-543
- Webb KE (1979) *A Face Cambiante do Nordeste do Brasil*. APEC - Banco do Nordeste do Brasil, Rio de Janeiro

Webb CO, Ackerly DD, Mcpeck MA, Donoghue MJ (2002) Phylogenies and community ecology. *Annu Rev Ecol Syst* 33: 475-505

Zar JH (1999) *Biostatistical analysis*, 4th edition. Prentice Hall, New Jersey

Zuur AF, Ieno EN, Smith GM (2007) *Analysing ecological data*. Springer, New York

Tabela 1. Localização, altitude e riqueza específica de briófitas das localidades de Floresta Atlântica Nordestina, Brasil.

Localidades	Localização (LongW;LatS)	Altitude (Máx. – Mín.)	Riqueza
Parque Estadual Dunas do Natal (PDU)	-35.1833;-5.8500	13 – 45	12
RPPN Mata Bela (MBL)	-35.0659;-6.4092	13 – 51	24
RPPN Mata Estrela (MET)	-35.0235;-6.3744	35 – 65	20
APA Barra do Rio Mamanguape (APA)	-34.9091;-6.8536	25 – 55	12
Jardim Botânico Benjamim Maranhão (JBB)	-34.8614;-7.1366	20 – 50	21
REBIO Guaribas (GBA)	-35.1419;-6.7420	109 – 204	40
Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro (PFE)	-35.7445;-6.9836	400 – 600	50
RPPN Gargaú (GGA)	-34.9563;-6.9913	22 – 80	36
RPPN Pacatuba (PAC)	-35.1566;-7.0425	82 – 147	46
Mata do Estado/ Serra dos Mascarenhas (MDE)	-35.5094;-7.6162	300 – 700	99
REBIO Pedra Talhada (PTA)	-36.4304;-9.2591	560 – 990	104
Parque Nacional de Itabaiana (ITA)	-37.3423;-10.7545	400 – 659	70
Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco (MJU)	-37.0588;-10.5382	111 – 173	62
Total			200

Tabela 2. Variáveis ambientais utilizadas no estudo.

Sigla	Variáveis Ambientais
Lat	Latitude [#]
Long	Longitude
AltVar	Variação altitudinal [#]
TAnn	Temperatura média annual
TRange	Variação média diurna (média do mês (temp max–temp min)) [#]
Isothe	Isotermalidade (P2/P7) (*100) ^{a#}
TSeason	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100) [#]
MaxTWarmMo	Temperatura média máxima do mês mais quente
MinTColdMon	Temperatura média mínima do mês mais frio
TVari	Variação da temperatura média anual [#]
TWetQuart	Temperatura média dos três meses mais úmidos
TDriQuart	Temperatura média dos três meses mais secos
TWarmQuart	Temperatura média dos três meses mais quentes
TColdQuart	Temperatura média dos três meses mais frios [#]
PAnn	Precipitação annual
PWarmMo	Precipitação do mês mais úmido
PDriMo	Precipitação do mês mais seco [#]
PVari	Variação de precipitação (coeficiente de variação) [#]
PWetQuart	Precipitação média dos três meses mais úmidos
PDriQuart	Precipitação média dos três meses mais secos
PWarmQuart	Precipitação média dos três meses mais quentes [#]
PColdQuart	Precipitação média dos três meses mais frios

a: Quantificação da oscilação da temperatura dia-noite em comparação com a do verão-inverno.

#: variáveis menos correlacionadas entre si (Spearman: $|rs| > 0.7$) selecionadas para análises *a posteriori*.

Tabela 3. Coeficientes de Regressão Linear Múltipla “stepwise” (valores de Beta, desvios padrões correspondentes, t e p), com inserção progressiva de variáveis, entre a riqueza total e a riqueza relativa de espécies raras (satélites) e frequentes (cores) e as variáveis ambientais da Floresta Atlântica Nordestina. Valores em negrito indicam significância estatística. Para sigla das variáveis ambientais, ver Tabela 2.

		AltVar	TVari	Lat	Isothe	TSeason
Riqueza total	Beta	0.52	-0.57	0.67	-0.18	-0.30
	D.P.Beta	0.16	0.22	0.32	0.11	0.30
	t	3.26	-2.61	2.11	-1.65	-1.00
	p	0.01	0.03	0.07	0.14	0.35
Riqueza relativa “satélites”	Beta	-	-0.64	0.82	-	-
	D.P.Beta	-	0.15	0.15	-	-
	t	-	-4.32	5.53	-	-
	p	-	<0.001	<0.001	-	-
Riqueza relativa “cores”	Beta	-1.23	4.80	-0.61	3.87	2.08
	D.P.Beta	0.68	1.74	1.27	1.60	1.13
	t	-1.79	2.76	-0.48	2.43	1.83
	p	0.21	0.11	0.67	0.13	0.21

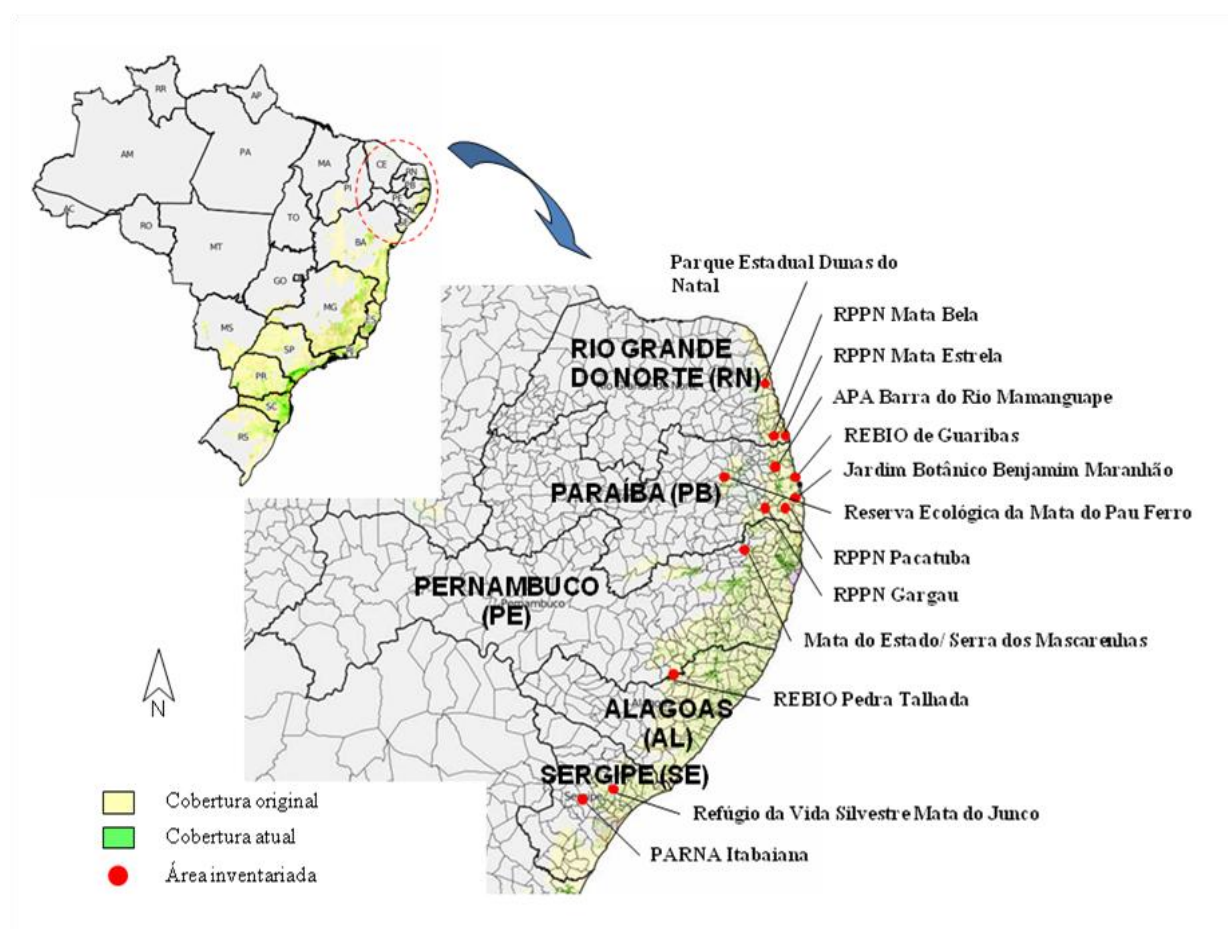


Figura 1. Localização dos remanescentes de Floresta Atlântica Nordestina Brasileira estudados.

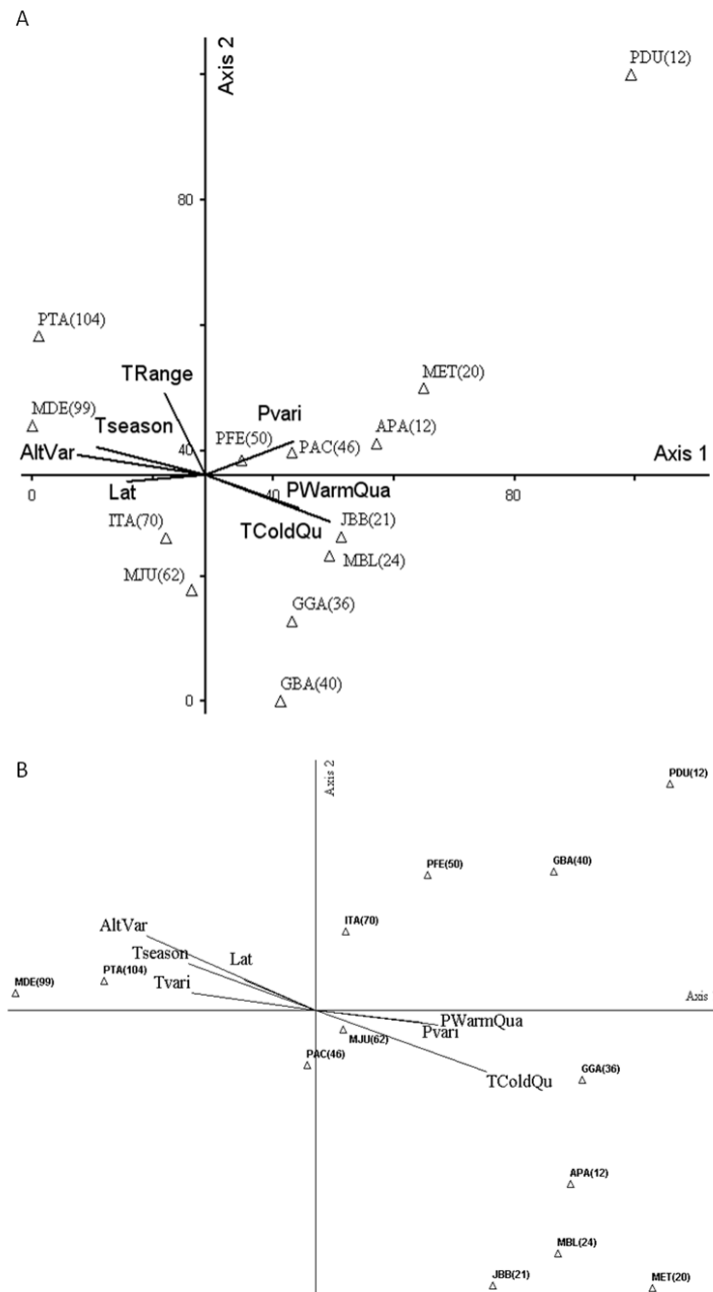


Figura 2. Diagrama da Análise de Correspondência Canônica (CCA) baseado na composição total de espécies (A) e de grupos funcionais (B) de briófitas e nas variáveis ambientais estudadas da Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Variáveis redundantes (Spearman: $|rs| > 0.7$) e pouco explicativas (cutoff: 0.2) foram eliminadas das análises. Valores em parênteses correspondem à riqueza de espécies. Eigenvalues (A): eixo 1 = 0.45, eixo 2 = 0.32, eixo 3 = 0.20. Explicação cumulativa em percentagem explicada pelos dois eixos = 46.6. Eigenvalues (B): eixo 1 = 0.60, eixo 2 = 0.15, eixo 3 = 0.08. Explicação cumulativa em percentagem explicada pelos dois eixos = 75. Para sigla das localidades e das variáveis ambientais, ver Tabela 1 e 2, respectivamente.

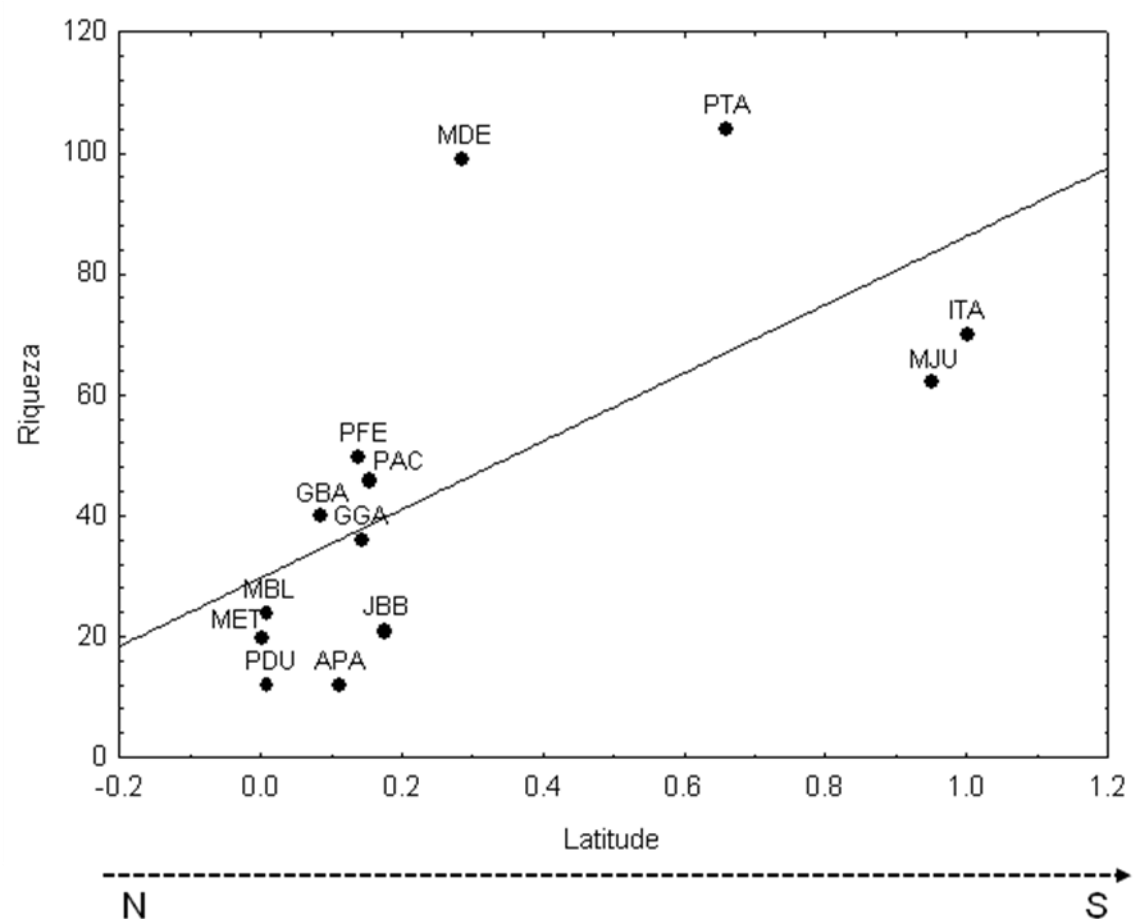


Figura 3. Relação da riqueza de espécies de briófitas das áreas de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil com a latitude (log). Para sigla das localidades, ver Tabela 1.

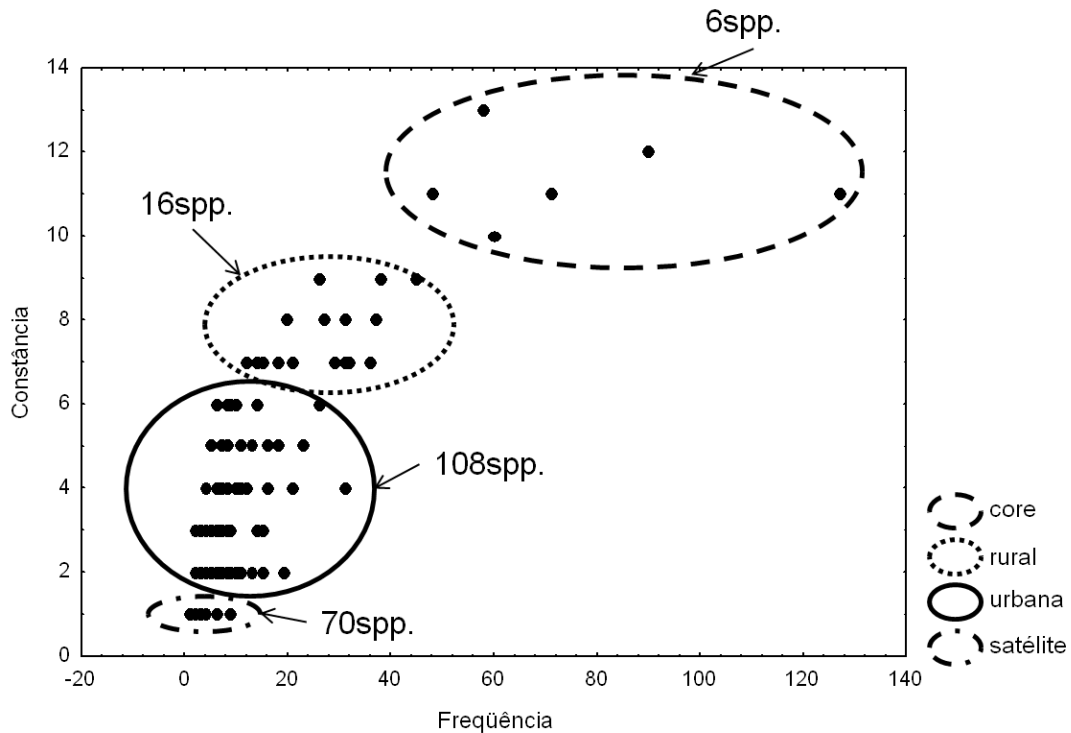


Figura 4. Padrões de ocupação registrados nas comunidades, baseados na constância regional (número de áreas colonizadas) e frequência local (nº de assinalamentos) das espécies de briófitas dos remanescentes de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Cada círculo indica um padrão, conforme legenda. O número de espécies de cada categoria é indicado.

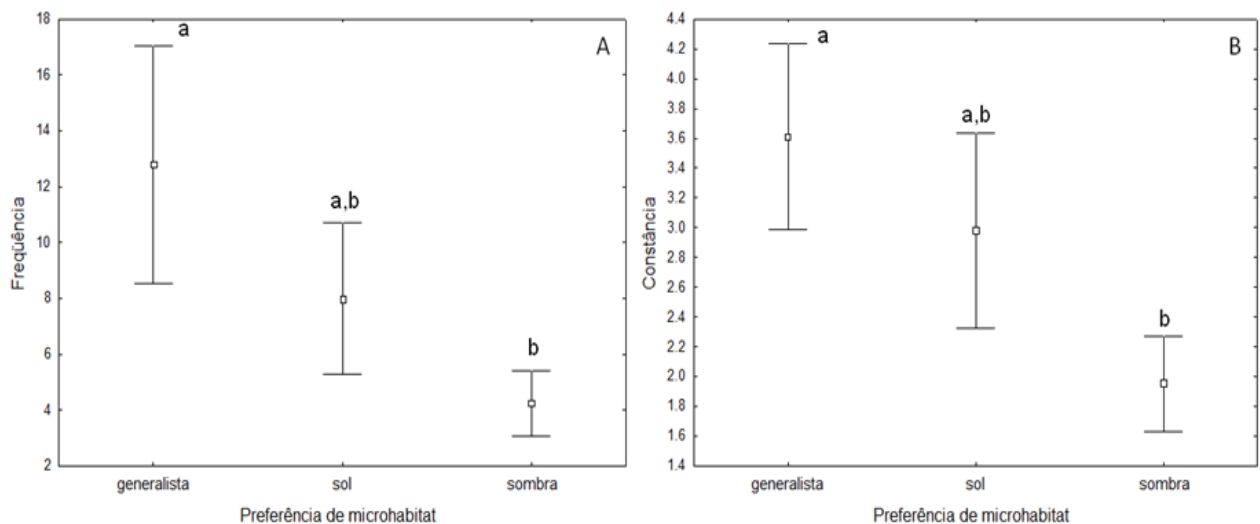


Figura 5. Frequência local (A) e constância regional (B) médias ($\pm$ IC) das espécies de briófitas da Floresta Atlântica Nordestina do Brasil por microhabitat de preferência quanto à tolerância à luminosidade.

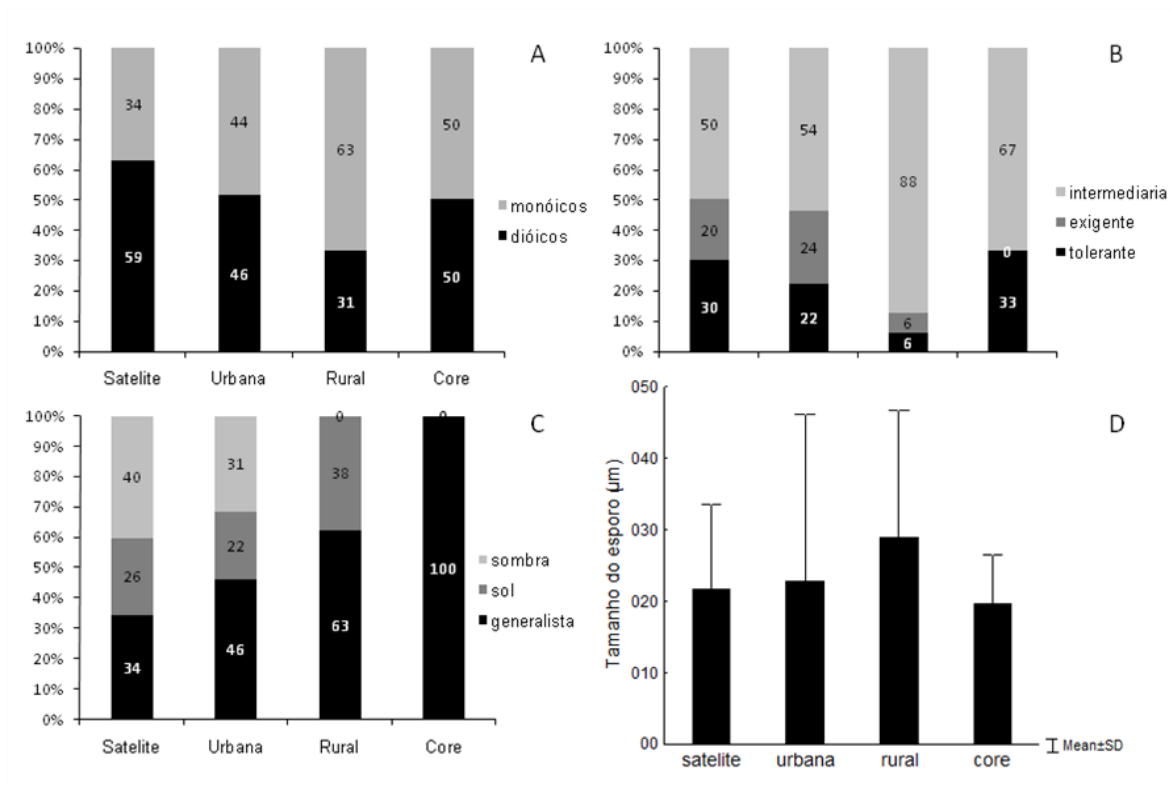
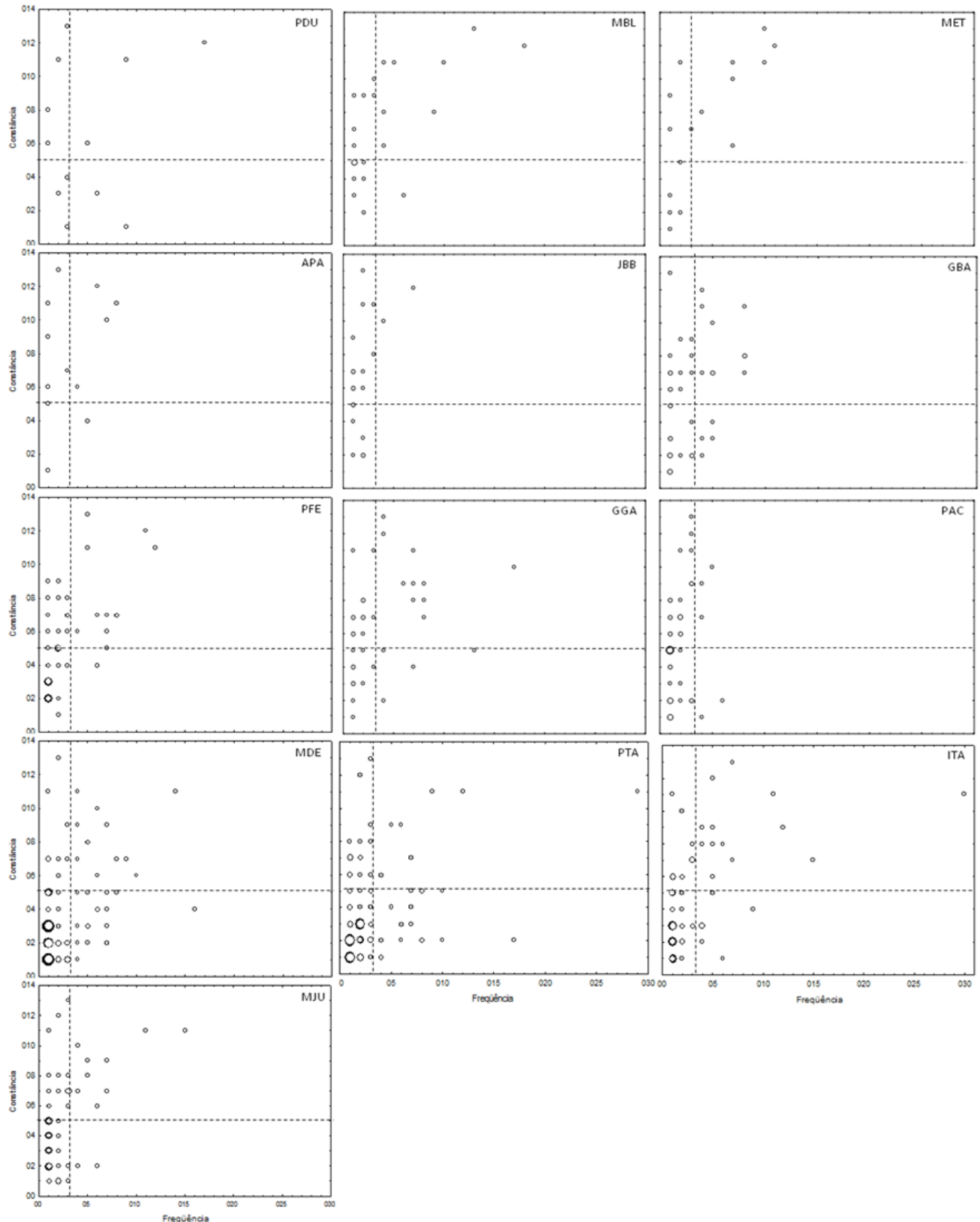


Figura 6. Riqueza relativa de espécies de briófitas quanto ao tipo de sistema reprodutivo (A), categorias de forma de crescimento (B), preferência de microhabitat quanto à tolerância à luminosidade (C), e tamanho médio do esporo por categorias de distribuição (D).

ANEXOS

Anexo 1. Padrões de ocupação de briófitas registrados nas localidades de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. Cada círculo indica uma espécie e aumenta sua dimensão quando espécies se somam. As linhas tracejadas indicam a média de frequência local (3,05) e constância regional (5,05). Os quadrantes (em sentido horário) significam padrão urbano (1º quadrante, acima à esquerda), “core” (2º), rural (3º) e satélite (4º).



Anexo 2. Padrões de ocupação, frequência total (F – nº de assinalamentos) e constância (C – nº de áreas colonizadas) das espécies de briófitas da Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. As localidades são listadas em ordem crescente de latitude (ver Tabela 1) e as espécies em ordem decrescente de constância. Os padrões são “core” (C), rural (R), urbana (U) e satélite (S).

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Octoblepharum albidum</i> Hedw.	U	C	C	U	U	U	C	C	U	U	U	C	U	58	13
<i>Calymperes palisotii</i> Schwägr.	C	C	C	C	C	C	C	C	U	-	U	C	U	90	12
<i>Cheilolejeunea rigidula</i> (Mont.) R.M.Schust.	U	C	C	-	-	C	C	C	U	C	C	C	C	127	11
<i>Lejeunea laetevirens</i> Nees & Mont.	C	C	U	U	U	-	C	U	-	U	C	U	U	48	11
<i>Sematophyllum subsimplex</i> (Hedw.) Mitt.	-	C	C	C	U	C	-	U	U	C	C	C	C	71	11
<i>Taxithelium planum</i> (Brid.) Mitt.	-	U	C	C	C	C	-	C	C	C	-	U	C	60	10
<i>Cheilolejeunea adnata</i> (Kunze) Grolle	-	U	-	-	U	U	U	C	U	C	U	C	-	26	9
<i>Leptolejeunea elliptica</i> (Lehm. & Lindenb.) Schiffn.	-	U	-	-	-	U	U	C	U	C	C	C	C	38	9
<i>Calymperes afzelii</i> Sw.	-	U	U	U	-	-	-	C	C	U	C	C	C	45	9
<i>Caudalejeunea lehmanniana</i> (Gottsche) A.Evans	-	C	C	-	-	C	U	U	U	-	-	C	C	31	8
<i>Frullania kunzei</i> (Lehm. & Lindenb.) Lehm. & Lindenb.	U	-	-	-	-	U	U	U	-	C	U	U	U	20	8

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Symbiezidium barbiflorum</i> (Lindenb. & Gottsche) A. Evans	-	-	-	-	-	U	U	C	U	C	U	C	U	27	8
<i>Isopterygium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	-	C	-	-	U	C	-	C	U	-	U	C	U	37	8
<i>Frullania caulisequa</i> (Nees) Nees	-	-	-	-	-	C	U	U	U	C	-	C	C	32	7
<i>Harpalejeunea stricta</i> (Lindenb. & Gottsche) Steph.	-	-	-	-	-	C	U	U	-	U	U	U	U	15	7
<i>Lejeunea caulicalyx</i> (Steph.) E.Reiner & Goda	-	-	-	U	U	U	U	-	U	C	U	-	-	18	7
<i>Lejeunea magnoliae</i> Lindenb. & Gottsche	-	-	U	-	U	U	-	U	U	-	U	-	U	12	7
<i>Lejeunea phyllobola</i> Nees & Mont.	-	U	U	-	-	C	C	-	U	U	-	-	U	21	7
<i>Lopholejeunea subfusca</i> (Nees) Schiffn.	-	-	-	-	-	C	C	C	-	U	U	U	U	29	7
<i>Callicostella pallida</i> (Hornsch.) Angstr.	-	-	-	-	U	-	-	U	U	U	U	U	U	14	7
<i>Henicodium geniculatum</i> (Mitt.) W.R.Buck	-	-	-	-	-	U	C	U	C	C	U	-	C	31	7
<i>Sematophyllum subpinnatum</i> (Brid.) E.Britton	-	-	U	-	-	U	C	-	-	U	C	C	U	36	7
<i>Cololejeunea diaphana</i> A. Evans	-	U	-	U	U	-	-	-	-	-	U	U	U	6	6
<i>Diplasiolejeunea brunnea</i> Steph.	-	-	-	-	-	U	-	-	U	U	U	U	U	9	6
<i>Microlejeunea epiphylla</i> Bischl.	U	-	-	-	U	U	U	U	-	-	-	U	-	8	6

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Plagiochila disticha</i> (Lehm. & Lindenb.) Lindenb.	-	-	-	-	-	-	C	U	U	U	C	U	-	14	6
<i>Plagiochila montagnei</i> Nees	-	-	-	-	-	-	U	-	U	C	C	U	C	26	6
<i>Entodontopsis leucostega</i> (Brid.) W.R.Buck & Ireland	C	-	C	C	-	-	C	-	U	-	U	-	-	26	6
<i>Pilosium chlorophyllum</i> (Hornsch.) Müll. Hal.	-	-	C	-	-	-	U	-	-	U	U	C	U	26	6
<i>Trichosteleum papillosum</i> (Hornsch.) A.Jaeger	-	C	-	-	U	U	-	S	-	-	U	U	-	10	6
<i>Ceratolejeunea cubensis</i> (Mont.) Schiffn.	-	S	-	-	-	-	-	S	-	S	-	S	S	8	5
<i>Lopholejeunea nigricans</i> (Lindenb.) Schiffn.	-	S	-	-	S	-	-	-	S	S	-	S	-	5	5
<i>Marchesinia brachiata</i> (Sw.) Schiffn.	-	-	-	-	-	-	S	-	S	R	S	-	S	11	5
<i>Rectolejeunea berteriana</i> (Gottsche ex Steph.) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	R	S	S	-	S	S	18	5
<i>Schiffneriolejeunea polycarpa</i> (Nees) Gradst.	-	-	S	-	S	-	S	-	-	-	R	-	S	16	5
<i>Fissidens pellucidus</i> Hornsch.	-	S	-	S	-	S	-	-	-	S	-	S	-	5	5

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Fissidens radicans</i> Mont.	-	-	S	-	-	-	-	-	S	S	S	S	-	8	5
<i>Fissidens zollingeri</i> Mont.	-	S	-	-	-	-	S	-	S	S	S	-	-	7	5
<i>Groutiella apiculata</i> (Hook.) H.A.Crum & Steere	-	-	-	-	-	-	S	-	-	R	R	S	S	16	5
<i>Groutiella tomentosa</i> (Hornsch.) Wijk & Margad.	-	-	-	-	-	-	S	-	S	S	R	-	S	13	5
<i>Isopterygium tenerifolium</i> Mitt.	-	S	-	-	-	S	R	S	-	-	S	-	-	11	5
<i>Syrrophodon africanus</i> (Mitten) Paris	-	-	-	-	-	-	S	-	S	C	R	R	-	23	5
<i>Syrrophodon incompletus</i> Schwägr.	-	-	-	-	-	-	-	R	S	C	S	-	S	16	5
<i>Archilejeunea auberiana</i> (Mont.) A.Evans	-	-	-	-	-	R	S	R	-	-	-	-	S	16	4
<i>Ceratolejeunea cornuta</i> (Lindenb.) Schiffn.	-	-	-	-	-	-	-	S	-	C	R	R	-	31	4
<i>Drepanolejeunea fragilis</i> Bischl.	-	-	-	-	-	-	R	-	-	C	R	S	-	21	4
<i>Frullania riojaneirensis</i> (Raddi) Spruce	-	-	-	-	-	S	S	-	-	S	-	-	S	8	4
<i>Rectolejeunea flagelliformis</i> A. Evans	-	-	-	-	S	-	-	S	S	-	S	-	-	4	4
<i>Crossomitrium patrisiae</i> (Brid.) Müll. Hal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	C	S	S	S	12	4
<i>Fissidens guianensis</i> Mont.	-	S	-	-	-	-	S	-	-	S	-	-	S	6	4
<i>Fissidens hornschuchii</i> Mont.	S	S	-	R	-	-	S	-	-	-	-	-	-	11	4
<i>Isopterygium subbrevisetum</i> (Hampe)	-	-	-	-	-	-	-	U	-	-	S	S	S	7	4

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
Broth.																
<i>Neckeropsis undulata</i> (Hedw.) Reichardt	-	-	-	-	-	-	-	-	S	R	S	-	S	10	4	
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	S	S	-	S	4	4	
<i>Bryopteris filicina</i> (Sw.) Nees	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	S	-	15	3	
<i>Calypogeia peruviana</i> Nees & Mont.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	S	-	4	3	
<i>Ceratolejeunea coarina</i> (Gottsche) Steph.	-	R	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	-	8	3	
<i>Cololejeunea obliqua</i> (Nees & Mont.)	-	-	-	-	-	-	S	-	-	S	R	-	-	9	3	
Schiffn.																
<i>Cololejeunea subcardiocarpa</i> Tixier	-	-	-	-	-	R	S	-	-	-	-	S	-	7	3	
<i>Diplasiolejeunea rudolphiana</i> Steph.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	S	5	3	
<i>Drepanolejeunea mosenii</i> (Steph.) Bischl.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	R	S	-	-	7	3	
<i>Frullania dusenii</i> Steph.	S	-	-	-	-	-	S	-	-	S	-	-	-	4	3	
<i>Frullania gibbosa</i> Nees	R	-	-	-	-	-	-	S	-	-	S	-	-	9	3	
<i>Lejeunea flava</i> (Sw.) Nees	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	R	-	14	3	
<i>Leucolejeunea xanthocarpa</i> (Lehm. & Lindenb.) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	S	3	3	
<i>Plagiochila corrugata</i> (Nees) Nees & Mont.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	S	4	3	

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Plagiochila raddiana</i> Lindenb.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	-	S	4	3
<i>Acroporium estrellae</i> (Müll. Hal.) W. R. Buck & Schäf.-Verw.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	-	S	-	3	3
<i>Bryum mildeanum</i> Jur. Verh.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	S	-	4	3
<i>Campylopus savannarum</i> (Müll.Hal.) Mitt.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	S	-	S	4	3
<i>Donnellia commutata</i> (Müll. Hal.) W.R. Buck	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	S	S	-	3	3
<i>Fissidens elegans</i> Brid.	-	S	-	-	-	-	-	-	S	R	-	-	-	8	3
<i>Fissidens juruensis</i> Broth.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	S	-	-	-	2	3
<i>Hyophyla involuta</i> (Hook.) A.Jaeger	-	-	-	-	S	-	S	-	-	-	S	-	-	5	3
<i>Jaegerina scariosa</i> (Lorentz) Arzeni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	S	6	3
<i>Meteoridium remotifolium</i> (Müll.Hal.) Manuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	R	-	8	3
<i>Syrrhopodon ligulatus</i> Mont.	-	-	S	-	-	-	S	-	-	-	S	-	-	4	3
<i>Syrrhopodon parasiticus</i> (Brid.) Besch.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	S	-	4	3
<i>Syrrhopodon prolifer</i> Schwägr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	S	-	6	3
<i>Taxithelium pluripunctatum</i> (Renauld & Cardot) Broth.	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	-	S	S	8	3

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
<i>Zelometeorium patulum</i> (Hedw.) Manuel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	R	-	8	3	
<i>Anoplolejeunea conferta</i> (C.F.W.Meissn.) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	2	2	
<i>Archilejeunea parviflora</i> (Nees) Schiffn.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	S	3	2	
<i>Bryopteris diffusa</i> (Sw.) Nees	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	3	2	
<i>Ceratolejeunea confusa</i> R.M.Schust.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	2	2	
<i>Cheilolejeunea acutangula</i> (Nees) Grolle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	S	-	5	2	
<i>Chiloscyphus liebmannianus</i> (Gottsche) J.J.Engel & R.M. Schust.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	-	-	2	2	
<i>Cylindrocolea rhizantha</i> (Mont.) R.M.Schust.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	-	2	2	
<i>Diplasiolejeunea cobrensis</i> Gottsche ex Steph.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	S	-	2	2	
<i>Fossombronia porphyrorhiza</i> (Nees) Prosk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	4	2	
<i>Frullania apiculata</i> (Reinw. et al.) Nees	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	2	2	
<i>Frullania brasiliensis</i> Raddi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	S	-	9	2	
<i>Frullania ericoides</i> (Nees) Mont.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	-	-	4	2	
<i>Lejeunea cerina</i> (Lehm. & Lindenb.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	3	2	

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
<i>Riccardia amazonica</i> (Spruce) S.W.Arnell	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	S	-	5	2
<i>Telaranea diacantha</i> (Mont.) Howe	-	-	-	-	-	S	-	S	-	-	-	-	-	2	2
<i>Archidium ohioense</i> Schimp. ex Müll. Hal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	2	2
<i>Bryum densifolium</i> (Brid.) Ochyra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	S	3	2
<i>Callicostella rufescens</i> (Mitt.) A. Jaeger	-	-	-	-	S	-	S	-	-	-	-	-	-	3	2
<i>Fabronia ciliaris</i> (Brid.) Brid.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	-	-	2	2
<i>Fissidens asplenioides</i> Hedw.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	10	2
<i>Fissidens flabellatus</i> Hornsch.	-	-	S	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	3	2
<i>Fissidens serratus</i> var. <i>serratus</i>	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	-	-	2	2
<i>Floribundaria flaccida</i> (Mitt.) Broth.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	-	-	15	2
<i>Lepidopilidium plebejum</i> (Müll. Hal.) Sehnem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	6	2
<i>Leucoloma serrulatum</i> Brid.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	R	-	-	7	2
<i>Pelekium scabrosulum</i> (Mitt.) Touw	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	2	2
<i>Pelekium schistocalyx</i> (Müll. Hal.) Touw	-	-	-	-	-	-	-	-	S	S	-	-	-	4	2
<i>Philonotis uncinata</i> Brid.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	S	6	2
<i>Pilotrichum evanescens</i> (Müll.Hal.) Müll.Hal.	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	R	8	2

[illegible]

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
R.M. Schust.																
<i>Ceratolejeunea minuta</i> Dauphin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	1	1
<i>Cheilolejeunea clausa</i> (Nees & Mont.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	2	1
R.M.Schust.																
<i>Cheilolejeunea oncophylla</i> (Ångstr.) Grolle & E. Reiner	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	2	1
<i>Cheilolejeunea trifaria</i> (Reinw. et al.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	1	1
Mizut.																
<i>Chiloscyphus martianus</i> (Nees) J.J.Engel & R.M.Schust.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	1	1
<i>Diplasiolejeunea pellucida</i> (Meisn.) Schiffn.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	1	1
<i>Drepanolejeunea bidens</i> (Steph.) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Frullania glomerata</i> (Lehm. & Lindenb.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	2	1
Nees & Mont.																
<i>Frullania nodulosa</i> (Reinw. et al.) Nees	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	2	1
<i>Frullania setigera</i> Steph.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Kurzia capillaris</i> (Sw.) Grolle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	1	1

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
<i>Lejeunea controversa</i> Gottsche	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
<i>Lejeunea laeta</i> (Lehm. & Lindenb.) Gottsche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	2	1	
<i>Lejeunea quinqueumbonata</i> Spruce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	1	1	
<i>Leucolejeunea conchifolia</i> (A.Evans) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	1	1	
<i>Metzgeria brasiliensis</i> Schiffn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Monoclea gottschei</i> subsp. <i>elongata</i> Gradst. & Mues	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	3	1	
<i>Neurolejeunea breutelii</i> (Gottsche) A.Evans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	2	1	
<i>Plagiochila gymnocalycina</i> (Lehm. & Lindenb.) Lindenb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-		1	
<i>Prionolejeunea scaberula</i> (Spruce) Steph.	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	1	1	
<i>Radula flaccida</i> Lindenb. & Gottsche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	3	1	
<i>Radula kegelii</i> Gottsche ex Steph.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	4	1	
<i>Radula recubans</i> Taylor	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	-	4	1	
<i>Riccardia cataractarum</i> (Spruce) Schiffn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	1	1	

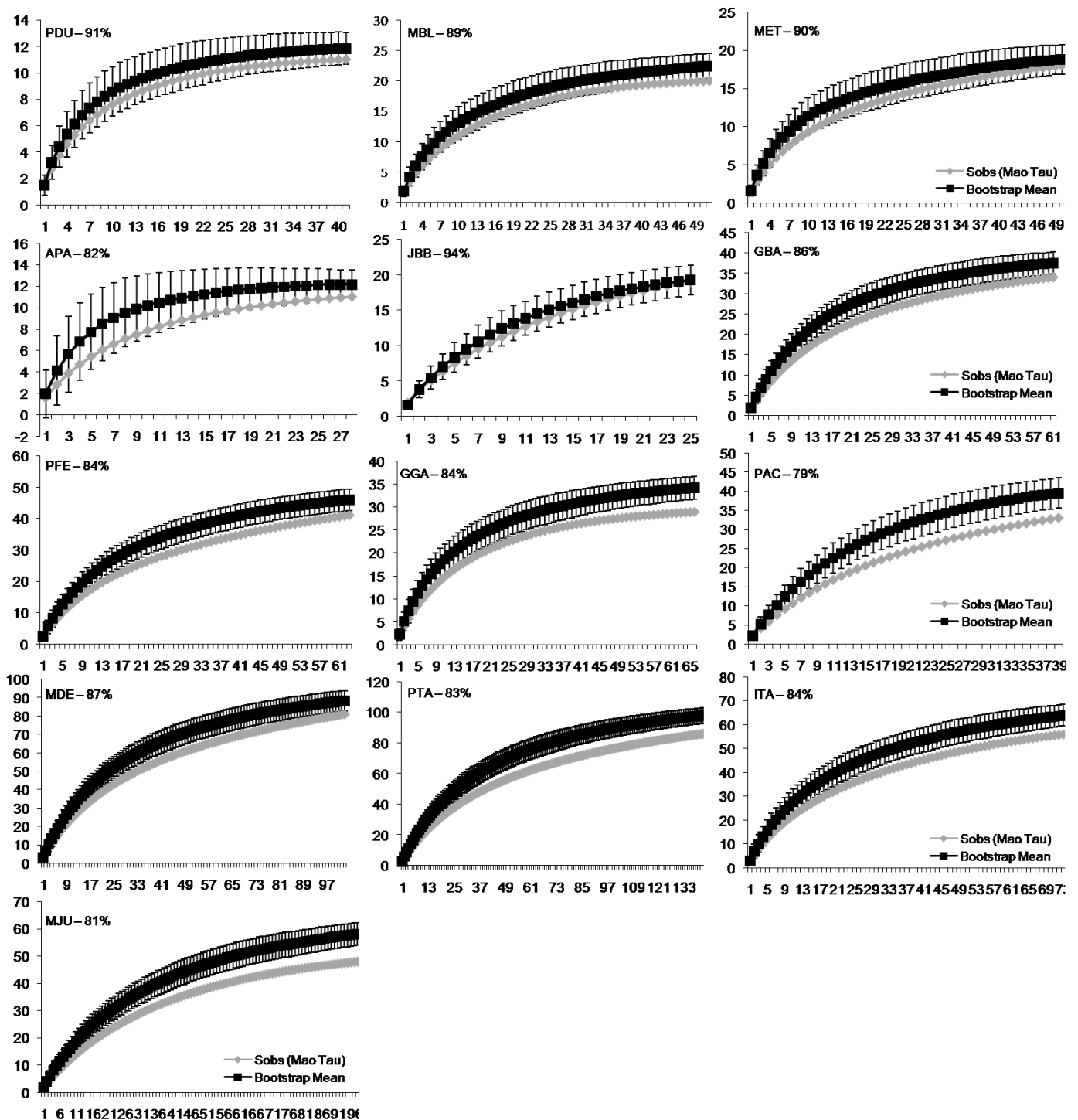
Especies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
<i>Riccardia digitiloba</i> (Spruce ex Steph.) Pagán	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	1	1	
<i>Stictolejeunea squamata</i> (Willd. ex Weber) Schiffn.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	3	1	
<i>Symphyogyna aspera</i> Steph.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	2	1	
<i>Xylolejeunea crenata</i> (Nees & Mont.) X.-L. He & Grolle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	3	1	
<i>Acroporium caespitosum</i> (Hedw.) W.R.Buck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	2	1	
<i>Barbula indica</i> (Hook.) Spreng.	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	2	1	
<i>Bryohumbertia filifolia</i> (Hornsch.) J.-P. Frahm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	4	1	
<i>Bryum billarderi</i> (Schwägr.) Spence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	3	1	
<i>Bryum pseudocapillare</i> (Besch.) Ochyra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	3	1	
<i>Bryum radiculosum</i> (Brid.) J.R.Spence & H.P.Ramsay	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
<i>Calymperes erosum</i> Müll. Hal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Campylopus gardneri</i> (Müll.Hal.) Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1	

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
<i>Campylopus surinamensis</i> Müll. Hal.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) W.R.Buck	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	1	1	
<i>Cyclodictyon olfersianum</i> (Hornsch.) Kuntze	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Daltonia brasiliensis</i> Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1	
<i>Entodontopsis nitens</i> (Mitt.) W.R.Buck & Ireland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	4	1	
<i>Fissidens inaequalis</i> Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Fissidens palmatus</i> Hedw.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	2	1	
<i>Holomitrium arboreum</i> Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Lepidopilum scabrisetum</i> (Schwägr.) Steere	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	2	1	
<i>Leucobryum martianum</i> (Hornsch.) Hampe ex Müll. Hal.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	6	1	
<i>Leucoloma cruegerianum</i> (Müll.Hal.) A.Jaeger	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	
<i>Macromitrium cirrosum</i> (Hedw.) Brid.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1	
<i>Macromitrium punctatum</i> (Hook. & Grev.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	

Espécies	Áreas													F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU		
Brid.															
<i>Meteorium deppei</i> (Hornsch.) Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1
<i>Neckeropsis disticha</i> (Hedw.) Kindb.	-	-	-	-	-	S	-	-	-	-	-	-	-	1	1
<i>Ochrobryum gardneri</i> (Müll.Hal.) Lindb.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Octoblepharum pulvinatum</i> (Dozy & Molk.) Mitt.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Orthostichella versicolor</i> (Müll.Hal.) B.H.Allen & W.R.Buck	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Pelekium involvens</i> (Hedw.) Touw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	1	1
<i>Phyllogonium viride</i> Brid.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	2	1
<i>Pseudocryphaea domingensis</i> E. Britton ex Broth.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1
<i>Schlotheimia rugifolia</i> (Hook.) Schwägr.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1
<i>Schoenobryum concavifolium</i> (Griff.) Gangulee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1
<i>Squamidium leucotrichum</i> (Taylor) Broth.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	2	1
<i>Syrrhopodon brasiliensis</i> W.D.Reese	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	2	1
<i>Syrrhopodon cryptocarpus</i> Dozy & Molk.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	1	1

Espécies	Áreas														F	C
	PDU	MBL	MET	APA	JBB	GBA	PFE	GGA	PAC	MDE	PTA	ITA	MJU			
<i>Thuidium tomentosum</i> Schimp. ex Besch.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S	-	-	-	1	1	

Anexo 3. Curvas espécie-área para as localidades de Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil. A unidade amostral considerada foi número de amostras coletadas. As localidades estão classificadas em ordem crescente de latitude (Para sigla, ver Tabela 1). O valor após a sigla das áreas representa a porcentagem de espécies coletadas em relação ao esperado pelo acaso.



Manuscrito III

*Diversidade de briófitas em áreas prioritárias para conservação na Floresta Atlântica
do Nordeste do Brasil*

A ser submetido ao periódico

Biota Neotropica

para publicação

**Diversidade de briófitas em áreas prioritárias para conservação na Floresta
Atlântica do Nordeste do Brasil**

Mércia Patrícia Pereira Silva^{1,2} & Kátia Cavalcanti Pôrto¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Departamento de Botânica, Laboratório Biologia de Briófitas, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil, CEP: 50670-901.

² Autor para correspondência: Mércia P.P. Silva, e-mail: merciapps@yahoo.com.br

Resumo: A Floresta Atlântica brasileira é o domínio vegetacional de maior diversidade de briófitas do país. No entanto, o conhecimento sobre o grupo é distribuído irregularmente entre as regiões brasileiras. Sendo assim, este estudo visou contribuir ao conhecimento da brioflora na Floresta Atlântica Nordestina, em escala regional, e identificar os centros de diversidade para o grupo. Além disso, objetivou reiterar a importância das Unidades de Conservação estudadas, bem como indicar localidades para criação de novas Unidades de Conservação. Foi construída uma base de dados sobre a brioflora da região a partir de levantamento bibliográfico e novos inventários florísticos, totalizando 23 localidades estudadas. Para a identificação das localidades com maior relevância à conservação de briófitas foram consideradas: 1) a riqueza total de espécies e de endêmicas, 2) a diversidade filogenética (PD) e 3) a diversidade funcional (proporção de especialistas de sombra). O mapa de distribuição dos táxons foi sobreposto aos mapas de áreas prioritárias para conservação, identificadas pelo Ministério do Meio Ambiente. A Floresta Atlântica nordestina é rica, com 398 spp., representando 26% dos táxons do país, sendo 13 endêmicas. As espécies generalistas predominaram (164 spp.), seguidas pelas especialistas de sombra (135 spp.) e de sol (92 spp.). A Estação Ecológica de Murici destacou-se como detentora do maior número de espécies, de endêmicas e de diversidade filogenética. Baseado nos dados obtidos nesse estudo e tendo em mente o potencial bioindicador das briófitas, algumas modificações na classificação do Ministério do Meio Ambiente são sugeridas para as localidades analisadas.

Palavras-chave: conservação, diversidade, hepáticas, musgos, Unidades de conservação.

Abstract: The Brazilian Atlantic Forest is the Domain with the greatest diversity of bryophyte in the country. However, knowledge about the group is irregularly distributed among Brazilian regions. Therefore, this study aimed to contribute to the knowledge of bryophytes in Northeastern Atlantic Forest, on a regional scale, and to identify the centers of bryophyte diversity. Furthermore, we aimed to reiterate the importance of the protected areas studied and indicate locations for creation of new protected areas. We created a database on bryophytes of the region from a literature review and new floristic inventories, totalling 23 locations studied. To identify the locations of greatest relevance to bryophyte conservation we considered: 1) total and endemic species richness, 2) phylogenetic diversity (PD index) and 3) functional diversity (proportion of shade specialists). The map of taxa distribution was superimposed on maps of areas identified by the Brazilian Ministry of Environment as conservation priority. The Atlantic rainforest is rich with 398spp., representing 26% of the taxa of the country, of which 13 are endemic. The generalist species predominated (164 spp.), followed by shade (135 spp.) and sun (92 spp.) specialists. The Murici Ecological Station stood out as having the highest richness, number of endemic species and phylogenetic diversity. Based on data obtained in this study and having in mind the potential bioindicator of bryophytes, some modifications in the classification of the Brazilian Ministry of Environment are suggested to the locations analyzed.

Key-words: conservation, diversity, liverwort, moss, Conservation Units.

Introdução

No Brasil, a Floresta Atlântica é o ecossistema que apresenta a maior diversidade de briófitas (Gradstein et al. 2001). Os mesmos autores ainda afirmam que, no Neotrópico, a diversidade de briófitas na Floresta Atlântica é apenas superada pelas florestas do norte dos Andes e da América Central. Além disso, a Floresta Atlântica se destaca pela relevância e urgência de conservação, haja visto que além de apresentar a maior diversidade no grupo, abriga 16 das 17 espécies ameaçadas (Fundação Biodiversitas 2005, MMA 2008).

Atualmente, para a Floresta Atlântica são registrados 250 gêneros (98% dos gêneros brasileiros) e 700 espécies (80% das espécies brasileiras) de briófitas. Segundo Gradstein & Costa (2003), áreas montanas de Floresta Atlântica, sobretudo na região

Sudeste, além da grande riqueza em espécies de hepáticas, apresentam muitos registros de endemismos e interessantes afinidades com a flora dos Andes. Estes autores ainda citam que o número de endemismos na costa Atlântica é o dobro da região Amazônica, ocorrendo, inclusive 12 famílias exclusivas. No que diz respeito particularmente aos musgos, o nível de endemismo para esse Domínio é ainda maior: 190 espécies (20%), enquanto na Floresta Amazônica são registradas apenas 10 espécies endêmicas (1%) (Costa et al. 2011).

A Floresta Atlântica, apesar da grande biodiversidade, constitui-se num dos principais alvos da degradação ambiental advinda das atividades exploratórias humanas, como a expansão da agro-pecuária, urbanística e da indústria madeireira (Conservation International do Brasil et al. 2000, Angelo 2013). Segundo a Rede de ONGs da Mata Atlântica (2006), esse é o segundo domínio vegetacional mais ameaçado do planeta, perdendo apenas para as quase extintas florestas da ilha de Madagascar na Costa da África. No Nordeste da Floresta Atlântica do Brasil, onde a exploração dos recursos florestais é secular (Tabarelli et al. 2005), há significativas lacunas de conhecimento sobre a distribuição das briófitas em diversos Estados.

Em histórico sobre o conhecimento das briófitas do Nordeste do Brasil, diversos trabalhos sistemáticos têm sido desenvolvidos nas duas últimas décadas, particularmente para o Estado de Pernambuco (Pôrto 1990, Germano & Pôrto 1996, 1997, 1998, Sá & Pôrto 1996), o que permitiu a Pôrto & Germano (2002) compilarem 315 espécies de briófitas para o Estado. A maioria dos registros (84%) é advindo de refúgios de Floresta Atlântica de terras baixas (Pôrto 1990, Pôrto et al. 1993, Germano & Pôrto 1996, 1998a, 1998b, Sá & Pôrto 1996), ou florestas serranas dos brejos de altitude (Yano & Andrade-Lima 1987, Pôrto 1990, Pôrto et al. 1999, Pôrto et al. 2000, Valdevino et al. 2002). Recentemente, tem havido investimento no conhecimento da brioflora de outros Estados, a exemplo de Alagoas e Bahia, onde concomitantemente ao conhecimento da brioflora (Bastos 2004, Valente & Pôrto 2006, Valente et al. 2009, 2011) há contribuições em termos da conservação de populações e comunidades (Alvarenga et al. 2009, 2010, Oliveira et al. 2011, Silva & Pôrto 2009, 2010).

Com base nessas considerações, este trabalho é o primeiro esforço para contribuir ao conhecimento da brioflora na Floresta Atlântica Nordestina, em escala regional, e identificar os centros de diversidade, florística (número de total de espécie), filogenética (função entre o número de espécies e a diferença topológica entre elas) e

funcional (proporção de grupos funcionais e número de espécies endêmicas da Floresta Atlântica), para briófitas. Outrossim, pretende-se destacar as localidades estudadas com maior urgência para implementação de medidas conservacionistas, reforçar a importância das Unidades de Conservação já existentes e sugerir a criação de novas Unidades de Conservação.

Material e Métodos

1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na porção setentrional da Floresta Atlântica, *lato sensu*, abrangendo os Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe (34°51'41" – 37°20'32"W; 5°51'00" – 10°45'16"S) (Figura 1) (daqui em diante, Floresta Atlântica Nordestina), cobrindo uma distância linear de 595 km no sentido Norte-Sul através de 6° de latitude. Esta floresta está distribuída principalmente sobre a Formação Barreiras e os contra-fortes do Planalto da Borborema até 1.000m de altitude (Tabarelli et al. 2006), incluindo os brejos de altitude nordestinos (*sensu* Andrade-Lima 1982). A média de temperatura na região é 25°C e a precipitação anual varia entre 1.300 – 2.400mm, com a estação chuvosa compreendida de março a setembro (Veloso et al. 1991).

2. Banco de dados

Foi construída uma ampla base de dados sobre a brioflora de localidades de Floresta Atlântica Nordestina. Para tanto, foi realizado um levantamento bibliográfico (Yano 1981 – 2010) para determinação das localidades, dentro da abrangência do estudo, com coletas sistemáticas de briófitas, tendo sido reconhecidas dez áreas (Tabela 1).

Após o diagnóstico inicial das lacunas de conhecimento na Floresta Atlântica do Nordeste, 13 localidades foram selecionadas para realização de novos inventários brioflorísticos. Com o objetivo de obter o máximo possível da diversidade brioflorística destas localidades, cada uma foi visitada por ca. dois dias, quando foram realizadas caminhadas exploratórias para a coleta do material botânico.

As informações provenientes dos inventários realizados foram integradas às do levantamento bibliográfico, totalizando uma base de dados da brioflora de 23 localidades.

3. Estudo do material

As amostras coletadas foram identificadas até o nível específico a partir de literatura especializada (Ochi 1980, 1981, 1982, Sharp et al. 1994, Buck 1998, Reiner-Drehwald 1998, 2000, Gradstein & Costa 2003, Bastos 2004, Ilkiu-Borges 2005, Pursell 2007, Costa 2008) e posteriormente depositadas no Herbário UFP, do Departamento de Botânica, da Universidade Federal de Pernambuco.

A atualização da nomenclatura taxonômica das espécies foi realizada, quando necessária, com o auxílio de revisões taxonômicas e checklists (Buck 1998, Crosby et al. 1999, Gradstein & Costa 2003, Bastos & Yano 2004, Pócs & Bernecker 2009), e consultas ao banco de dados do Missouri Botanical Garden (<http://mobot.mobot.org/Pick/Search/most.html>). O sistema de classificação adotado para hepáticas foi Crandall-Stotler et al. (2009) e para musgos Goffinet et al. (2009).

4. Análise de dados

Para determinação dos táxons endêmicos da Floresta Atlântica foram consultados os trabalhos de Gradstein & Costa (2003) e Costa et al. (2011, 2012).

Para estabelecimento da diversidade funcional, as espécies foram classificadas em grupos funcionais de acordo com seu microhabitat de preferência quanto à luminosidade (especialista de sol, sombra ou generalista) com base em trabalhos especializados (Ochi 1980, 1981, 1982, Gradstein 1992, Sharp et al. 1994, Buck 1998, Heinrichs et al. 1998, Reiner-Drehwald 1998, 2000, Grolle & Heinrichs 1999, Luiz-Ponzo & Barth 1999, Reiner-Drehwald & Goda 2000, Gradstein et al. 2001, Gradstein & Costa 2003, Bastos 2004, Bischler-Causse et al. 2005, Ilkiu-Borges 2005, Caldeira et al. 2006, 2009, Luiz-Ponzo & Melhem 2006, Visnadi 2006, Pursell 2007, Reiner-Drehwald & Pôrto 2007, Costa 2008, Ilkiu-Borges & Alvarenga 2008, Alvarenga et al. 2009, 2010, Silva & Pôrto 2009, 2010, Oliveira et al. 2011, Glime 2012), bem como mediante consulta a especialistas e experiência em campo das autoras. Esses grupos

funcionais têm mostrado eficientes respostas em relação à perda e à fragmentação de habitat na Floresta Atlântica nordestina (Alvarenga et al. 2009, 2010, Silva & Pôrto 2009, 2010, 2013). Devido à insuficiência ou à duplicidade de informações, sete espécies deixaram de ser contabilizadas nas análises quanto ao microhabitat preferencial.

A diversidade filogenética (do inglês, phylogenetic diversity – PD) foi calculada através de uma adaptação do método proposto por Faith (1992). Este autor foi o primeiro a propor uma medida de diversidade filogenética baseada na idade da especiação. Essa medida topológica é obtida pela soma dos comprimentos dos braços da árvore filogenética das espécies de uma comunidade. Longos comprimentos de braços correspondem a tempos evolutivos maiores e, presumivelmente, a grupos taxonômicos mais distintos. Portanto, a PD de uma comunidade é uma função do número de espécies e da diferença filogenética entre elas. Para briófitas, principalmente para as espécies tropicais, não existe um sistema de classificação único baseado em análises moleculares. Dessa forma, a árvore filogenética utilizada foi obtida com base na hierarquia taxonômica das espécies, como indicado por Warwick & Clarke (1995, 1998). O cálculo da PD foi realizado na plataforma R 2.15.1 (32-bit) utilizando-se o pacote “vegan”.

O mapa de distribuição dos táxons foi comparado aos mapas de áreas prioritárias para conservação quanto à importância biológica e à prioridade de ação (shape files disponíveis para download no site do Ministério do Meio Ambiente - MMA: <http://mapas.mma.gov/i3geo/datadownload.htm>).

Para a identificação das localidades com maior relevância à conservação de briófitas foram considerados três critérios: 1) riqueza total e de espécies endêmicas, 2) diversidade filogenética (PD) e 3) diversidade funcional – mensurada a partir da proporção de espécies indicadoras de conservação florestal (típicas de sombra).

Resultados e discussão

Com base no levantamento de literatura, foram compilados 371 táxons específicos, distribuídos em 147 gêneros e 52 famílias, sendo três antóceros (uma família e dois gêneros), 193 hepáticas (18 famílias e 58 gêneros) e 178 musgos (34 famílias e 89 gêneros). Por outro lado, os inventários realizados especificamente para

este estudo contribuíram com 200 spp., distribuídas em 95 gêneros e 40 famílias, sendo 103 hepáticas (42 gêneros e 13 famílias) e 97 musgos (53 gêneros e 27 famílias). Estes recentes inventários acrescentaram 27 novas espécies à lista baseada na literatura.

Assim, com a reunião das informações de literatura e dos inventários, registraram-se um total de 398 spp. (3 antóceros, 203 hepáticas e 192 musgos), sendo 13 endêmicas da Floresta Atlântica (9 hepáticas e 4 musgos) (Anexo 1). Cento e quarenta e cinco espécies (36%) ocorreram em apenas uma localidade. Dentre as dez espécies mais freqüentes, nove são generalistas e uma especialista de sol.

As famílias Lejeuneaceae, Fissidentaceae, Calymperaceae e Frullaniaceae foram as mais representativas em número de espécies, para os levantamentos florísticos e bibliográficos (Figura 2). No que tange às famílias e demais categorias taxonômicas, a brioflora registrada se enquadra perfeitamente nos principais componentes briofíticos encontrados em inventários nos Neotrópicos, onde a família Lejeuneaceae é, de longe, a mais abundante (Richards 1984, Gradstein & Pócs 1989).

No total, a brioflora da Floresta Atlântica Nordeste apresentou uma expressiva contribuição comparada ao país, representando 26% (398spp.) da diversidade total de briófitas do Brasil, 10% do Neotrópico e 2% do mundo (Tabela 2) (*sensu* Costa et al. 2012).

Certamente devido à grande extensão do Brasil, estudos sobre a diversidade de briófitas em escala regional no País são infreqüentes. Atualmente, pode-se citar os trabalhos de Santos et al. (2011), para a Floresta Atlântica, e Mota de Oliveira et al. (2009) e Mota de Oliveira (2010), para a Floresta Amazônica. Santos et al. (2011) registraram 192 espécies de briófitas para áreas de Floresta de Restinga e de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas na região Sudeste e verificaram que, quando avaliadas em termos de paisagem, as duas formações florestais formaram grupos florísticos distintos; entretanto, em nível regional, a brioflora apresentou mais afinidades entre si do que com outras áreas de Floresta Atlântica.

Já para a Floresta Amazônica, Mota de Oliveira et al. (2009) e Mota de Oliveira (2010) apresentaram uma abordagem sistemática da estrutura de comunidades de briófitas epífitas num transecto de leste a oeste da Bacia Amazônica, que resultou no registro de 225 espécies e 38 morfo-espécies. Para a Floresta Atlântica, o presente estudo é a primeira contribuição ao conhecimento de comunidades de briófitas em

proporções regionais. Observou-se que, mesmo considerando diferenças nas metodologias utilizadas, a riqueza brioflorística total na Floresta Atlântica Nordeste foi superior à da Amazônia, o que é recorrente na literatura (Gradstein et al. 2001, Gradstein & Costa 2003, Costa et al. 2011).

No total, para a Floresta Amazônica são registradas 300 espécies de hepáticas (Gradstein & Costa 2003) e 350 espécies de musgos (Costa et al. 2011), enquanto para a Floresta Atlântica esses números são mais expressivos (500spp. de hepáticas e 700spp. de musgos). No entanto, esses mesmos autores afirmam que a maior riqueza da Floresta Atlântica é devido à presença de áreas com grande elevação (>1000m), sobretudo na região Sudeste, o que é incomum na Floresta Amazônica. Para o Nordeste, foram analisadas áreas com altitude entre 30 e 990m de altitude e, mesmo assim, a superioridade florística da Floresta Atlântica foi confirmada.

Por outro lado, vale ressaltar que as espécies generalistas predominaram (164 spp. – 41%), seguidas pelas especialistas de sombra (135 spp. – 34%) e de sol (92 spp. – 23%) (7 spp. – 2% sem informação). Esse resultado é recorrente na literatura para a Floresta Atlântica Nordeste (Alvarenga & Pôrto 2007, Silva & Pôrto 2009, 2010) e outras florestas tropicais (Acebey et al. 2003). Esses trabalhos evidenciaram que as briófitas de sombra são mais suscetíveis ao desflorestamento, e, às vezes, são completamente ausentes em sítios degradados, seguidas pelas de sol, enquanto que as generalistas são indiferentes. Sendo assim, processos de degradação e perda de habitat recorrentes na região (*sensu* Tabarelli et al. 2006), podem ser apontados como causa da predominância de generalistas (Naaf & Wulf 2010).

A riqueza específica variou de 12 (Parque das Dunas e APA de Mamanguape) a 199 spp. (Estação Ecológica de Murici) (Figura 3). Observou-se, um acréscimo da riqueza ($R^2 = 0.35$; $p < 0.01$), da diversidade filogenética ($R^2 = 0.41$; $p < 0.001$) e da proporção de especialistas de sombra ($R^2 = 0.26$; $p = 0.01$) com o aumento da latitude (Tabela 4, Figura 4). Por outro lado, o número de espécies endêmicas não variou significativamente com a latitude ($R^2 = 0.08$; $p = 0.17$).

A Estação Ecológica de Murici (MUR) também apresentou o maior número de espécies endêmicas (5spp.), seguida pelo Parque Municipal Vasconcelos Sobrinho (3spp.). Estas duas localidades, juntamente com a RPPN Frei Caneca (119spp.) são detentoras de grande diversidade de briófitas, resultado que têm se reiterado por diversos trabalhos sobre os mais variados grupos ecológicos, dentre eles, aves (Roda &

Pereira 2006), répteis (Guedes et al. 2011), mamíferos (Asfora & Mendes Pontes 2009), briófitas (Pôrto 1990, Pôrto et al. 2006) e angiospermas (Grillo et al. 2006).

Dentre as localidades estudadas, a Estação Ecológica de Murici merece destaque. É uma Unidade de Conservação de Proteção Integral foi criada para resguardar um dos maiores remanescentes de Floresta Atlântica existentes no Nordeste do Brasil (ca. 6.100 ha) e promover o desenvolvimento de pesquisas científicas e programas de educação ambiental. É o sítio com a maior concentração de táxons ameaçados da lista brasileira: vinte e sete dos endemismos do Centro Pernambuco e cinco táxons com distribuição mais ampla (Olmos 2005). Por conta disso, têm sido laboratório para diversos estudos (Ferrarezzi & Freire 2001, Olmos 2005, Moura 2006, Roda & Pereira 2006, Guadanucci et al. 2007, Rodrigues & Buckup 2007, Ilkiu-Borges & Alvarenga 2008, Alvarenga et al. 2009, 2010, Guedes et al. 2011, Nascimento & Campos 2011, Oliveira et al. 2011, Silva & Pôrto 2009, 2010, Pôrto et al. 2012).

Por outro lado, apesar de a Reserva ainda apresentar grande cobertura vegetal, a maioria dos fragmentos florestais não atinge 1.000 ha e todos estão imersos em uma matriz bastante inóspita, constituída por pastagem para gado bovino e cana-de-açúcar (Silva & Pôrto 2009, Pôrto et al. 2012). Somam-se a isto o corte seletivo de madeira, a retirada de lenha, a caça de animais, e a captura, sobretudo de pássaros, para criação em cativeiro, e o tráfico de animais silvestres (Pôrto et al. 2012). Dessa forma, reforça-se a vital importância da referida Unidade de Conservação para a brioflora regional e sugere-se a implementação de políticas públicas efetivas na APA de Murici, zona de amortecimento em áreas no entorno da Estação Ecológica de Murici, especialmente nas áreas de remanescentes florestais privados pertencentes às usinas de açúcar da região.

Vale ressaltar que apesar da baixa expressividade da brioflora na RPPN Mata Estrela, esta localidade apresentou uma espécie endêmica do Brasil, registrada pela primeira vez para a região Nordeste: *Fissidens flabellatus* Hornsch.

Das 23 localidades estudadas, segundo o MMA, 19 têm importância biológica extremamente alta, duas alta e duas são insuficientemente conhecidas (Tabela 4). Quanto à prioridade para ações mitigadoras e conservacionistas rápidas, 11 localidades são classificadas como de importância extremamente alta, cinco muito alta, cinco alta e uma insuficientemente conhecida. Baseado nos dados obtidos nesse estudo e tendo em mente o potencial bioindicador das briófitas, algumas recomendações são sugeridas para as localidades analisadas:

- 1) A Reserva Municipal de Bonito (BOT) é classificada como de importância biológica insuficientemente conhecida e prioridade alta para ações, segundo o MMA. No entanto, no que diz respeito às briófitas, possui riqueza expressiva e já conhecida (Pôrto & Germano 2002). Sendo assim, essa localidade é potencialmente importante para outros grupos biológicos (por exemplo, pteridófitas; Santiago et al. 2004) e, para a confirmação da sua importância, deve ser prioridade na realização de novos inventários.
- 2) O Engenho Água Azul (AZU), de acordo com o MMA, é classificado como insuficientemente conhecido. No entanto, apresentou elevada riqueza de briófitas. Dessa forma, reforça-se a necessidade de criação de uma Unidade de Conservação no local, também sugerido por Uchôa Neto & Tabarelli (2003).
- 3) A Usina Serra Grande (SGR), a REBIO Pedra Talhada (PTA), o Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco (MJU) e o PARNA Itabaiana (ITA) são classificadas como de prioridade muito alta para ações mitigadoras (MMA). Levando-se em conta a riqueza e a qualidade da brioflora e as recorrentes intervenções antrópicas, como caça e retirada de madeira (observação pessoal), sugere-se a inclusão destas na categoria de prioridade extremamente alta.
- 4) A REBIO Guaribas (GBA), as RPPNs Gargaú (GGA) e Pacatuba (PAC) e a APA Mamanguape (APA) são consideradas de importância biológica extremamente alta e estão situadas na área com maior concentração florestal do Estado (Rede de ONGs da Mata Atlântica). Portanto, a disposição dessas manchas florestais viabiliza a formação de um corredor ecológico entre elas, o que deve ser considerado em trabalhos futuros.

Agradecimentos

As autoras agradecem a Dra. Olga Yano pela confirmação de algumas espécies, à Fundação Grupo O Boticário e ao CNPq pelo apoio financeiro e ao ICMBio pela concessão de licença de coleta nas áreas.

Referências

- ACEBEY, A., GRADSTEIN, S.R. & KRÖMER, T. 2003. Species diversity and habitat diversification of epiphytic bryophytes in submontane forest and fallows in Bolivia. *J. Trop. Ecol.* 19: 9-18.
- ALVARENGA, L.D.P. & PÔRTO, K.C. 2007. Patch size and isolation effects on epiphytic and epiphyllous bryophytes in the fragmented Brazilian Atlantic Forest. *Biol. Conserv.* 134: 415-427.
- ALVARENGA, L.D.P., OLIVEIRA, J.R.P.M., SILVA, M.P.P., COSTA, S.O. & PÔRTO, K.C. 2008. Liverworts of Alagoas State, Brazil. *Acta Bot. Bras.* 22: 878-890.
- ALVARENGA, L.D.P., PÔRTO, K.C. & SILVA, M.P.P. 2009. Relations Between Regional–Local Habitat Loss and Metapopulation Properties of Epiphyllous Bryophytes in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 41: 682-691.
- ALVARENGA, L.D.P., PÔRTO, K.C. & OLIVEIRA, J.R.P.M. 2010. Habitat loss effects on spatial distribution of epiphytic bryophytes in a Brazilian Atlantic forest. *Biodiv. Conserv.* 19: 619-635.
- ANDRADE-LIMA, D. 1982. Present day forest refuges in Northeastern Brazil. In *Biological diversification in the Tropics* (G.T. Prance, ed.). Columbia University, New York, p. 245-254.
- ANGELO, C. 2013. Florestas mais iguais - Proliferação de espécies nativas resistentes a perturbações no ambiente reduz a biodiversidade da mata atlântica. *Pesquisa FAPESP* 203: 58-61.
- ASFORA, P.H. & MENDES PONTES, A.R. 2009. The small mammals of the highly impacted North-eastern Atlantic Forest of Brazil, Pernambuco Endemism Center. *Biota Neotrop.* 9: 31-35.
- BASTOS, C.J.P. 2004. Lejeuneaceae (Marchantiophyta) no estado da Bahia, Brasil. Phd thesis. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- BASTOS, C.J.P. & YANO, O. 2004. O gênero *Lejeunea* Libert (Lejeuneaceae) no Estado da Bahia, Brasil. *Hoehnea* 36: 303-320.
- BISCHLER-CAUSSE, H., GRADSTEIN, S.R., JOVET-AST, S., LONG, D.G. & ALLEN, N.S. 2005. Marchantiidae. *Flora Neotropica*. New York, New York Botanical Garden.
- BUCK, W.R. 1998. Pleurocarpous Mosses of the West Indies. *Mem. New York Bot. Gard.* 1: 1-401.
- CALDEIRA, I.C., ESTEVES, V.G.L., LUIZI-PONZO, A.P. 2009. Morfologia dos esporos de Sematophyllaceae Broth. ocorrentes em três fragmentos de Mata Atlântica, no Rio de Janeiro, Brasil. *Rev. Bras. Bot.* 32: 299-306.
- CALDEIRA, I.C., ESTEVES, V.G.L. & LUIZI-PONZO, A.P. 2006. Morfologia dos esporos das espécies de Leucobryaceae Schimp. (Bryophyta) do Parque Estadual de Ilha

Grande, Município de Angra dos Reis, Estado do Rio de Janeiro. Rev. Bras. Bot. 29: 301-307.

CAMPELO, M.J.A. & PÔRTO, K.C. 2007. Brioflora epífita e epífila da RPPN Frei Caneca, Jaqueira, PE, Brasil. Acta Bot. Bras. 21(1): 185-192.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS; INSTITUTO DE PESQUISAS ECOLÓGICAS & SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2000. Avaliação e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

COSTA, D.P. 2008. Metzgeriaceae. Flora Neotropica Monograph 102. New York Botanical Garden, New York.

COSTA, D.P., PÔRTO, K.C., LUIZI-PONZO, A.P., ILKIU-BORGES, A.L., BASTOS, C.J.P., CÂMARA, P.E.A.S., PERALTA, D.F., BÔAS-BASTOS, S.B.V., IMBASSAHY, C.A.A., HENRIQUES, D.K., GOMES, H.C.S., ROCHA, L.M., SANTOS, N.D., SIVIERO, T.S., VAZ-IMBASSAHY, T.F., CHURCHILL, S.P. 2011. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist, distribution and conservation. Nova Hedwigia 93: 277-334.

COSTA, D.P., CÂMARA, P.E.A.S., PÔRTO, K.C., LUIZI-PONZO, A.P. & ILKIU-BORGES, A.L. 2012. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2010/FB096039>).

CRANDALL-STOTLER, B., R.E. STOTLER & D.G.LONG. 2009. Morphology and classification of the Marchantiophyta. In Bryophyte Biology, 2nd edition (B. Goffinet & A.J. Shaw, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, p. 1-54.

CROSBY, M.R., MAGILL, R.E., ALLEN, B. & HE, S. 1999. A Checklist of the Mosses. St. Louis, USA, Missouri Botanical Garden.

FERRAREZZI, H. & FREIRE, E.M.X. 2001. New species of Bothrops Wagler, 1824 from the Atlantic forest of northeastern Brazil (Serpentes, Viperidae, Crotalinae). Bol. Mus. Nac., Zool. 440: 1-10.

FAITH, D.P. 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. Biol. Conserv. 61: 1-10.

Fundação Biodiversitas. 2005. Espécies Ameaçadas online. (<http://www.biodiversitas.org.br/boletim/EAO/>).

GERMANO, S.R. & PÔRTO, K.C. 1996. Floristic survey of epixylic bryophytes of an Area Remnant of the Atlantic Forest (Timbaúba – PE, Brazil). 1. Hepaticopsida (except Lejeuneaceae) and Bryopsida. Trop. Bryol. 12: 21-28.

GERMANO, S.R. & PÔRTO, K.C. 1997. Ecological analysis of epixylic bryophytes in relation to the decomposition of the substrate (Municipality of Timbaúba – Pernambuco, Brazil). Cryptogam., Bryol., Lichenol. 18(2): 143-150.

GERMANO, S.R. & PÔRTO, K.C. 1998a Floristic Survey of Epixylic Bryophytes of an Area Remnant of the Atlantic Forest (Timbaúba - PE, Brazil). 1. Hepaticopsida (except Lejeuneaceae) and Bryopsida. Trop. Bryol. 12: 21-28.

GERMANO, S.R. & PÔRTO, K.C. 1998b. Briófitas epíxilas de uma área remanescente de Floresta Atlântica (Timbaúba, PE, Brasil). 2. Lejeuneaceae. Acta Bot. Bras. 12(1): 53-66.

GERMANO, S.R. & PÔRTO, K.C. 2005. A bryophyte checklist of the Ecological Reserve of Gurjaú, Pernambuco, Brazil. Trop. Bryol. 26: 1-12.

GLIME, J. 2012. Bryophyte Ecology. (<http://www.bryoecol.mtu.edu>).

GOFFINET, B., BUCK, W.R. & SHAW, A.J. 2009. Morphology, anatomy, and classification of the Bryophyta. In Bryophyte Biology, 2nd edition (B. Goffinet & A.J. Shaw, eds.). Cambridge University Press, p. 56-138.

GOFFINET, B. & SHAW A.J. Bryophyte Biology, 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge.

GRADSTEIN, S.R. 1992. Threatened bryophytes of the neotropical rain forest: a status report. Trop. Bryol. 6: 83-93.

GRADSTEIN, S.R. 1994. Lejeuneaceae; Ptychantheae, Brachiolejeuneae. Flora Neotropica Monograph 62: 1-225.

GRADSTEIN, S.R. & PÓCS, T. 1989. Bryophytes. In Tropical Rain Forest Ecosystems (H. Lieth & M.J.A. Werger, eds.). Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V, p. 311-325.

GRADSTEIN, S.R. & COSTA, D.P. 2003. The Hepaticae and Anthocerotae of Brazil. Mem. New York Bot. Gard. 88: 1-673.

GRADSTEIN, S.R., CHURCHILL, S.P. & SALAZAR, A.N. 2001. Guide to the Bryophytes of Tropical America. Mem. New York Bot. Gard. 86: 1-577.

GRADSTEIN, S.R., HIETZ, P., LÜCKING, A., SIPMAN, H.J.M., VESTER, H.F.M., WOLF, J.H.D. & GARDETTE, E. 1996. How to sample the epiphytic diversity of tropical rain forests. Ecotropica 2: 59-72.

GRILLO, A., OLIVEIRA, M.A. & TABARELLI, M. 2006. Árvores. In Diversidade biológica e conservação da Floresta Atlântica ao norte do Rio São Francisco (K.C. Pôrto, J.S. Almeida-Cortez & M. Tabarelli, eds.). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 191-216.

GROLLE, R. & HEINRICHS, J. 1999. Redescription and synonymy of *Plagiochila aerea* Taylor 1846 (Hepaticae), first described as *Lycopodium pinnatum* by Lamarck 1792. Nova Hedwigia 68: 511-525.

GUADANUCCI, J.P.L., LUCAS, S.M., INDICATTI, R.P. & YAMAMOTO, F.U. 2007. Description of Guyruita gen. nov. and two new species (Ischnocolinae, Theraphosidae). Rev. Bras. Zool. 24(4): 991-996.

- GUEDES, T.B., NUNES, G.S.S., PRUDENTE, A.L.C. & MARQUES, O.A.V. 2011. New records and geographical distribution of the Tropical Banded Treesnake *Siphlophis compressus* (Dipsadidae) in Brazil. *Herpetology Notes* 4: 341-346.
- HEINRICHS, J., GRADTEIN, S.R.; GROLLE, R. 1998. A revision of the Neotropical species of *Plagiochila* (Dumort.) Dumort. (Hepaticae) described by Olof Swartz. *J. Hattori Bot. Labo.* 85: 1-32.
- ILKIU-BORGES, A.L. 2005. A taxonomic monograph of the genus *Prionolejeunea* (Lejeuneaceae, Jungermanniopsida). Phd thesis. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- ILKIU-BORGES, A.L. & ALVARENGA, L.D.P. 2008. On *Ceratolejeunea atlantica*, a new species of Lejeuneaceae (Jungermanniopsida) from Brazil. *Nova Hedwigia* 86: 237–241.
- LUIZI-PONZO, A.P. & BARTH, O.M. 1999. Spore morphology of some Dicranaceae species (Bryophyta) from Brazil. *Grana (Stockholm)* 38: 42-49.
- LUIZI-PONZO, A.P. & MELHEM, T.S. 2006. Spore morphology and ultrastructure of the tropical moss *Helicophyllum torquatum* (Hook.) Brid. (Helicophyllaceae) in relation to systematics and evolution. *Cryptogam., Bryol., Lichenol.* 27: 413-420.
- MÄGDEFRAU, K. 1982. Life-forms of bryophytes. In *Bryophyte Ecology* (A.J.E. Smith, ed.). Chapman and Hall. Cambridge University Press, Cambridge, p. 45-58.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2008. Instrução Normativa nº 6, 23 de setembro de 2008.
- MOTA DE OLIVEIRA, S. 2010. Diversity of epiphytic bryophytes across the Amazon. Phd thesis. Universiteit Utrecht, Holanda.
- MOTA DE OLIVEIRA, S., TER STEEGE, H., CORNELISSEN, J.H.C. & GRADSTEIN S.R. 2009. Niche assembly of epiphytic bryophyte communities in the Guianas: a regional approach. *J. Biogeogr.* 36: 2076-2084.
- MOURA, F.B.P. 2006. A Mata Atlântica em Alagoas. EDUFAL, Maceió.
- NASCIMENTO, J.L. & CAMPOS, I.B. 2011. Atlas da fauna brasileira ameaçada de extinção em Unidades de Conservação federais. Instituto Chico Mendes, Brasília.
- NAAF, T. & WULF, M. 2010. Habitat specialists and generalists drive homogenization and differentiation of temperate forest plant communities at the regional scale. *Biol. Conserv.* 143: 848–855.
- OCHI, H. 1980. A revision of the Neotropical Bryoideae, Musci (First part). *J. Facul. Educ., Tottori University* 29(2): 45-154.
- OCHI, H. 1981. A revision of the Neotropical Bryoideae, Musci (Second part). *J. Facul. Educ., Tottori University* 30: 21-55.
- OCHI, H. 1982. A revision of Bryoideae (Musci) in Southern South America. *J. Facul. Educ., Tottori University* 31: 11-47.

- OLIVEIRA, J.R.P.M., PÔRTO, K.C. & SILVA, M.P.P. 2011. Richness preservation in a fragmented landscape: a study of epiphytic bryophytes in an Atlantic forest remnant in Northeast Brazil. *J. Bryol.* 33(4): 279-290.
- OLMOS, F. 2005. Aves ameaçadas, prioridades e políticas de conservação no Brasil. *Natureza & Conservação* 3 (1): 21-42.
- PÓCS, T. & BERNECKER, A. 2009. Overview of Aphanolejeunea (Jungermanniopsida) after 25 years. *Polish Bot. J.* 54(1): 1-11.
- PÔRTO K.C. 1990. Bryoflores d'une forêt de plaine et d'une forêt d'altitude moyenne dans l'État de Pernambuco (Brésil), Analyse floristique. *Cryptogam., Bryol., Lichenol.* 11: 109-161.
- PÔRTO, K.C. 1996. Briófitas. In *Pesquisa Botânica Nordestina: Progresso e Perspectivas* (E.V.S.B. Sampaio, S.J. Mayo & M.R.V. Barbosa, eds.). Sociedade Botânica do Brasil, Regional Pernambuco, p. 91-103.
- PÔRTO, K.C. & OLIVEIRA, S.M. 1998. Biodiversidade e Biologia reprodutiva de briófitas da Reserva Ecológica de Dois Irmãos. In *Reserva Ecológica de Dois Irmãos: estudos em um remanescente de Mata Atlântica em Área Urbana (recife – Pernambuco – Brasil)* (I.C. Machado, A.V. Lopes & K.C. Pôrto, eds.). SECTMA, Recife, p. 115-135.
- PÔRTO, K.C. & GERMANO, S.R. 2002. Biodiversidade e importância das briófitas na conservação dos ecossistemas naturais de Pernambuco. In *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco* (M. Tabarelli & J.M.C. Silva, eds.). Editora Massangana, Recife, p. 125-152.
- PÔRTO, K.C., BELO, M.M.L., FONSECA, E.R. & SILVA, E.C. 1993. Brioflora da Reserva do Gurjaú (Cabo - PE). *Biol. Bras.* 5(1/2): 27-42.
- PÔRTO, K.C., GRADSTEIN, S.R., YANO, O., GERMANO, S.R. & COSTA, D.P. 1999. New and interesting records of Brazilian bryophytes. *Trop. Bryol.* 17: 19-45.
- PÔRTO, K.C., GERMANO S.R. & OLIVEIRA, S.M. 2000. New records of bryophytes Pernambuco State, Brazil. *Trop. Bryol.* 18: 107-114.
- PÔRTO, K.C., CABRAL, J.J.P. & TABARELLI, M. 2004. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba. *História Natural, Ecologia e Conservação*. MMA, Brasília.
- PÔRTO, K.C., ALVARENGA, L.D.P. & SANTOS, G.H.F. 2006. Briófitas. In *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco* (K.C. Pôrto, J.S. Almeida-Cortez & M. Tabarelli, eds.). MMA, Brasília, p. 25-37.
- PÔRTO, K.C., BARBOSA, M.C.A., CAVALCANTI E SILVA, I.C. & SILVA, M.P.P. 2012. Estação Ecológica de Murici, Alagoas, Brasil: espécies ameaçadas, nativas e raras. Fundação Grupo O Boticário de Proteção À Natureza, Recife.
- PURSELL, R.A. 2007. Fissidentaceae. *Flora Neotropica Monograph* 101. New York Botanical Garden, New York.
- REDE DE ONGS DA MATA ATLÂNTICA, 2006. Mata Atlântica, uma rede pela floresta. Campanili, M., Prochnow, M. (Orgs). RMA, Brasília.

REINER-DREHWALD, M.E. 1998. Las Lejeuneaceae (Hepaticae) de Misiones, Argentina V. Cheilolejeunea y Lepidolejeunea. Trop. Bryol. 14: 53-68.

REINER-DREHWALD, M.E. 2000. Las Lejeuneaceae (Hepaticae) de Misiones, Argentina VI. Lejeunea y Taxilejeunea. Trop. Bryol. 19: 81-131.

REINER-DREHWALD, M.E. & GODA, A. 2000. Revision of the genus *Crossotolejeunea* (Lejeuneaceae, Hepaticae). J. Hattori Bot. Labo. 89: 1-54.

REINER-DREHWALD, M.E. & PÔRTO, K.C. 2007. *Lejeunea perpapillosa* (Lejeuneaceae), a new species from north-eastern Brazil. Nova Hedwigia 85: 541-546.

RICHARDS, P.W. 1984. The ecology of tropical forest bryophytes. In New Manual of Bryology (R.M. Schuster, ed.). Nichinan, The Hattori Botanical Laboratory, p. 1233-1270.

RODA, S.A. & PEREIRA, G.A. 2006. Distribuição recente e conservação das aves de rapina florestais do Centro Pernambuco. Rev. Bras. Ornitol. 14(4): 331-344.

RODRIGUES, E.N.L. & BUCKUP, E.H. 2007. O gênero *Nesticella* Lehtinen & Saaristo (Araneae, Nesticidae) no Brasil. Rev. Bras. Zool. 24 (3): 673-676.

SÁ, P.S.A. & PÔRTO, K.C. 1996. Novos registros de Hepaticopsida para Pernambuco. Rev. Nord. Biol. 11(1): 37-43.

SANTIAGO, A.C.P., LEÃO BARROS, I.C. & SYLVESTRE, L.S. 2004. Pteridófitas ocorrentes em três fragmentos florestais de um brejo de altitude (Bonito, Pernambuco, Brasil). Acta Bot. Bras. 18(4): 781-792.

SANTOS, N.D., COSTA, D.P., KINOSHITA, L.S. & SHEPERD, G.J. 2011. Aspectos brioflorísticos e fitogeográficos de duas formações costeiras de Floresta Atlântica da Serra do Mar (Ubatuba, SP). Biota Neotropica (Edição em português. Impresso) 11: 1-14.

SCHOFIELD, W.B. 1985. Introduction to Bryology. MacMillan Publishing, New York.

SHARP, A.J., CRUM, H. & ECKEL, P.M. 1994. The moss flora of Mexico. Mem. New York Bot. Gard. 69 (1-2): 1-1113.

SILVA, M.P.P. & PÔRTO, K.C. 2009. Effect of fragmentation on the community structure of epixylic bryophytes in Atlantic Forest remnants in the Northeast of Brazil. Biodiv. Conserv. 18: 317-337.

SILVA, M.P.P. & PÔRTO, K.C. 2010. Spatial structure of bryophyte communities along an edge-interior gradient in an Atlantic Forest remnant in Northeast Brazil. J. Bryol. 32: 101-112.

TABARELLI, M., PINTO, L.P., SILVA, J.M.C., HIROTA, M. & BEDÊ, L. 2005. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the Brazilian Atlantic Forest. Conserv. Biol. 19: 695-700.

TABARELLI, M., SIQUEIRA FILHO, J.A. & SANTOS, A.M.M. 2006. A Floresta Atlântica ao norte do rio São Francisco. In Diversidade Biológica e Conservação da

Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco (K.C. Pôrto, J.S. Almeida-Cortez & M. Tabarelli, eds.). MMA, Brasília, p. 25-40.

UCHÔA NETO, C.A.M. & TABARELLI, M. 2003. Prospeção de novas áreas de conservação do centro de endemismo Pernambuco. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste, Recife.

VALDEVINO, J.A., SÁ, P.S. & PÔRTO, K.C. 2002. Musgos pleurocárpicos de mata serrana em Pernambuco, Brasil. Acta Bot. Bras. 16: 161-174.

VALENTE, E.B. & PÔRTO, K.C. 2006. Hepáticas (Marchantiophyta) de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Jibóia, município de Santa Teresinha, Bahia, Brasil.. Acta Bot. Bras. 20: 433-441.

VALENTE, E.B., PÔRTO, K.C., BÔAS-BASTOS, S.B.V. & BASTOS, C.J.P. 2009. Musgos (Bryophyta) de um fragmento de Mata Atlântica na Serra da Jibóia município de Santa Terezinha, Bahia, Brasil. Acta Bot. Bras. 23: 369-375.

VALENTE, E.B., PÔRTO, K.C. & BASTOS, C.J.P. 2011. Checklist of Bryophytes of Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. Bol. Inst. Bot. (São Paulo) 21: 111-124.

VANDERPOORTEN, A. & GOFFINET, B. 2009. Introduction to bryophyte. Cambridge University Press, Cambridge.

VELOSO, H.P., RANGEL FILHO, A.L.R., ALVES-LIMA, J.C. 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Fundação IBGE, Rio de Janeiro.

VISNADI, S.R. 2006. Sematophyllaceae da Mata Atlântica do nordeste do Estado de São Paulo. Hoehnea 33(4): 455-484.

WARWICK, R.M. & CLARKE, K.R. 1995. New “biodiversity” measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. Mar. ecol., Prog. ser. 129: 301-305.

WARWICK, R.M. & CLARKE, K.R. 1998. Taxonomic distinctness and environmental assessment. J. Appl. Ecol. 35: 532-543.

YANO, O. 1981. A checklist of Brazilian Mosses. J. Hattori Bot. Labo. 50: 279-456.

YANO, O. 1984. Checklist of Brazilian liverworts and hornworts. J. Hattori Bot. Labo. 56: 481-548.

YANO, O. 1989. An additional checklist of Brazilian bryophytes. J. Hattori Bot. Labo. 66: 371-434.

YANO, O. 1995. A new additional annotated checklist of Brazilian bryophytes. J. Hattori Bot. Labo. 78: 137-182.

YANO, O. 2004. Novas ocorrências de briófitas para vários estados do Brasil. Acta Amazon. 34 (4): 559-576.

YANO, O. 2006. Novas adições as briófitas brasileiras. Bol. Inst. Bot. (São Paulo) 18: 229-233.

YANO, O. 2008. Catálogo de antóceros e hepáticas brasileiros: literatura original, basionímo, localidade-tipo e distribuição geográfica. Bol. Inst. Bot. (São Paulo) 19: 1-110.

YANO, O. 2010. Levantamento de novas ocorrências de briófitas brasileiras. Bol. Inst. Bot. (São Paulo): 1-243.

YANO, O. & Andrade-Lima, D. 1987. Briófitas no Nordeste brasileiro: Estado de Pernambuco. Rev. Bras. Bot. 10: 171-181.

Tabela 1. Localização e riqueza de briófitas em localidades de Floresta Atlântica nordestina.

Áreas	Localização (Long;Lat)	Riqueza	Referência bibliográfica
Parque Estadual Dunas do Natal (PDU)	-35.1833;-5.8500	12	Este estudo
RPPN Mata Bela (MBL)	-35.0659;-6.4092	24	Este estudo
RPPN Mata Estrela (MET)	-35.0235;-6.3744	20	Este estudo
REBIO Guaribas (GBA)	-35.1419;-6.7420	40	Este estudo
APA Barra do Rio Mamanguape (APA)	-34.9091;-6.8536	12	Este estudo
Reserva Ecológica da Mata do Pau-Ferro (PFE)	-35.7445;-6.9836	50	Este estudo
RPPN Gargaú (GGA)	-34.9563;-6.9913	35	Este estudo
RPPN Pacatuba (PAC)	-35.1566;-7.0425	46	Este estudo
Jardim Botânico Benjamim Maranhão (JBB)	-34.8614;-7.1366	21	Este estudo
Engenho Água Azul (AZU)	-35.3333;-7.5833	70	Germano & Pôrto (1996, 1997, 1998)
Mata do Estado/ Serra dos Mascarenhas (MDE)	-35.5094;-7.6162	99	Este estudo
Reserva Ecológica de Dois Irmãos (DIR)	-35.0000;-7.9167	59	Pôrto & Oliveira (1998)
RPPN Fazenda Bituri (BIT)	-36.3711;-8.1458	90	Valdevino et al. (2002); Pôrto et al. (2004)
Reserva Ecológica de Gurjaú (GJA)	-35.6750;-8.3589	105	Germano & Pôrto (2005); Pôrto et al. (2006); Alvarenga & Pôrto (2007)
Parque Ecológico Municipal João Vasconcelos Sobrinho (VSO)	-35.6167;-8.3692	157	Pôrto (1990); Pôrto et al. (2004)
Reserva Municipal de Bonito (BOT)	-35.7156;-8.5039	80	Pôrto & Germano (2002)
RPPN Frei Caneca (FCA)	-35.8333;-8.7000	119	Pôrto et al. (2006); Alvarenga & Pôrto (2007); Campelo & Pôrto (2007)
REBIO de Saltinho (SAL)	-35.1833;-8.7333	86	Pôrto (1990)
Usina Serra Grande (SGR)	-36.1128;-9.0003	75	Pôrto et al. (2006); Alvarenga et al. (2008)
REBIO Pedra Talhada (PTA)	-36.4304;-9.2591	103	Este estudo
Estação Ecológica de Murici (MUR)	-35.9167;-9.2667	199	Alvarenga et al. (2009, 2010); Silva & Pôrto (2009, 2010); Oliveira et al. (2011)
Refúgio da Vida Silvestre Mata do Junco (MJU)	-37.0588;-10.5382	62	Este estudo
Parque Nacional de Itabaiana (ITA)	-37.3423;-10.7545	70	Este estudo

Tabela 2. Comparação do número de táxons de briófitas da Floresta Atlântica Nordeste com outras regiões.

Regiões	Número de espécies	Referência
Floresta Atlântica Nordeste	398	Este estudo
Brasil	1.521	Costa et al. (2012)
Neotrópico	4.000	Gradstein et al. (2001)
Mundo	18.000	Goffinet & Shaw (2009)

Tabela 3. Índice de diversidade filogenética (PD), proporção de especialistas de sombra e número de espécies endêmicas (Brasil) de briófitas na Floresta Atlântica para cada localidade estudada. Para sigla das áreas ver Tabela 1.

Localidade	Diversidade filogenética (PD)	% especialistas de sombra	Spp. endêmicas
PDU	269,4	0	0
MBL	407,1	0	0
MET	392,2	15	1
GBA	700,1	13	0
APA	277,3	0	0
PFE	869,8	18	1
GGA	620,7	9	0
PAC	954,6	24	0
JBB	440,7	10	0
AZU	1090,4	30	0
MDE	1628,2	34	1
DIR	809,6	12	1
BIT	1218,9	26	2
GJA	1427,9	24	2
VSO	1855,8	31	3
BOT	1215,8	31	0
FCA	1619,1	34	1
SAL	1180,8	19	1
SGR	1141,2	29	0
PTA	1651,7	25	0
MUR	2313,7	30	5
MJU	1074,4	15	0
ITA	1082,2	19	1

Tabela 4. Prioridade de ação e importância biológica das localidades estudadas, segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA, e modificações sugeridas por este estudo. Para sigla das áreas ver Tabela 1. s.m.=sem modificação.

Área	MMA		Este estudo	
	Prioridade de ação	Importância Biológica	Prioridade de ação	Importância Biológica
PDU	Alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
MET	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
MBL	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
JBB	Alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
GGA	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
PFE	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
APA	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
PAC	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
GBA	Muito alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
GJA	Alta	Alta	s.m.	s.m.
DIR	Alta	Alta	s.m.	s.m.
MDE	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
BIT	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
VSO	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
FCA	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
SAL	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
BOT	Alta	Insuficientemente conhecida	Muito alta	Extremamente alta
AZU	Insuficientemente conhecida	Insuficientemente conhecida	Muito alta	Extremamente alta
MUR	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.	s.m.
SGR	Muito alta	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.
PTA	Muito alta	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.
MJU	Muito alta	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.
ITA	muito alta	Extremamente alta	Extremamente alta	s.m.

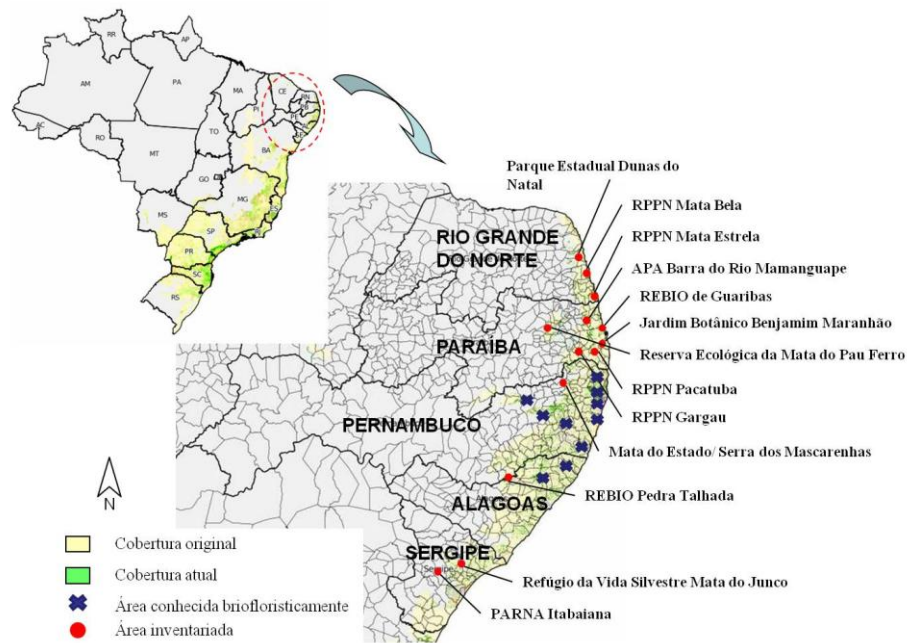


Figura 1. Localização dos remanescentes de Floresta Atlântica Nordestina estudados.

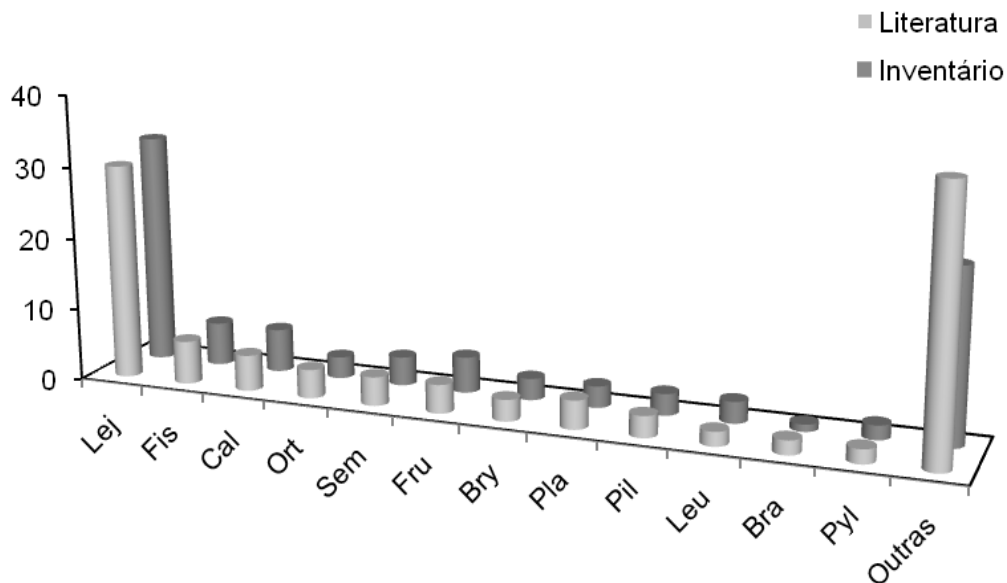


Figura 2. Representatividade das principais famílias de briófitas, compiladas através de revisão bibliográfica e dos inventários brioflorísticos realizados neste estudo. Lej = Lejeuneaceae, Fis = Fissidentaceae, Cal = Calymperaceae, Ort = Orthotrichaceae, Sem = Sematophyllaceae, Fru = Frullaniaceae, Bry = Bryaceae, Pla = Plagiochilaceae, Pil = Pilotrichaceae, Leu = Leucobryaceae, Bra = Brachytheciaceae, Pyl = Pylaisiadelphaceae.

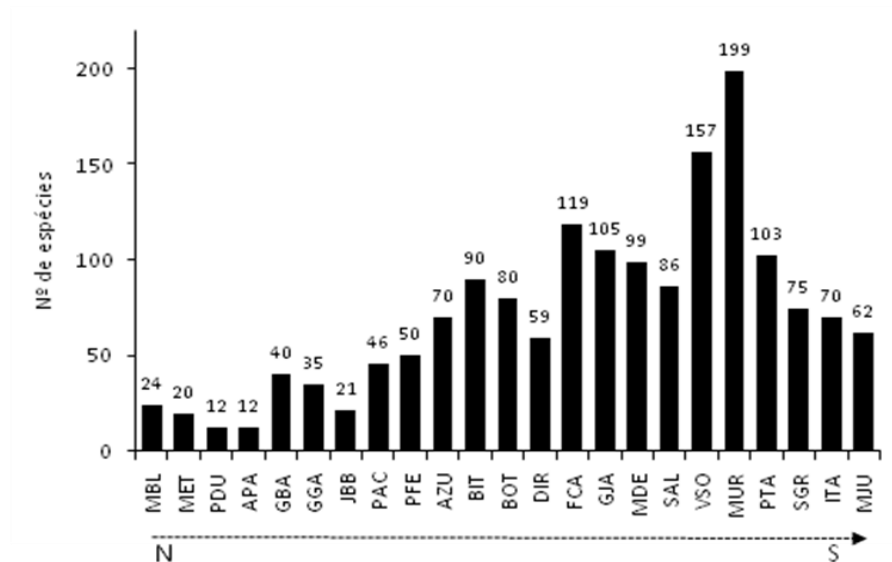


Figura 3. Número de espécies de briófitas das localidades de Floresta Atlântica Nordestina estudadas. Localidades em ordem crescente de latitude geográfica. Para sigla das áreas ver Tabela 1.

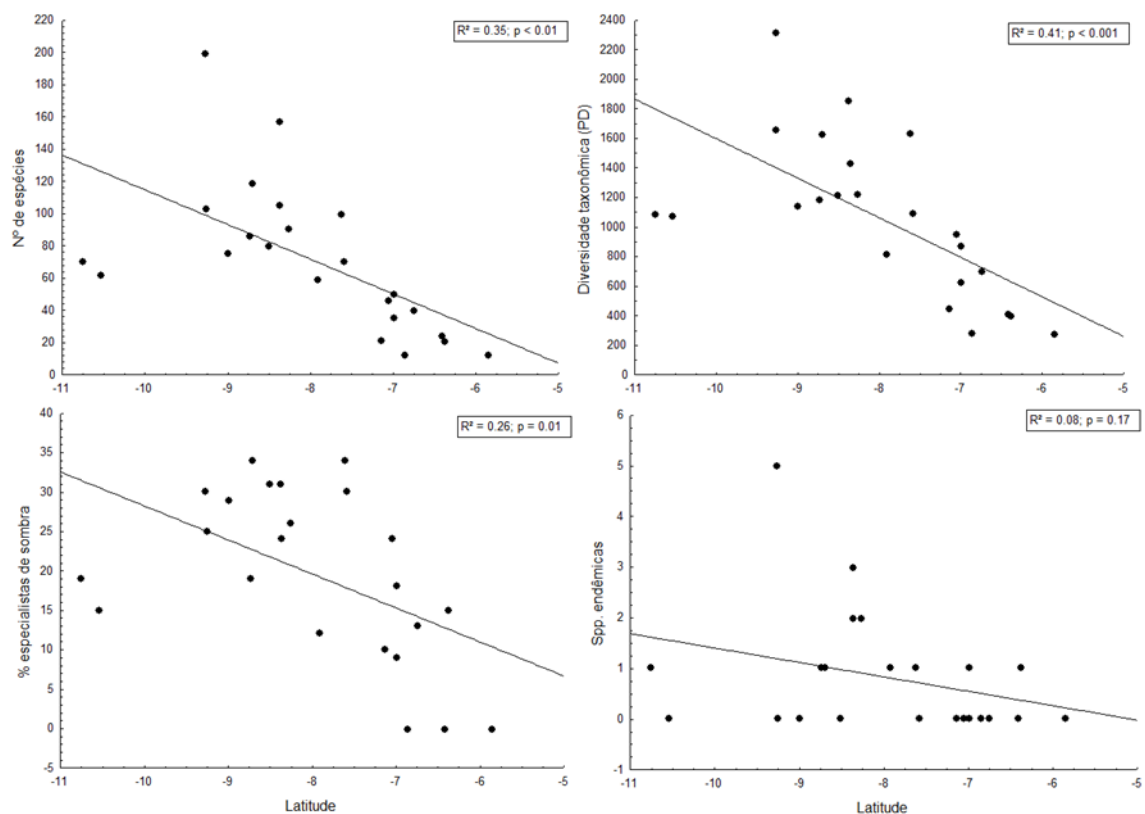


Figura 4. Relação da riqueza total (a), do índice de diversidade filogenética (PD) (b), da porcentagem de espécies típicas de sombra (c) e do número de espécies endêmicas (d) com a latitude das localidades de Floresta Atlântica Nordestina estudadas.

ANEXOS

Anexo 1. Número de ocorrências total e classificação por grupo funcional de tolerância à luminosidade das espécies de briófitas das áreas de Floresta Atlântica estudadas. Valores entre parênteses representam o número de gêneros e de espécies, respectivamente.

Espécie	Total	Grupo funcional
MARCHANTIOPHYTA		
Aneuraceae (2/5)		
<i>Aneura pinguis</i> (L.) Dumort.	1	Sombra
<i>Riccardia amazonica</i> (Spruce) S.W.Arnell	5	Sombra
<i>Riccardia cataractarum</i> (Spruce) Schiffn.	1	Sombra
<i>Riccardia digitiloba</i> (Spruce ex Steph.) Pagán	3	Sombra
<i>Riccardia regnellii</i> (Aongström.) Hell *	1	Sombra
Calypogeiaceae (1/4)		
<i>Calypogeia laxa</i> Gottsche & Lindenb.	5	Generalista
<i>Calypogeia lechleri</i> Steph.	1	Generalista
<i>Calypogeia miquellii</i> Mont.	5	Generalista
<i>Calypogeia peruviana</i> Nees & Mont.	3	Generalista
Cephaloziaceae (1/1)		
<i>Odontoschisma denudatum</i> (Nees) Dumort.	1	Sombra
Cephaloziellaceae (2/2)		
<i>Cephaloziella divaricata</i> (Sm.) Schiffn.	1	Sombra
<i>Cylindrocolea rhizantha</i> (Mont.) R.M.Schust.	5	Sombra
Corsiniaceae (1/1)		
<i>Cronisia fimbriata</i> (Nees) Whittemore & Bischler	2	Sol
Fossombroniaceae (1/1)		
<i>Fossombronia porphyrorhiza</i> (Nees) Prosk.	4	Generalista
Frullaniaceae (1/18)		
<i>Frullania apiculata</i> (Reinw. et al.) Nees	3	Sol
<i>Frullania atrata</i> (Sw.) Nees	2	Sol
<i>Frullania beyrichiana</i> (Lehm. & Lindenb.) Lehm. & Lindenb.	1	Sol
<i>Frullania brasiliensis</i> Raddi	5	Sol
<i>Frullania breuteliana</i> Gottsche	2	Sol
<i>Frullania caulisequa</i> (Nees) Nees	16	Sol
<i>Frullania dusenii</i> Steph.	4	Sol
<i>Frullania ericoides</i> (Nees) Mont.	4	Sol
<i>Frullania gibbosa</i> Nees	3	Sol
<i>Frullania glomerata</i> (Lehm. & Lindenb.) Nees & Mont.	1	Sol
<i>Frullania involuta</i> Hampe ex Steph.	1	Sol
<i>Frullania kunzei</i> (Lehm. & Lindenb.) Lehm. & Lindenb.	15	Sol
<i>Frullania nodulosa</i> (Reinw. et al.) Nees	1	Sol
<i>Frullania riojaneirensis</i> (Raddi) Spruce	10	Sol
<i>Frullania serrata</i> Gottsche	1	Sol
<i>Frullania setigera</i> Steph.	3	Sol
<i>Frullania speciosa</i> Herzog	2	Sol
<i>Frullania subtilissima</i> (Mont.) Lindenb.	2	Sol
Herbertaceae (1/1)		
<i>Herbertus juniperoideus</i> (Sw.) Grolle	1	Sombra
Lejeuneaceae (35/118)		
<i>Acrolejeunea emergens</i> (Mitt.) Steph.	1	Sol
<i>Acrolejeunea torulosa</i> (Lehm. & Lindenb.) Schiffn.	1	Sol
<i>Anoplolejeunea conferta</i> (C.F.W.Meissn.) A.Evans	6	Generalista
<i>Archilejeunea auberiana</i> (Mont.) A.Evans	5	Generalista
<i>Archilejeunea fuscescens</i> (Hampe ex Lehm.) Fulford	8	Generalista
<i>Archilejeunea parviflora</i> (Nees) Schiffn.	7	Generalista
<i>Brachiolejeunea phyllorhiza</i> (Nees) Kruijt & Gradst.	1	Generalista
<i>Bryopteris diffusa</i> (Sw.) Nees	7	Sombra

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Bryopteris filicina</i> (Sw.) Nees	8	Sombra
<i>Caudalejeunea lehmanniana</i> (Gottsche) A.Evans	11	Sol
<i>Ceratolejeunea atlantica</i> Ilkiu-Borges & L. Alvarenga *	1	
<i>Ceratolejeunea ceratantha</i> (Nees & Mont.) Steph.	2	Generalista
<i>Ceratolejeunea coarina</i> (Gottsche) Steph.	4	Generalista
<i>Ceratolejeunea confusa</i> R.M.Schust.	5	Generalista
<i>Ceratolejeunea cornuta</i> (Lindenb.) Schiffn.	13	Sol
<i>Ceratolejeunea cubensis</i> (Mont.) Schiffn.	10	Generalista
<i>Ceratolejeunea fallax</i> (Lehm. & Lindenb.) Bonner	3	Generalista
<i>Ceratolejeunea filaria</i> (Taylor ex Lehm.) Steph.	1	Generalista
<i>Ceratolejeunea laetefusca</i> (Austin) R.M.Schust.	4	Generalista
<i>Ceratolejeunea minuta</i> Dauphin	3	Generalista
<i>Cheilolejeunea acutangula</i> (Nees) Grolle	7	Generalista
<i>Cheilolejeunea adnata</i> (Kunze) Grolle	16	Generalista
<i>Cheilolejeunea clausa</i> (Nees & Mont.) R.M.Schust.	5	Generalista
<i>Cheilolejeunea discoidea</i> (Lehm. & Lindenb.) Kachr. & R.M. Schust.	1	Generalista
<i>Cheilolejeunea holostipa</i> (Spruce) Grolle & R.-L.Zhu	5	Generalista
<i>Cheilolejeunea oncophylla</i> (Ångstr.) Grolle & E. Reiner	2	Generalista
<i>Cheilolejeunea rigidula</i> (Mont.) R.M.Schust.	21	Generalista
<i>Cheilolejeunea trifaria</i> (Reinw. et al.) Mizut.	8	Generalista
<i>Cololejeunea camillii</i> (Lehm.) R.M. Schust.	1	Generalista
<i>Cololejeunea cardiocarpa</i> (Mont.) A.Evans	4	Generalista
<i>Cololejeunea diaphana</i> A. Evans	10	Generalista
<i>Cololejeunea gracilis</i> Jovet-Ast	1	Generalista
<i>Cololejeunea katieae</i> Tixier *	1	Generalista
<i>Cololejeunea lanciloba</i> Steph.	1	Generalista
<i>Cololejeunea microscopica</i> var. <i>africana</i> (Pócs) Pócs & Bernecker	1	Generalista
<i>Cololejeunea obliqua</i> (Nees & Mont.) Schiffn.	9	Generalista
<i>Cololejeunea sicaefolia</i> (Gottsche ex Steph.) A.Evans	2	Generalista
<i>Cololejeunea subcardiocarpa</i> Tixier	9	Generalista
<i>Colura greig-smithii</i> Jovet-Ast	1	Sol
<i>Colura tenuicornis</i> (A.Evans) Steph.	1	Sol
<i>Colura tortifolia</i> (Nees & Mont.) Steph.	2	Sol
<i>Colura ulei</i> Jovet-Ast	1	Sol
<i>Cyclolejeunea convexistipa</i> (Lehm. & Lindenb.) A.Evans	3	Sombra
<i>Cyclolejeunea luteola</i> (Spruce) Grolle	1	Sombra
<i>Cyclolejeunea peruviana</i> (Lehm. & Lindenb.) A.Evans	1	Sombra
<i>Diplasiolejeunea brunnea</i> Steph.	9	Sol
<i>Diplasiolejeunea cavifolia</i> Steph.	6	Sol
<i>Diplasiolejeunea cobrensis</i> Gottsche ex Steph.	3	Sol
<i>Diplasiolejeunea latipuensis</i> Tixier	1	Sol
<i>Diplasiolejeunea pellucida</i> (Meisn.) Schiffn.	4	Sol
<i>Diplasiolejeunea rudolphiana</i> Steph.	10	Sol
<i>Diplasiolejeunea unidentata</i> (Lehm. & Lindenb.) Schiffn.	1	Sol
<i>Drepanolejeunea bidens</i> (Steph.) A.Evans	8	Generalista
<i>Drepanolejeunea campanulata</i> (Spruce) Steph.	1	Sombra
<i>Drepanolejeunea crucianella</i> (Tayl.) A. Evans	1	Generalista
<i>Drepanolejeunea fragilis</i> Bischl.	11	Generalista
<i>Drepanolejeunea mosenii</i> (Steph.) Bischl.	9	Sombra
<i>Frullanoides corticalis</i> (Lehm. & Lindenb.) van Slageren	1	Sol
<i>Frullanoides liebmanniana</i> (Lindenb. & Gottsche) van Slageren	2	Sol
<i>Harpalejeunea oxyphylla</i> (Nees & Mont.) Steph.	2	Generalista
<i>Harpalejeunea stricta</i> (Lindenb. & Gottsche) Steph.	10	Sol
<i>Harpalejeunea tenuicuspis</i> (Spruce) Schiffn.	2	Generalista
<i>Harpalejeunea tridens</i> (Besch. & Spruce) Steph.	1	Sombra

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Lejeunea cancellata</i> Nees & Mont.	1	Generalista
<i>Lejeunea caulicalyx</i> (Steph.) E.Reiner & Goda	14	Generalista
<i>Lejeunea cerina</i> (Lehm. & Lindenb.) Gottsche	5	Generalista
<i>Lejeunea controversa</i> Gottsche	2	Generalista
<i>Lejeunea cristulata</i> (Steph.) E.Reiner & Goda*	1	Generalista
<i>Lejeunea elliotii</i> Spruce	1	Generalista
<i>Lejeunea filipes</i> Spruce	1	Generalista
<i>Lejeunea flava</i> (Sw.) Nees	11	Generalista
<i>Lejeunea grossiretis</i> (Steph.) E.Reiner & Goda*	1	Generalista
<i>Lejeunea grossitexta</i> (Steph.) E.Reiner & Goda	2	Generalista
<i>Lejeunea guianensis</i> Nees & Mont.	2	Generalista
<i>Lejeunea huctumalcensis</i> Lindenb. & Gottsche	1	Generalista
<i>Lejeunea immersa</i> Spruce	5	Generalista
<i>Lejeunea laeta</i> (Lehm. & Lindenb.) Gottsche	1	Generalista
<i>Lejeunea laetevirens</i> Nees & Mont.	20	Generalista
<i>Lejeunea magnoliae</i> Lindenb. & Gottsche	11	Generalista
<i>Lejeunea monimiae</i> (Steph.) Steph.	1	Generalista
<i>Lejeunea oligoclada</i> Spruce	1	Generalista
<i>Lejeunea perpapillosa</i> E.Reiner & Pôrto *	1	
<i>Lejeunea phyllobola</i> Nees & Mont.	10	Generalista
<i>Lejeunea puiggariana</i> Steph.	1	Generalista
<i>Lejeunea quinqueumbonata</i> Spruce	3	Generalista
<i>Lejeunea tapajosensis</i> Spruce	5	Generalista
<i>Lepidolejeunea involuta</i> (Gottsche) Grolle	4	Sombra
<i>Leptolejeunea elliptica</i> (Lehm. & Lindenb.) Schiffn.	18	Sol
<i>Leptolejeunea maculata</i> (Mitt.) Schiffn.	1	Generalista
<i>Leucolejeunea conchifolia</i> (A.Evans) A.Evans	1	Sol
<i>Leucolejeunea unciloba</i> (Lindenb.) A.Evans	5	Sol
<i>Leucolejeunea xanthocarpa</i> (Lehm. & Lindenb.) A.Evans	9	Sol
<i>Lopholejeunea nigricans</i> (Lindenb.) Schiffn.	7	Sol
<i>Lopholejeunea subfusca</i> (Nees) Schiffn.	15	Sol
<i>Marchesia brachiata</i> (Sw.) Schiffn.	8	Sol
<i>Mastigolejeunea auriculata</i> (Wilson) Schiffn.	2	Generalista
<i>Microlejeunea epiphylla</i> Bischl.	13	Sol
<i>Neurolejeunea breutelii</i> (Gottsche) A.Evans	4	Sombra
<i>Odontolejeunea lunulata</i> (Weber) Schiffn.	5	Sombra
<i>Omphalanthus filiformis</i> (Sw.) Nees	5	Generalista
<i>Prionolejeunea aemula</i> (Gottsche) A.Evans	3	Sombra
<i>Prionolejeunea denticulata</i> (Weber) Schiffn.	9	Generalista
<i>Prionolejeunea scaberula</i> (Spruce) Steph.	2	Sombra
<i>Prionolejeunea trachyodes</i> (Spruce) Steph.	1	Sombra
<i>Pycnolejeunea contigua</i> (Nees) Grolle	7	Sol
<i>Pycnolejeunea macroloba</i> (Nees & Mont.) Schiffn.	3	Sol
<i>Rectolejeunea berteriana</i> (Gottsche ex Steph.) A.Evans	8	Generalista
<i>Rectolejeunea emarginuliflora</i> (Gottsche) A. Evans	1	Generalista
<i>Rectolejeunea flagelliformis</i> A. Evans	11	Generalista
<i>Schiffneriolejeunea polycarpa</i> (Nees) Gradst.	13	Sol
<i>Stictolejeunea squamata</i> (Willd. ex Weber) Schiffn.	6	Generalista
<i>Symbiezidium barbiflorum</i> (Lindenb. & Gottsche) A. Evans	18	Generalista
<i>Taxilejeunea isocalycina</i> (Nees) Steph.	1	Generalista
<i>Taxilejeunea lusoria</i> (Lindenb. & Gottsche) Steph.	1	Generalista
<i>Taxilejeunea obtusangula</i> (Spruce) A. Evans	2	Generalista
<i>Taxilejeunea pterigonia</i> (Lehm. & Lindenb.) Schiffn.	1	Generalista
<i>Vitalianthus bischlerianus</i> (Porto & Grolle) R.M.Schust. & Giancotti *	3	Sol
<i>Xylolejeunea crenata</i> (Nees & Mont.) X.-L. He & Grolle	5	Sombra
Lepidoziaceae (7/9)		
<i>Bazzania gracilis</i> (Hampe & Gottsche) Steph.	2	Generalista

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Bazzania heterostipa</i> (Steph.) Fulford *	3	Generalista
<i>Bazzania hookeri</i> (Lindenb.) Trevis.	2	Sombra
<i>Kurzia capillaris</i> (Sw.) Grolle	1	Sombra
<i>Lepidozia cupressina</i> (Sw.) Lindenb.	1	Sombra
<i>Micropterygium campanense</i> Spruce ex Reimers	1	Sombra
<i>Monodactylopsis monodactyla</i> (Spruce) R.M.Schust.	2	Sombra
<i>Telaranea diacantha</i> (Mont.) Howe	6	Sombra
<i>Zoopsidella antillana</i> (Steph.) R.M.Schust.	1	Generalista
Lophocoleaceae (3/4)		
<i>Chiloscyphus liebmannianus</i> (Gottsche) J.J.Engel & R.M. Schust.	4	Generalista
<i>Chiloscyphus martianus</i> (Nees) J.J.Engel & R.M.Schust.	5	Generalista
<i>Heteroscyphus heterophyllus</i> (Steph.) Engel & Schust.	2	Generalista
<i>Leptoscyphus porphyrius</i> (Nees) Grolle	1	Sombra
Metzgeriaceae (1/8)		
<i>Metzgeria albinea</i> Spruce	6	Generalista
<i>Metzgeria aurantiaca</i> Steph.	1	Generalista
<i>Metzgeria brasiliensis</i> Schiffn. *	2	Sombra
<i>Metzgeria ciliata</i> Raddi	6	Generalista
<i>Metzgeria dichotoma</i> (Sw.) Nees	3	Generalista
<i>Metzgeria furcata</i> (L.) Dumort.	2	Generalista
<i>Metzgeria myriopoda</i> Lindb.	1	Sombra
<i>Metzgeria uncigera</i> A.Evans	1	Sombra
Monocleaceae (1/1)		
<i>Monoclea gottschei</i> subsp. <i>elongata</i> Gradst. & Mues	2	Sombra
Pallaviciniaceae (1/1)		
<i>Symphyogyna aspera</i> Steph.	3	Sombra
Plagiochilaceae (1/13)		
<i>Plagiochila aerea</i> Taylor	6	Sombra
<i>Plagiochila corrugata</i> (Nees) Nees & Mont.	6	Sombra
<i>Plagiochila deflexirama</i> Taylor	1	Sombra
<i>Plagiochila disticha</i> (Lehm. & Lindenb.) Lindenb.	10	Sombra
<i>Plagiochila distinctifolia</i> Lindenb.	4	Sombra
<i>Plagiochila gymnocalycina</i> (Lehm. & Lindenb.) Lindenb.	5	Sombra
<i>Plagiochila martiana</i> (Nees) Lindenb.	9	Sombra
<i>Plagiochila montagnei</i> Nees	13	Sombra
<i>Plagiochila patentissima</i> Lindenb.	2	Sombra
<i>Plagiochila raddiana</i> Lindenb.	6	Sombra
<i>Plagiochila rutilans</i> Lindenb.	1	Sombra
<i>Plagiochila simplex</i> (Sw.) Lindenb.	1	Sombra
<i>Plagiochila wettsteiniana</i> S.W. Arnell	1	Sombra
Porellaceae (1/1)		
<i>Porella swartziana</i> (Weber) Trevis.	1	Sombra
Radulaceae (1/8)		
<i>Radula angulata</i> Steph.	1	Sombra
<i>Radula decora</i> Gottsche ex Steph.	1	Sombra
<i>Radula flaccida</i> Lindenb. & Gottsche	2	Sombra
<i>Radula javanica</i> Gottsche	2	Sombra
<i>Radula kegelii</i> Gottsche ex Steph.	3	Sombra
<i>Radula ligula</i> Steph.	1	Sombra
<i>Radula recubans</i> Taylor	5	Sombra
<i>Radula tenera</i> Mitt. ex Steph.	1	Sombra
Ricciaceae (1/7)		
<i>Riccia australis</i> Steph.	1	Sol
<i>Riccia membranacea</i> Gottsche & Lindenb.	2	Sol
<i>Riccia plano-biconvexa</i> Steph.	2	Sol
<i>Riccia squamata</i> Nees	1	Sol
<i>Riccia stenophylla</i> Spruce	3	Sol

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Riccia subdepilata</i> Jovet-Ast	1	Sol
<i>Riccia vitalii</i> Jovet-Ast	2	Sol
BRYACEAE		
Archidiaceae (1/1)		
<i>Archidium ohioense</i> Schimp. ex Müll. Hal.	3	Sol
Bartramiaceae (1/1)		
<i>Philonotis uncinata</i> Brid.	9	Generalista
Brachytheciaceae (4/6)		
<i>Brachythecium ruderae</i> (Brid.) W.R.Buck	1	Generalista
<i>Meteoridium remotifolium</i> (Müll.Hal.) Manuel	7	Generalista
<i>Squamidium brasiliense</i> Broth.	3	Sombra
<i>Squamidium leucotrichum</i> (Taylor) Broth.	7	Sombra
<i>Squamidium nigricans</i> (Hook.) Broth.	3	Sombra
<i>Zelometeorium patulum</i> (Hedw.) Manuel	7	Generalista
Bruchiaceae (1/1)		
<i>Trematodon longicollis</i> Michx.	1	Sol
Bryaceae (3/16)		
<i>Brachymerium exile</i> (Dozy & Molk.) Spence & H.P. Ramsay	1	Generalista
<i>Brachymerium klotzschii</i> (Schwägr) Paris	1	Generalista
<i>Brachymerium morasicum</i> Besch.	1	Sombra
<i>Bryum argenteum</i> Broth.	5	Generalista
<i>Bryum billardieri</i> (Schwägr.) Spence	6	Generalista
<i>Bryum capillare</i> (Hedw.) Pedersen	1	Generalista
<i>Bryum coronatum</i> Schwägr	3	Generalista
<i>Bryum densifolium</i> (Brid.) Ochyra	6	Sombra
<i>Bryum mildeanum</i> Jur. Verh.	1	Generalista
<i>Bryum pabstianum</i> Müll. Hal.	1	
<i>Bryum pseudocapillare</i> (Besch.) Ochyra	1	Generalista
<i>Bryum radiculosum</i> (Brid.) J.R.Spence & H.P.Ramsay	1	Generalista
<i>Rhodobryum beyrichianum</i> (Hornsch.) Müll. Hal.	5	Sombra
<i>Rhodobryum roseolum</i> Müll. Hal.	2	Sombra
<i>Rhodobryum roseum</i> (Hedw.) Limpr.	3	Sombra
<i>Rhodobryum subverticillatum</i> Broth.	1	Sombra
Calymperaceae (4/19)		
<i>Calymperes afzelii</i> Sw.	15	Generalista
<i>Calymperes erosum</i> Müll. Hal.	3	Generalista
<i>Calymperes levyanum</i> Besch.	1	Generalista
<i>Calymperes lonchophyllum</i> Schwägr.	7	Generalista
<i>Calymperes palisotii</i> Schwägr.	18	Generalista
<i>Calymperes tenerum</i> Müll. Hal.	3	Sombra
<i>Leucophanes molleri</i> Müll. Hal.	3	Sombra
<i>Octoblepharum albidum</i> Hedw.	22	Generalista
<i>Octoblepharum pulvinatum</i> (Dozy & Molk.) Mitt.	5	Sombra
<i>Octoblepharum stramineum</i> Mitt.	1	Generalista
<i>Syrrhopodon africanus</i> (Mitten) Paris spp. <i>graminicola</i> (R. S. Williams) Reese	5	Sol
<i>Syrrhopodon brasiliensis</i> W.D.Reese *	1	Generalista
<i>Syrrhopodon cryptocarpus</i> Dozy & Molk.	2	Sombra
<i>Syrrhopodon gaudichaudii</i> Mont.	1	Generalista
<i>Syrrhopodon incompletus</i> Schwägr.	14	Sombra
<i>Syrrhopodon ligulatus</i> Mont.	10	Sombra
<i>Syrrhopodon parasiticus</i> (Brid.) Besch.	12	Sol
<i>Syrrhopodon prolifer</i> Schwägr.	9	Generalista
<i>Syrrhopodon rigidus</i> Hook. & Grev.	1	Sombra
Cryphaeaceae (1/1)		
<i>Schoenobryum concavifolium</i> (Griff.) Gangulee	4	Sol
Daltoniaceae (1/2)		

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Daltonia brasiliensis</i> Mitt.	1	Sombra
<i>Daltonia longifolia</i> Taylor	1	Sombra
Dicranaceae (3/5)		
<i>Dicranella hilariana</i> (Mont.) Mitt.	6	Sol
<i>Holomitrium arboreum</i> Mitt.	3	Generalista
<i>Holomitrium crispulum</i> Mart.	2	Generalista
<i>Leucoloma cruegerianum</i> (Müll.Hal.) A.Jaeger	3	Sombra
<i>Leucoloma serrulatum</i> Brid.	8	Sombra
Entodontaceae (2/2)		
<i>Entodon beyrichii</i> (Schwägr.) Müll.Hal.	1	Sombra
<i>Erythrodontium longisetum</i> (Hook.) Paris	1	Generalista
Fabroniaceae (1/1)		
<i>Fabronia ciliaris</i> (Brid.) Brid.	4	Generalista
Fissidentaceae (1/24)		
<i>Fissidens anguste-limbatus</i> Mitt.	2	Sombra
<i>Fissidens asplenioides</i> Hedw.	2	Generalista
<i>Fissidens elegans</i> Brid.	7	Generalista
<i>Fissidens flabellatus</i> Hornsch. *	2	Sombra
<i>Fissidens flaccidus</i> Mitt.	3	Sombra
<i>Fissidens goyazensis</i> Broth.	1	Sombra
<i>Fissidens guianensis</i> Mont.	11	Generalista
<i>Fissidens hornschurchii</i> Mont.	6	Generalista
<i>Fissidens inaequalis</i> Mitt.	4	Sombra
<i>Fissidens juruensis</i> Broth.	1	Sombra
<i>Fissidens lagenarius</i> Mitt.	1	Sombra
<i>Fissidens ornatus</i> Herzog	1	Sombra
<i>Fissidens palmatus</i> Hedw.	3	Sombra
<i>Fissidens pellucidus</i> Hornsch.	7	Generalista
<i>Fissidens perfalcatus</i> Broth.	1	Sombra
<i>Fissidens prionodes</i> Mont.	8	Generalista
<i>Fissidens radicans</i> Mont.	7	Generalista
<i>Fissidens ramicola</i> Broth.	1	Generalista
<i>Fissidens scariosus</i> Mitt.	5	Sombra
<i>Fissidens serratus</i> var. <i>serratus</i>	3	Sombra
<i>Fissidens submarginatus</i> Bruch	4	Sombra
<i>Fissidens subulatus</i> Mitt.	1	Sombra
<i>Fissidens weirii</i> Mitt.	1	Sombra
<i>Fissidens zollingeri</i> Mont.	13	Generalista
Helicophyllaceae (1/1)		
<i>Helicophyllum torquatum</i> (Hook.) Brid.	2	-
Hookeriaceae (1/1)		
<i>Crossomitrium patrisiae</i> (Brid.) Müll. Hal.	12	Generalista
Hypnaceae (5/6)		
<i>Chryso-hypnum diminutivum</i> (Hampe) W.R.Buck	3	Sol
<i>Chryso-hypnum elegantulum</i> (Hook.) Hampe	1	Generalista
<i>Ectropothecium leptochaeton</i> (Schwägr.) W.R. Buck	1	Generalista
<i>Mittenothamnium reptans</i> (Hedw.) Cardot	1	Generalista
<i>Rhacopilopsis trinitensis</i> (Müll.Hal.) E.Britton & Dixon	2	Generalista
<i>Vesicularia vesicularis</i> (Schwägr.) Broth.	8	Generalista
Lembophyllaceae (2/3)		
<i>Pilotrichella flexilis</i> (Hedw.) Ångström	1	Sombra
<i>Orthostichella rigida</i> (Müll.Hal.) B.H.Allen & Magill	1	Sombra
<i>Orthostichella versicolor</i> (Müll.Hal.) B.H.Allen & W.R.Buck	3	Sombra
Leskeaceae (1/1)		
<i>Schwetschkea fabronioides</i> (Welw. & Duby) Broth.	1	-
Leucobryaceae (4/11)		
<i>Bryohumbertia filifolia</i> (Hornsch.) J.-P. Frahm	5	Sol
<i>Campylopus gardneri</i> (Müll.Hal.) Mitt.	1	Sol

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Campylopus pilifer</i> Brid.	2	Sol
<i>Campylopus richardii</i> Brid.	1	Sol
<i>Campylopus savannarum</i> (Müll.Hal.) Mitt.	5	Sol
<i>Campylopus surinamensis</i> Müll. Hal.	1	Sol
<i>Leucobryum albicans</i> (Schwägr.) Lindb.	1	Sombra
<i>Leucobryum giganteum</i> Müll. Hal.	3	Sombra
<i>Leucobryum martianum</i> (Hornsch.) Hampe ex Müll. Hal.	5	Sombra
<i>Ochrobryum gardneri</i> (Müll.Hal.) Lindb.	5	Sol
<i>Ochrobryum subulatum</i> Hampe	2	Generalista
Leucomiaceae (1/1)		
<i>Leucomium strumosum</i> (Hornsch.) Mitt.	4	Sombra
Meteoriaceae (2/3)		
<i>Floribundaria flaccida</i> (Mitt.) Broth.	4	Sombra
<i>Meteorium deppei</i> (Hornsch.) Mitt.	4	Sombra
<i>Meteorium nigrescens</i> (Hedw.) Dozy & Molk.	3	Sombra
Neckeraceae (3/6)		
<i>Homaliodendron piniforme</i> (Brid.) Enroth	1	Sombra
<i>Neckeropsis disticha</i> (Hedw.) Kindb.	3	Sombra
<i>Neckeropsis undulata</i> (Hedw.) Reichenbach	8	Sombra
<i>Porotrichum korthalsianum</i> (Dozy & Molk.) Mitt.	2	Sombra
<i>Porotrichum longirostre</i> (Hook.) Mitt.	3	Sombra
<i>Porotrichum mutabile</i> Hampe	4	Sombra
Orthodontiaceae (1/1)		
<i>Orthodontium pellucens</i> (Hook.) B.S.G.	1	-
Orthotrichaceae (4/15)		
<i>Groutiella apiculata</i> (Hook.) H.A.Crum & Steere	14	Sol
<i>Groutiella tomentosa</i> (Hornsch.) Wijk & Margad.	9	Sol
<i>Groutiella tumidula</i> (Mitt.) Vitt	1	Sol
<i>Macrocoma tenuis</i> subsp. <i>sullivantii</i> (Müll.Hal.) Vitt	1	Sol
<i>Macromitrium cirrosum</i> (Hedw.) Brid.	3	Sol
<i>Macromitrium contextum</i> hampe	1	Sol
<i>Macromitrium longifolium</i> (Hook.) Brid.	1	Sol
<i>Macromitrium pellucidum</i> Mitt.	1	Sol
<i>Macromitrium podocarpum</i> Müll. Hal.	1	Sol
<i>Macromitrium punctatum</i> (Hook. & Grev.) Brid.	3	Sol
<i>Macromitrium richardii</i> Schwägr.	3	Sol
<i>Macromitrium stellulatum</i> (Hornsch.) Brid.	1	Sol
<i>Schlotheimia jamesonii</i> (Arn.) Brid.	2	Sol
<i>Schlotheimia rugifolia</i> (Hook.) Schwägr.	4	Sol
<i>Schlotheimia torquata</i> (Hedw.) Brid.	1	Sol
Phyllogoniaceae (1/2)		
<i>Phyllogonium fulgens</i> (Hedw.) Brid.	1	Sombra
<i>Phyllogonium viride</i> Brid.	5	Sombra
Pilotrichaceae (7/12)		
<i>Callicostella pallida</i> (Hornsch.) Angstr.	14	Generalista
<i>Callicostella rufescens</i> (Mitt.) A. Jaeger	3	Sombra
<i>Cyclodictyon olfersianum</i> (Hornsch.) Kuntze	1	Sombra
<i>Hypnella pallescens</i> (Hook.) A. Jaeger	1	Sombra
<i>Lepidopilidium brevisetum</i> (Hampe) Broth.	1	Generalista
<i>Lepidopilidium plebejum</i> (Müll. Hal.) Sehnem	3	Generalista
<i>Lepidopilum muelleri</i> (Hampe) Spruce	2	Generalista
<i>Lepidopilum scabrisetum</i> (Schwägr.) Steere	3	Sombra
<i>Lepidopilum surinamense</i> Müll. Hal.	1	Sombra
<i>Pilotrichum bipinnatum</i> (Schwägr.) Brid.	1	Sombra
<i>Pilotrichum evanescens</i> (Müll.Hal.) Müll.Hal.	6	Sombra
<i>Trachyxiphium guadalupense</i> (Spreng.) W.R. Buck	1	Sombra
Pottiaceae (7/8)		
<i>Barbula indica</i> (Hook.) Spreng.	2	Sol

Espécie	Total	Grupo funcional
<i>Hyophiladelphus agrarius</i> (Hedw.) R.H. Zander	3	Sol
<i>Hyophyla involuta</i> (Hook.) A.Jaeger	8	Sol
<i>Micromitrium thelephorotheicum</i> (Florsch.) Crosby	1	Sol
<i>Splachnobryum obtusum</i> (Brid.) Müll. Hal.	1	Sombra
<i>Tortula muralis</i> Hedw.	1	Sol
<i>Trichostomum brachydontium</i> Bruch	2	Sol
<i>Weissia breutelii</i> Müll. Hal.	1	Sol
Pterobryaceae (6/7)		
<i>Calypothecium duplicatum</i> (Schwägr.) Broth.	1	Sombra
<i>Calypothecium planifrons</i> (Renauld & Paris) Argent	1	Sombra
<i>Henicodium geniculatum</i> (Mitt.) W.R.Buck	13	Generalista
<i>Hildebrandtiella guyanensis</i> (Mont.) W.R. Buck	1	Sombra
<i>Jaegerina scariosa</i> (Lorentz) Arzeni	8	Generalista
<i>Orthostichidium quadrangulare</i> (Schwägr.) B.H.Allen & Magill	1	-
<i>Orthostichopsis tetragona</i> (Hedw.) Broth.	1	Sombra
Pylaisiadelphaceae (4/7)		
<i>Isopterygium subbrevisetum</i> (Hampe) Broth.	6	Generalista
<i>Isopterygium tenerifolium</i> Mitt.	6	Generalista
<i>Isopterygium tenerum</i> (Sw.) Mitt.	18	Generalista
<i>Pterogonidium pulchellum</i> (Hook.) Müll.Hal.	4	Generalista
<i>Taxithelium planum</i> (Brid.) Mitt.	18	Generalista
<i>Taxithelium pluripunctatum</i> (Renauld & Cardot) Broth.	5	Sombra
<i>Wijkia flagellifera</i> (Broth.) H.A.Crum	1	Generalista
Racopilaceae (1/1)		
<i>Racopilum tomentosum</i> (Hedw.) Brid.	10	Generalista
Rutenbergiaceae (1/1)		
<i>Pseudocryphaea domingensis</i> E. Britton ex Broth.	2	Generalista
Sematophyllaceae (7/17)		
<i>Acroporium caespitosum</i> (Hedw.) W.R.Buck	1	Sombra
<i>Acroporium estrellae</i> (Müll. Hal.) W. R. Buck & Schäf.-Verw.	4	Sombra
<i>Acroporium longirostre</i> (Brid.) W.R.Buck	1	Generalista
<i>Aptychopsis subpungifolia</i> (Broth.) Broth. *	1	Generalista
<i>Donnellia commutata</i> (Müll. Hal.) W.R. Buck	4	Generalista
<i>Meiothecium revolutum</i> Mitt.	4	Generalista
<i>Rhynchostegium conchophyllum</i> A.Jaeger	2	Sombra
<i>Sematophyllum adnatum</i> (Michx.) Brid.	3	Generalista
<i>Sematophyllum beyrichii</i> (Hornsch.) Broth.	2	Generalista
<i>Sematophyllum galipense</i> (Müll.Hal.) Mitt.	2	Generalista
<i>Sematophyllum subpinnatum</i> (Brid.) E.Britton	17	Generalista
<i>Sematophyllum subsimplex</i> (Hedw.) Mitt.	21	Generalista
<i>Sematophyllum swartzii</i> (Schwägr) Welch & H. A. Crum	1	Generalista
<i>Trichosteleum glaziovii</i> W.R.Buck *	1	Generalista
<i>Trichosteleum papillosum</i> (Hornsch.) A.Jaeger	11	Generalista
<i>Trichosteleum sentosum</i> (Sull.) A. Jaeger	2	Generalista
<i>Trichosteleum vincentinum</i> (Mitt.) A.Jaeger	2	Generalista
Stereophyllaceae (3/4)		
<i>Entodontopsis leucostega</i> (Brid.) W.R.Buck & Ireland	8	Generalista
<i>Entodontopsis nitens</i> (Mitt.) W.R.Buck & Ireland	6	Generalista
<i>Pilosium chlorophyllum</i> (Hornsch.) Müll. Hal.	13	Generalista
<i>Stereophyllum radiculosum</i> (Hook.) Mitt.	1	Generalista
Thuidiaceae (2/5)		
<i>Pelekium involvens</i> (Hedw.) Touw	1	Generalista
<i>Pelekium scabrosulum</i> (Mitt.) Touw	4	Sombra
<i>Pelekium schistocalyx</i> (Müll. Hal.) Touw	3	Sombra
<i>Thuidium delicatulum</i> (Hedw.) Bruch & Schimp.	1	Sombra
<i>Thuidium tomentosum</i> Schimp. ex Besch.	2	Generalista

Espécie	Total	Grupo funcional
ANTOCEROTHOPHYTA		
Notothyladaceae (2/3)		
<i>Notothylas orbicularis</i> (Schwein.) Sull.	2	Sombra
<i>Notothylas vitalii</i> Udar & Singh	4	Sombra
<i>Phaeoceros laevis</i> (L.) Prosk.	3	Sombra

Manuscrito IV

Is the current network system of protected areas in the Atlantic Forest effective in conserving key species of bryophytes?

Submetido ao periódico

Biological Conservation

para publicação

**IS THE CURRENT NETWORK SYSTEM OF PROTECTED AREAS IN THE
ATLANTIC FOREST EFFECTIVE IN CONSERVING KEY SPECIES OF
BRYOPHYTES?**

Authors:

Mércia P.P. Silva^{a,*}; Luciana H.Y. Kamino^b; Kátia C. Pôrto^a

Affiliations:

^a Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Laboratório Biologia de Briófitas
Av. Prof. Moraes Rego, 1235
Cidade Universitária, Recife, PE, Brazil,
CEP: 50670-901
merciapps@yahoo.com.br
kcntiporto@gmail.com

^b Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Av. Antônio Carlos, 6627
Pampulha, Belo Horizonte, MG, Brazil,
CEP: 31270-901
lucianakamino@gmail.com

* Corresponding author
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Biológicas
Departamento de Botânica
Laboratório Biologia de Briófitas
Av. Prof. Moraes Rego, 1235
Cidade Universitária, Recife, PE, Brazil,
CEP: 50670-901
merciapps@yahoo.com.br
005 – 81 – 2126 – 8941

For submission to: *Biological Conservation*

Abstract

The Brazilian Atlantic Forest is a hotspot for global conservation, sheltering 1,341 species of bryophytes. Currently, this domain is highly fragmented and threatened; and only 9% of its territory is designated as protected areas. Although bryophytes are mostly bio-indicators, they are often overlooked in conservation planning and selection of Conservation Units. We aimed to combine distribution data of ten bio-indicators and/or endemic bryophyte species (key species) and of protected areas in the Atlantic Forest of Brazil, using models of species' potential distribution, in order to assess the effectiveness and representativeness of Conservation Units in the species' distribution. Data from online herbarium collections, literature and sampling were used to estimate the potential distribution of the species, based on the MAXENT method. Nine species had the habitat suitability of the models explained by Mean Diurnal Temperature Range. The consensus map of high environmental suitability (> 50%) for all species showed significant gaps in knowledge of their distribution and it was possible to recognize three centers of potential distribution: one in the Northeast, one Central and another one in the Southeast. The number and effectiveness of Conservation Units with high environmental suitability for bryophytes was less than adequate for the efficient conservation of the species. These areas were overlapped with 83 Conservation Units, 57 of Full Protection and 26 of Sustainable Use, covering only 27% of the total potentially suitable area. The Central corridor was the region with the highest environmental suitability and fewer Conservation Units in the Atlantic Forest, and is therefore a priority for conducting inventories and creating new reserves.

Key Words: 1) Brazil; 2) Conservation Units; 3) Ecological niche modeling; 4) Maximum entropy algorithm; 5) Tropical Forest

1. Introduction

The protection of areas is a key strategy for nature conservation (Butchart et al. 2012). As a result, up to now, over 150 000 protected areas - created and managed for long term nature conservation - have been designated, covering 12.9% of earth's land surface, excluding Antarctica (Jenkins and Joppa 2009).

In general, the selection and definition of areas for conservation and management has been carried out using systematic approaches that seek to achieve an efficient allocation of scarce resources available for biodiversity protection (Margules and Pressey 2010). The extensive literature on this subject primarily focusses on the optimization of the number, size, location and costs of networks of nature reserves, in order to ensure that they include the largest possible biodiversity within the smallest protected area and finally to identify priority areas for conservation (Rodrigues et al. 2004; Zhang et al. 2012).

In this context, species' potential distribution models have enriched this discussion due to the fact they include environmental suitability, which has shown a correlation with populations' persistence, and which is an important factor to consider in the design of networks of protected areas (Araújo et al. 2002). Associated with species' distribution modeling, gap analyses are interesting from a conservation perspective. This analysis is based on overlapping the extent of protected areas with the distribution of interesting species for conservation in order to provide a management planning approach. Based on this, areas with high environmental suitability for the occurrence of a species, but without a nature reserve for the species, are identified as gaps in protection coverage. Several studies using gap analyses on a regional (Scott et

al. 2001) and a global (Rodrigues et al. 2004) scale revealed that biodiversity protection afforded by the current extent of networks of protected areas are inadequate.

In Brazil, like many other countries, several Conservation Units (UCs) are being created, aimed at the conservation of not only biotic, but also abiotic and cultural elements of these same natural spaces (Law 9.985 of July 18th 2000, establishing the National System of Nature Conservation Units - SNUC). These UCs are divided into two groups: those with Full Protection and those for Sustainable Use. The main objective of the first category is to preserve nature, with the indirect use of its natural resources only being allowed for educational, scientific and recreational purposes, whilst the UCs of Sustainable Use combine nature conservation and the sustainability of its natural resources (Menis and Cunha 2011).

Currently, there are 478 federal and state UCs under full protection, 37 019 697ha in total (4.3% of the country's area – MMA 2010), and 436 UCs under sustainable use, with 74 592 691ha (8.7%) (ICMBio 2012). Other categories of protected areas in Brazil include Private Natural Heritage Reserves (RPPNs), usually small, but important for the conservation of endangered species and those with very restricted distribution. In addition, the indigenous reserves are increasingly recognized as vital for the conservation of biodiversity due to their great expanse. Although in Brazil a large number of protected areas have been created in the last two decades, major challenges still remain, not only in their administration and management, but also in protecting the reserves themselves, since Brazil still continues with its ambitious development programs for energy, infrastructure, industry and agriculture (Rylands and Brandon 2005).

Approximately 650 (65%) Brazilian UCs (excluding RPPNs and indigenous reserves) are located in the Atlantic Forest Domain, which represents only 9% of the total extent of Domains (SNUC 2011). This forest is one of the global priorities for the conservation of biological diversity: a hotspot of biodiversity - areas that shelter at least 1.500 endemic species, but have lost at least 70% of their original area (Mittermeier et al. 2004). More precisely, the Atlantic Forest shelters 8.599 endemic species, amongst which are plants, amphibians, reptiles, birds and mammals (Mittermeier et al. 2005). Despite the exuberant diversity, this domain is extremely endangered and most of the remaining forest fragments are small (<100ha), highly disturbed, isolated, under anthropogenic threat and located in land areas which are densely populated and cultivated (Ranta et al. 1998; Viana and Pinheiro 1998; Tabarelli et al. 2005, 2012).

The Atlantic Forest is the Domain with greatest bryophyte diversity in Brazil, with 1.341 species (88%) (Gradstein et al. 2001; Costa et al. 2011, 2012). However, knowledge of the bryophytes in the country is still incomplete and only concentrated in some specific regions (Silva and Pôrto unpublished results). This situation is more serious considering the fact that bryophytes, plants which are included in most conservation indicators due to a number of anatomical and ecophysiological factors (Glime 2012), are often overlooked in conservation planning and in the selection of priority areas (Vanderpoorten and Hallinback 2009).

Recently, for this group of plants, Barros et al. (2012) carried out a gap analysis for some species of the genus *Metzgeria* (Marchantiophyta) in the Atlantic Forest and highlighted areas in which there are significant gaps of knowledge and protection.

Supplementing the study of Barros et al. (2012), we combined distribution data from different genera of key species of bryophytes with protected areas in the Atlantic Forest

of Brazil, using species' potential distribution modelling. We aimed to provide a gap analysis, and thereby assess the effectiveness of protected areas in representing bryophyte diversity.

2. Material and methods

2.1. Species' selection and data collection

Ten species of bryophytes, five Bryophyta and five Marchantiophyta, were selected for the study (Table 1). To avoid problems of erroneous identification, all species have a well studied and established taxonomy. Moreover, they were considered key species since they are classified as bio-indicators of environmental quality, i.e, shaded environments with high humidity specialists or endemic to the Atlantic Forest, or endemic to Brazil (Gradstein et al. 2001; Gradstein and Costa 2003; Alvarenga et al. 2008, 2009, 2010; Pôrto and Silva 2009, 2010; Oliveira et al. 2011).

At least ten points of occurrence of each species (at locality level, e.g. UCs) were compiled from three sources:

1. A literature search in catalogs of bryophyte distribution in Brazil (Yano 1984, 1989, 1995, 2004, 2006, 2008, 2010) and articles during the period from 1985 to 2010;
2. Searching the database of the national Herbaria network available at the speciesLink website (available online: <http://www.splink.org.br/>);
3. Sampling during the period from 2009 to 2010.

Locations without geographic coordinates were geo-referenced using the online tools GEOLOC from the speciesLink website and GEOnet Names Server (<http://earth-info.nga.mil/gns/html>). Specimens with missing localities information were omitted

from the analysis. We compiled 205 records of occurrence of all bryophyte species studied.

2.2. Study area and environmental variables

To model the distribution of species we delineated the study area as the Neotropical (with a spatial resolution of about 20 km²) and then we focused on the Brazilian Atlantic Rain Forest Domain.

We compiled bioclimatic (source: Worldclim <http://www.worldclim.org/>) and topographic variables (source: Consultative Group on International Agricultural Research - CGIAR - <http://www.cgiar-csi.org/data/> and Hidro1K - Elevation Derivative Database <http://eros.usgs.gov/>) and potential evapotranspiration and aridity indexes (source: Global Potential Evapo-Transpiration – Global-PET – Geospatial Dataset), which came to 24 environmental parameters in total.

To reduce the number of predictor variables, we used an approach based on the Pearson correlation coefficient (r_s) in ENMTools 1.3 software. The result is a matrix of pair-to-pair variable comparisons, where the variables were considered correlated when $|r_s| > 0.7$ (Zuur et al. 2007). After the elimination of redundancy between the environmental layers, nine variables were selected for modeling: 1) Mean diurnal temperature range [mean of monthly (max temperature - min temperature)]; 2) Isothermality (oscillation of the day-night temperature compared to summer-winter temperature); 3) Precipitation seasonality (coefficient of variation); 4) Precipitation of warmest quarter; 5) Precipitation of coldest quarter; 6) Altitude (SRTM); 7) Aridity index (mean annual precipitation / mean annual potential evapotranspiration); 8) Slope and 9) Aspect of the terrain.

The selected variables were resampled by calculating the values of the pixels of the layers, using the pixels ‘nearest neighbor’, which is the most suitable method for continuous data (Peterson et al. 2011; Barros et al. 2012). This technique allowed us to adapt the original pixel size for the accuracy of biotic data used, which was geo-referenced for each location, establishing a spatial resolution of 20 km².

2.3. Model of species’ potential distribution

Maxent – Maximum entropy modelling (Phillips et al. 2004; Phillips et al. 2006) – was the algorithm used to model distribution of the species, since it is well established in literature, in particular for small sampling (Elith et al. 2006; Pearson et al. 2007).

Maxent is one of the most commonly used methods for inferring species’ distributions and environmental tolerances from occurrence data (Phillips et al. 2006). It uses presence-only data to estimate a set of functions that relate environmental variables and environmental suitability in order to approximate the species’ niche and potential geographic distribution (Phillips et al. 2006). The models were created on Maxent 3.3.3a software.

The models were validated using the bootstrap method, inspecting the AUC value (area under curve) and the statistical significance was tested by binomial proportion.

The threshold applied for environmental suitability was ‘10 percentile training presence’ (Liu et al. 2005), which assumes that 10% of the records, with the lowest values in this index, are discarded. This threshold was adopted as an extra precaution due to possible inaccuracy in geo-referenced data from different sources (Barros et al. 2012).

After the models were run and validated, we performed an intersection of the maps of high environmental suitability for the occurrence of the studied species (> 50% of environmental suitability) and the maps of the Brazilian UCs (MMA 2010). Areas with the greatest potential presence of bryophyte species not superimposed on Ucs were considered areas of gaps in protection.

3. Results and discussion

The bryophyte species' potential distribution modeling showed a difference between real and potential distribution in the Atlantic Forest, with many areas predicted as environmentally suitable not currently known to harbor the species (Appendix A-J). Therefore, the distribution of sites suitable for most species was greater than their actual distribution. This result might show significant gaps in sampling effort and knowledge of bryophyte distribution in the sites without records of the species studied, which should be critically explored for the registration of new populations of the species in question.

Among the bryophytes studied, six showed interesting distribution patterns along the Atlantic Forest and therefore deserve more attention with respect to their conservation. Two species have restricted distribution, occurring in rare sites: *Hypopterygium tamarisci* (Hedw.) Brid. and *Metzgeria brasiliensis* Schiffn., while four showed a wide geographic range within the study area but with few sparse populations: *Bryopteris filicina* (Sw.) Nees, *Meteorium deppei* (ex Hornsch. Müll. Hal.) Mitt., *Neckeropsis undulata* (Hedw.) Reichardt. and *Phyllogonium viride* Brid. These species are all evaluated as indicators of forests with high humidity and shaded environments

(Sharp et al. 2004; Costa 2008; Costa et al. 2012) and should be considered in management plans and in effective conservation strategies in the Atlantic Forest.

The accuracy of the models for all species was high, with AUC ranging between 0.955-0.992, and all statistically significant (Table 2). Of the 10 species studied, nine had the environmental suitability of the models explained by the mean diurnal temperature range; contributions ranged from 20 - 60% of variance explained (Figure 1). This result corroborates the fact that most bryophytes are restricted to limited conditions of temperature, mainly due to lack of protective cell cuticles, enabling solutions and gases to enter freely into the tissue (Proctor 1990). Moreover, it can provide important insights into the efficiency of the group in monitoring global climate change. The bryophytes represent a largely untapped and extremely viable resource in monitoring the effects of global warming on the environment, having been compared to "canaries in a coal mine" (Tuba et al. 2011). In a pioneering experimental study in the Tropics, Jácome et al. (2011) investigated the impact of climate change on simulated epiphytic bryophytes, using a translocation approach. The authors demonstrated that exposure to a temperature increase of 1.5 ° C had a measurable effect on the community structure over a period of two years. Thus, bryophytes might help answer questions on how fast climate change affects species and ecosystems, which must be taken into account in further studies (Gignac 2001).

The resulting map from the overlay of the environmental suitability of the species showed a reasonable extension of the Atlantic Forest Domain (ca. 120 000 km² - 9%) as favorable for their establishment and development. However, this area was reduced to more than half when sites with >50% of environmental suitability (ca. 57 000 km²) were analysed. Nevertheless, it was possible to observe three potential

distribution centers: in the Northeast, in the Southeast and in one portion of a central region between them (Figure 2). These regions correspond to those described by Prance (1982, 1987) as endemism centers: the Pernambuco Endemism Center, the Rio de Janeiro - São Paulo Endemism Center and the Bahia - Espírito Santo Endemism Center, respectively. These regions are of fundamental importance to many biological groups due to their endemic species, most of them threatened (Casteleti and Silva 2005). As a result of this, these areas were designated as biodiversity corridors (large regional planning units which comprise a mosaic of land uses and key areas for conservation, aiming at biological exchange between them) in the Atlantic Forest hotspot: the Northeast biodiversity corridor, the Serra do Mar corridor (Southeast) and the Central Corridor (Bahia - Espírito Santo).

With regards to bryophytes, these Endemism Centers were confirmed as highly relevant to the group. However, the map with the greatest levels of environmental suitability for all species showed areas of the Southeast and the Central corridors as more favorable to the establishment and development of the group, whilst the Northeast corridor had only a few sites. This result is explained by the large area of forest remnants in the Southeast and in the Central corridors of Atlantic Forest (Casteleti and Silva 2005). While the Northeast is highly fragmented, with only 2% of the original forest cover (Tabarelli et al. 2006), the Serra do Mar Corridor, for example, covers one of the few areas of continuous Atlantic Forest (Silva and Casteleti 2005).

Ribeiro et al. (2009) quantified how much Atlantic Forest remains in Brazil and determined the spatial distribution of the remnants and found that the largest fragment of this domain is located in the Serra do Mar, mainly along the coastal mountains of the state of São Paulo. This isolated remnant has 1 109 546ha of continuous forest, which

represents 7% of what remains. The second and third largest fragments are also located in the Serra do Mar corridor, and they are 508 571 ha and 382 422 ha, respectively. Altogether, the three fragments totaled over 2 million hectares, i.e., more than 13% of the remaining forest. Moreover, the same authors showed that the Serra do Mar corridor was the best preserved bio-geographic region studied, with 36.5% of its original vegetation cover, followed by the Central corridor, with 17.7%. On the other hand, the Northeast corridor had only 4.7% of forest cover. In fact, a recent study on bryophyte distribution in Brazil showed a great diversity of indices for the Southeast Atlantic Forest, which was attributed to the great altitudinal variation and habitat suitability in the region, and consequent greater variety of ecological niches for species (Silva and Pôrto unpublished results).

Furthermore, bryophyte species distribution might be compromised by habitat loss. The Atlantic Forest is one of the most threatened domains in the world (Rede de ONGs da Mata Atlântica 2006), 7% - 16% of its original area having been reduced (Rede de ONGs da Mata Atlântica 2006; Ribeiro et al. 2009), depending on the author in question. According to the SOS Atlantic Forest Foundation (2011), the rate of deforestation in the period between 2002 to 2010 was 21 380 ha. This inexorable loss of habitat reflects the current landscape of this forest, with small fragments of irregular shape, isolated and inserted into an inhospitable matrix (Ranta et al. 1998; Viana and Pinheiro 1998; Tabarelli et al. 2005). For example, estimates for an area of 4.000 km² in the Northeast region, in the period from 1989 to 2000, showed that there was a loss of 10% in coverage, while 5% of the remnants disappeared (Tabarelli et al. 2006).

Paradoxically, the Atlantic Forest remains relatively unprotected. Although a significant number of UCs are present in this domain, most of these are small and for

Sustainable Use (74%), without control or a rigid management plan for natural resources (Rylands and Brandon 2005). In our study, 83 UCs overlapped in areas with high environmental suitability ($> 50\%$) for bryophytes, totaling 15 300 km² (27%) (Figure 3). Of all the UCs, 57 were under Full Protection and 26 for Sustainable Use. The Central corridor was the area with the highest environmental suitability and fewest protected areas. The overall extent of the UCs was unrepresentative and, although there has been a predominance of Full Protection UCs, these constituted a smaller area compared to those for Sustainable Use.

Therefore, new protected areas need to be created in the Northeast and the Central corridors, particularly in areas greater than 300ha, a size that can meet the needs of habitat for bryophytes (Alvarenga et al. 2009). In the Serra do Mar corridor, it will be necessary to strengthen the system of protected areas and restore and maintain connectivity through biological corridors.

Moreover, UCs designed for full protection of biodiversity should transform unmanaged areas into well-managed entities that conserve biodiversity effectively. On the other hand, it is up to the UCs of Sustainable Use to face the biggest challenge of defining what can be used, who can use it and how much use is sustainable. The UCs system still faces the challenge of working with government institutions that compete politically (Rylands and Brandon, 2005). Indeed, human and financial resources should be expanded to increase the efficiency of protected areas.

4. Conclusions

With this work, we draw a similar conclusion to that found by Barros et al. (2012), in that an efficient recovery of databases for use in modeling species' potential

distribution, followed by further analysis of species distribution, provide important information for the implementation of conservation procedures. Our results provided support for the fostering of conservation for the bryophytes studied, considering that most of them displayed restricted or sparse distribution and sensitivity to temperature variation, which may indicate susceptibility to climate change. Furthermore, significant gaps in knowledge distribution and in protection were identified in the Atlantic Forest, mainly in the Central and the Northeast corridors, suggesting these areas as priorities for conducting inventories and, after detailed studies to confirm the potencial distribution found, the creation of new reserves. The number and effectiveness of protected areas that harbor high environmental suitability for bryophytes was still less than adequate for the efficient conservation of the species.

Acknowledgements

The authors thank Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq [National Council for Scientific and Technological Development] and Fundação Grupo Boticário de Proteção À Natureza [Boticário Group Foundation for Nature Protection] for their financial support.

References

Alvarenga, L.D.P., Pôrto, K.C., Silva, M.P.P., 2009. Relations between regional–local habitat loss and metapopulation properties of epiphyllous bryophytes in the Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 41, 682-691.

- 355 Alvarenga, L.D.P., Pôrto, K.C., Oliveira, J.R.P.M., 2010. Habitat loss effects on spatial
356 distribution of epiphytic bryophytes in a Brazilian Atlantic forest. *Biodiversity*
357 and Conservation 19, 619-635.
- 358 Araújo, M.B., Williams, P.H., Fuller, R.J., 2002. Dynamics of extinction and the
359 selection of nature reserves. *Proceedings of the Royal Society of London Series B,*
360 *Biological Sciences* 269, 1971-1980.
- 361 Barros, F.S.M., Siqueira, M.F., Costa, D.P., 2012. Modeling the potential geographic
362 distribution of five species of *Metzgeria* Raddi in Brazil, aiming at their
363 conservation. *Bryologist* 115, 341-349.
- 364 Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W.,
365 Almond, R.E.A., Baillie, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter,
366 K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C.,
367 Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D.,
368 Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J-F, Leverington, F., Loh, J., McGeoch21,
369 M.A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M.H., Oldfield, T.E.E., Pauly, D.,
370 Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D.,
371 Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J-C, Watson, R., 2010.
372 *Global Biodiversity: indicators of recent declines. Science* 328, 1164-1168.
- 373 CBD, 2010. COP Decision X/2. Strategic plan for biodiversity 2011-2020. Available:
374 <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>. Accessed 5 January 2011.
- 375 Costa, D., 2008. Metzgeriaceae (Hepaticae). *Flora Neotropica Monograph* 102, 1-169.
- 376 Costa, D.P., Pôrto, K.C., Luizi-Ponzo, A.P., Ilkiu-Borges, A.L., Bastos, C.J.P., Câmara,
377 P.E.A.S., Peralta, D.F., Bôas-Bastos, S.B.V., Imbassahy, C.A.A., Henriques,
378 D.K., Gomes, H.C.S., Rocha, L.M., Santos, N.D., Siviero, T.S., Vaz-Imbassahy,

- 379 T.F., Churchill, S.P., 2011. Synopsis of the Brazilian moss flora: checklist,
380 distribution and conservation. *Nova Hedwigia* 93, 277-334.
- 381 Costa, D.P., Câmara, P.E.A.S., Pôrto, K.C., Luiz-Ponzo, A.P. & Ilkiu-Borges, A.L.
382 2012. Briófitas. Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de
383 Janeiro. Available: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB000006>.
- 384 Jácome, J., Gradstein, S.R., Kessler, M., 2011. Responses of epiphytic bryophyte
385 communities to simulated climate change, In *Bryophyte Ecology and Climate*
386 *Change*. eds Z. Tuba, N.G. Slack, L.R. Stark, pp. 36-54. Cambridge University
387 Press, Cambridge, UK.
- 388 Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans,
389 R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.J.,
390 Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton,
391 J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K.S., Scachetti-Pereira, R.,
392 Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N.E., 2006.
393 Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data.
394 *Ecography* 29, 129-151.
- 395 Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y, Yates, C.J., 2011. A statistical
396 explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43-57.
- 397 Fundação SOS Mata Atlântica, 2011. Atlas dos remanescentes florestais da Mata
398 Atlântica: período 2008-2010. Ministério da Ciência e Tecnologia, São Paulo.
- 399 Galindo-Leal, C.G., Câmara, I.D., 2006. Mata Atlântica Biodiversidade, Ameaças e
400 Perspectivas. Conservation International, Belo Horizonte.
- 401 Gignac, D.L., 2001 New frontiers in bryology and lichenology: bryophytes as indicators
402 of climate change. *Bryologist* 104, 410-420.

- 403 Glime, J.M., 2012. Bryophyte Ecology. Michigan Technological University. Available:
404 www.bryoecol.mtu.edu/. Accessed in August 2012.
- 405 Gradstein, S.R., Churchill, S.P., Salazar, A.N., 2001. Guide to the Bryophytes of
406 Tropical America. Memoirs of the New York Botanical Garden 86, 1-577.
- 407 ICMBio, 2012. Unidades de Conservação nos biomas. Available:
408 [http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-](http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros.html)
409 [conservacao/biomas-brasileiros.html](http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros.html).
- 410 Jenkins, C., Joppa, L.N. 2009. Expansion of the global protected area system.
411 Biological Conservation 142, 2166-2174.
- 412 Liu, C., Berry, P.M., Dawson, T.P., Pearson, R.G., 2005. Selecting thresholds of
413 occurrence in the prediction of species distributions. Ecography 28, 385-393.
- 414 Margules, C.R., Pressey, R.L., 2000. Systematic conservation planning. Nature 405,
415 243-253.
- 416 Menis, P., Cunha, I.P.R., 2011. Unidades de Conservação: breve histórico. Revista UNI
417 1, 53-62.
- 418 Mittermeier, R. A., Robles-Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier,
419 C.G., Lamoreux, J., Da Fonseca, G.A.B., 2004. Hotspots revisited. CEMEX,
420 Mexico .
- 421 MMA-Ministério do Meio Ambiente – SNUC/Sistema nacional de Unidades de
422 Conservação. 2010. MMA, SNUC, Brasília. Available:
423 <http://www.mma.gov.br/port/sbt/dap/doc/snuc.pdf>.
- 424 Oliveira, J.R.P.M., Pôrto, K.C., Silva, M.P.P., 2011. Richness preservation in a
425 fragmented landscape: a study of epiphytic bryophytes in an Atlantic forest
426 remnant in Northeast Brazil. Journal of Bryology 33(4), 279-290.

- 427 Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.P., Anderson, R.P., Martinez-Meyer, E.,
428 Nakamura, M., Araújo, M.B., 2011. Ecological Niches and Geographic
429 Distributions. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- 430 Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of
431 species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231-259.
- 432 Prance, G.T., 1982. Forest refuges: evidence from woody angiosperms, In *Biological*
433 *diversification in the tropics*. ed. G.T. Prance, pp. 137-158. Columbia University
434 Press, New York, NY.
- 435 Prance, G.T. 1987. Biogeography of Neotropical plants, In: *Biogeography and*
436 *Quaternary history in tropical America*. eds: T.C. Whitmore, G.T. Prance, pp. 46-
437 65. Clarendon Press, Oxford.
- 438 Proctor, M.C.F., 1990. The physiological basis for bryophyte production. *Botanical*
439 *Journal of the Linnean Society* 104,61-77.
- 440 Ranta, P., Blom, T., Niemelä, J., Joensuu, E., Siitonen, M., 1998. The Atlantic Rain
441 Forest of Brasil: size, shape and distribution of forest fragments. *Biodiversity and*
442 *Conservation* 7, 385-403.
- 443 Rede de ONGs da Mata Atlântica, 2006. *Mata Atlântica, uma rede pela floresta*. eds: M.
444 Campanili, M. Prochnow. RMA, Brasília.
- 445 Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F., Hirota, M.M., 2009.
446 *Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest*
447 *distributed? Implications for conservation*. *Biological Conservation* 142, 1141–
448 1153.
- 449 Rodrigues, A.S.L., Aldeman, S.J., Bakarr, M.I., Boitani, L, Brooks, T.M., Cowling,
450 R.M., Fishpool, L.D.C., Fonseca, G.A.B., Gaston, K.J., Hoffmann, M., Long, J.S.,

- 451 Marquet, P.A., Pilgrim, J.D., Pressey, R.L., Schipper, J., Sechrest, W., Stuart,
452 S.N., Underhill, L.G., Waller, R.W., Watts, M.E.J., Yan, X., 2004. Effectiveness
453 of the global protected area network in representing species diversity. *Nature* 428,
454 640-643.
- 455 Rylands, A.B., Brandon, K., 2005. Unidades de conservação brasileiras.
456 *Megadiversidade* 1, 27-35.
- 457 Scott, J.M., Davis, F.W., McGhie, F.G., Wright, R.G., Groves, C., Estes, J., 2001.
458 Nature reserves: do they capture the full range of America's biological diversity?
459 *Ecological Applications* 11, 999-1007.
- 460 Sharp, A.J., Crum, H., Eckel, P.M., 1994. The moss flora of Mexico. *Memoirs of the*
461 *New York Botanical Garden* 69 (1-2), 1-1113.
- 462 Silva, J.M.C., Casteleti, C.H.M., 2005. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica
463 brasileira, In: *Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas*. eds C.
464 Galindo-Leal, I.B. Câmara, pp 43-59. Conservation International, São Paulo.
- 465 Silva, M.P.P., Pôrto, K.C., 2009. Effect of fragmentation on the community structure of
466 epixylic bryophytes in Atlantic Forest remnants in the Northeast of Brazil.
467 *Biodiversity and Conservation* 18, 317-337.
- 468 Silva, M.P.P., Pôrto, K.C., 2010. Spatial structure of bryophyte communities along an
469 edge-interior gradient in an Atlantic Forest remnant in Northeast Brazil. *Journal of*
470 *Bryology* 32, 101-112.
- 471 Tabarelli, M., Pinto, L.P., Silva, J.M.C., Hirota, M., Bedê, L., 2005. Challenges and
472 Opportunities for Biodiversity Conservation in the Brazilian Atlantic Forest.
473 *Conservation Biology* 19(3), 695-700.

- 474 Tabarelli, M., Siqueira-Filho, J.A., Santos, A.M.M., 2006. A Floresta Atlântica ao Norte
475 do Rio São Francisco, In *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta*
476 *Atlântica ao Norte do Rio São Francisco*. eds K.C. Pôrto, J.S. Almeida-Cortez, M.
477 Tabarelli, pp. 25-37. MMA, Brasília.
- 478 Tabarelli, M., Peres, C.A., Melo, F.P.L., 2012. The ‘few winners and many losers’
479 paradigm revisited: Emerging prospects for tropical forest biodiversity. *Biological*
480 *Conservation* 155, 136-140.
- 481 Vanderpoorten, A., Hallingbäck, T., 2009. Conservation Biology of bryophytes, In
482 *Bryophyte Biology*, 2nd edition. eds B. Goffinet, A.J. Shaw A.J, pp. 487-533.
483 Cambridge University Press, Cambridge.
- 484 Viana, V.M., Pinheiro, L.A.F.V., 1998. Conservação da biodiversidade em fragmentos
485 florestais. *Série Técnica IPEF* 12, 25-42.
- 486 Yano, O., 1984. Checklist of Brazilian liverworts and hornworts. *J. Hattori Botanical*
487 *Laboratory* 56, 481-548.
- 488 Yano, O. 1989. An additional checklist of Brazilian bryophytes. *Journal of the Hattori*
489 *Botanical Laboratory* 66, 371-434.
- 490 Yano, O. 1995. A new additional annotated checklist of Brazilian bryophytes. *Journal*
491 *of the Hattori Botanical Laboratory* 78, 137-182.
- 492 Yano, O. 2004. Novas ocorrências de briófitas para vários estados do Brasil. *Acta*
493 *Amazônica* 34(4), 559-576.
- 494 Yano, O. 2006. Novas adições as briófitas brasileiras. *Boletim do Instituto de Botânica*
495 *(São Paulo)* 18, 229-233.

- 496 Yano, O. 2008. Catálogo de antóceros e hepáticas brasileiros: literatura original,
497 basiônimo, localidade-tipo e distribuição geográfica. Boletim do Instituto de
498 Botânica (São Paulo) 19, 1-110.
- 499 Yano, O. 2010. Levantamento de novas ocorrências de briófitas brasileiras. Boletim do
500 Instituto de Botânica (São Paulo), 1-243.
- 501 Zhang, M-G., ZhouZ-K., Chen, W-Y, Slik, J.W.F., Cannon, C.H., Raes, N., 2012.
502 Using species distribution modeling to improve conservation and land use
503 planning of Yunnan, China. Biological Conservation 153, 257-264.
- 504 Zuur, A.F., Leno, E.N., Smith, G.M., 2007. Analysing ecological data. Springer, New
505 York.
- 506
- 507
- 508
- 509
- 510
- 511
- 512
- 513
- 514
- 515
- 516
- 517
- 518
- 519

Table 1- Distribution and number of occurrences used in the modeling of potential distribution of the bryophytes studied. Species are sorted alphabetically.

Specie	Distribution	Total records
<i>Bazzania heterostipa</i> (Steph.) Fulford.	Endemic to Brazil	18
<i>Bryopteris filicina</i> (Sw.) Nees	Neotropical	31
<i>Fissidens flabellatus</i> Hornsch.	Endemic to the Atlantic Forest	13
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Hedw.) Brid.	Pantropical	19
<i>Meteorium deppei</i> (Hornsch. ex Müll. Hal.) Mitt.	Neotropical	23
<i>Metzgeria brasiliensis</i> Schiffn.	Endemic to the Atlantic Forest	16
<i>Neckeropsis undulata</i> (Hedw.) Reichardt.	Neotropical	25
<i>Phyllogonium viride</i> Brid.	Neotropical	40
<i>Riccardia regnellii</i> (Ångstr) Hell	Endemic to the Atlantic Forest	10
<i>Vitalianthus bischlerianus</i> (K. C. Pôrto & Grolle) R.M. Schust. & Giancotti	Endemic to the Atlantic Forest	10

522

523

524

525

526

Table 2- Statistical modeling of potential distribution and a more explanatory variable for the distribution of bryophytes in the Atlantic forest. Species are sorted alphabetically.

Specie	Threshold	p*	AUC	Contribution (%)
<i>Bazzania heterostipa</i> (Steph.) Fulford.	0.3014	< 0.0001	0.956	Mean Diurnal Temperature Range (38)
<i>Bryopteris filicina</i> (Sw.) Nees	0.3857	< 0.0001	0.987	Mean Diurnal Temperature Range (21)
<i>Fissidens flabellatus</i> Hornsch.	0.1461	< 0.0001	0.98	Mean Diurnal Temperature Range (38)
<i>Hypopterygium tamarisci</i> (Hedw.) Brid.	0.3716	< 0.0001	0.992	Mean Diurnal Temperature Range (31)
<i>Meteorium deppei</i> (Hornsch. ex Müll. Hal.) Mitt.	0.2909	< 0.0001	0.989	Isothermality (20)
<i>Metzgeria brasiliensis</i> Schiffn.	0.528	< 0.0001	0.987	Mean Diurnal Temperature Range (46)
<i>Neckeropsis undulata</i> (Hedw.) Reichenb.	0.1675	< 0.0001	0.971	Mean Diurnal Temperature Range (37)
<i>Phyllogonium viride</i> Brid.	0.1498	< 0.0001	0.986	Mean Diurnal Temperature Range (20) and Isothermality (20)
<i>Riccardia regnellii</i> (Ångstr) Hell	0.3165	< 0.0001	0.969	Mean Diurnal Temperature Range (42)
<i>Vitalianthus bischlerianus</i> (K. C. Pôrto & Grolle) R.M. Schust. & Giancotti	0.2759	0.0002	0.955	Mean Diurnal Temperature Range (60)

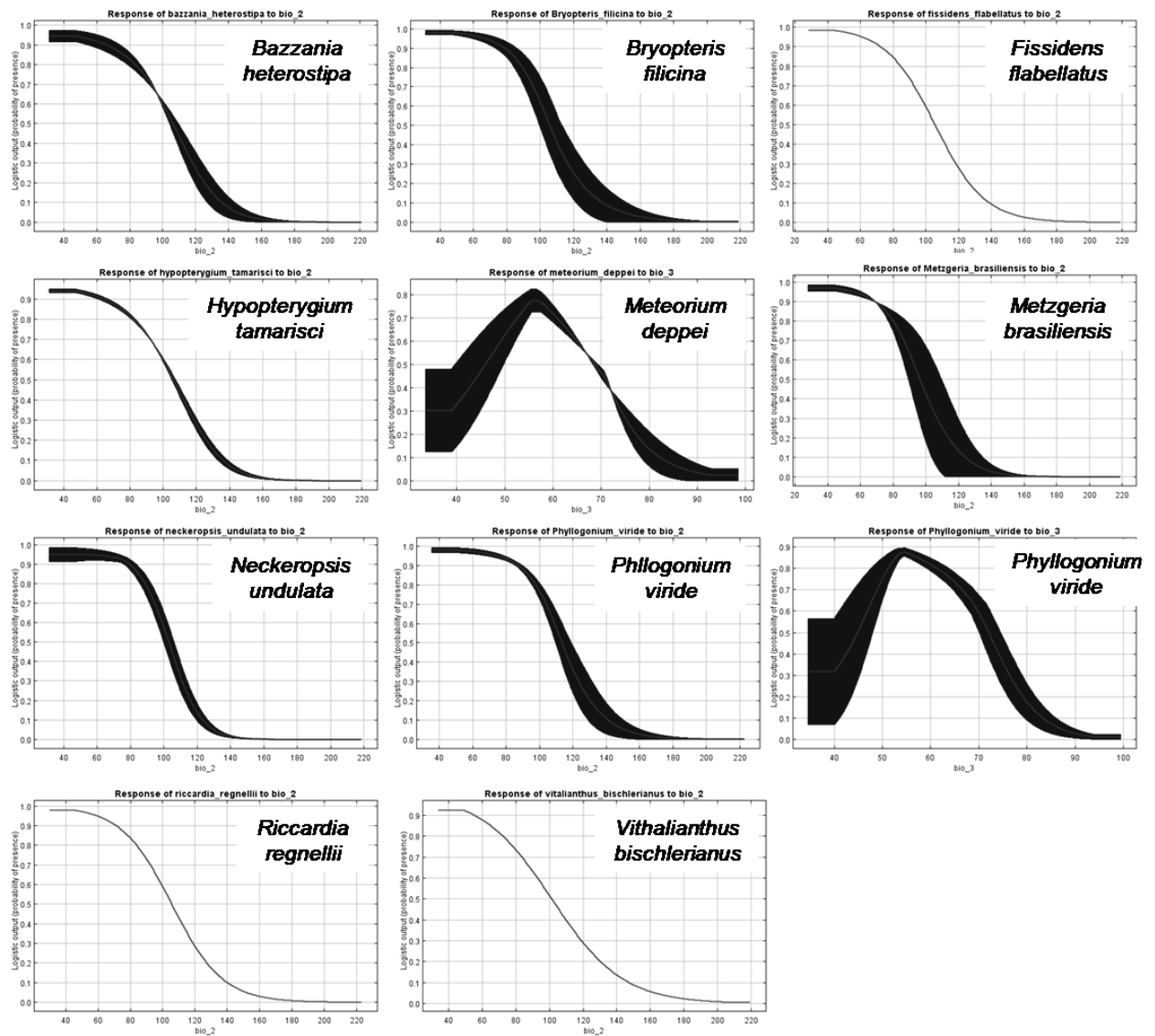
*Binomial proportion (Anderson 2003).

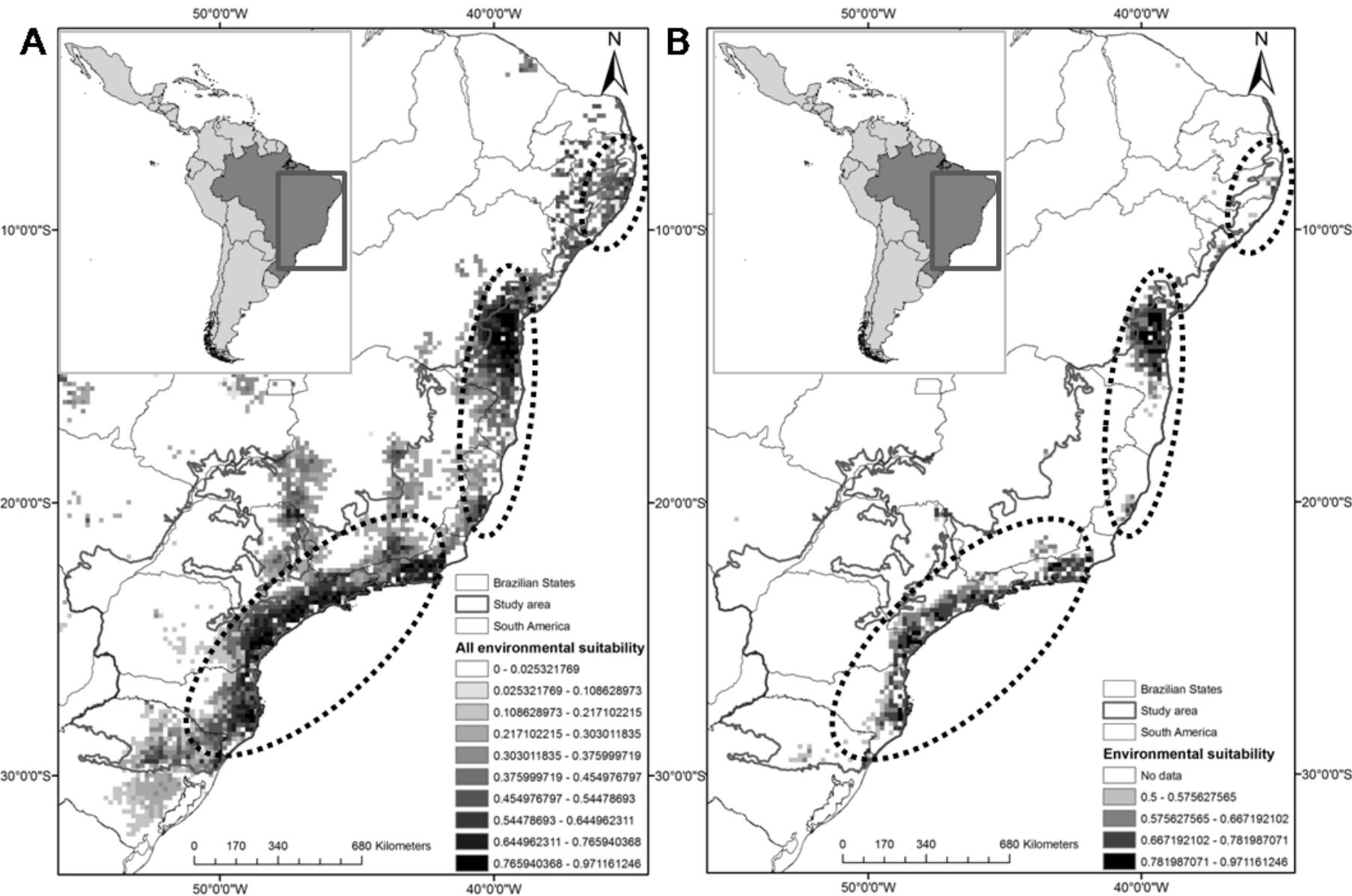
Figure captions

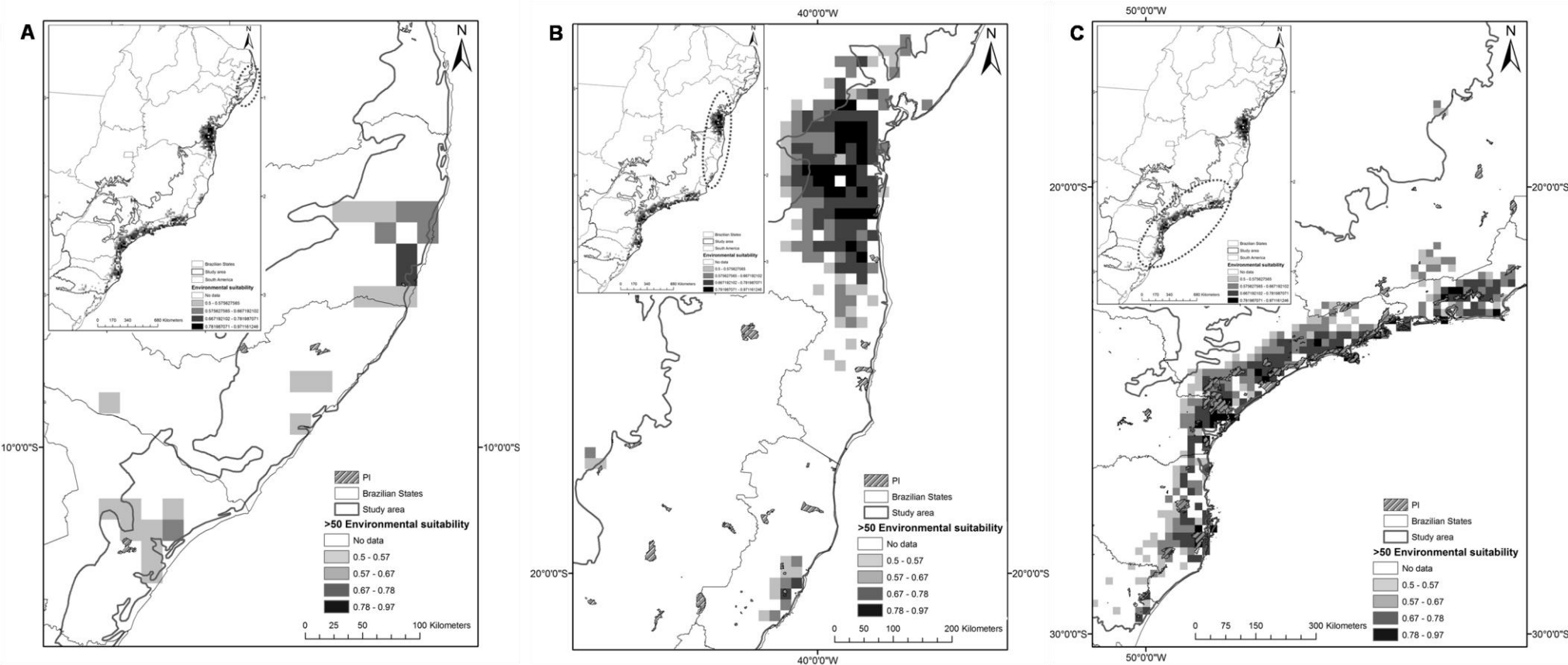
Figure 1- Average of all partitions in the regression of environmental variables in relation to the environmental suitability of the ten bryophytes species selected for the study.

Figure 2- Maxent cumulative potential distribution of ten bryophyte species in the Atlantic Forest, Brazil (A) and the optimal niche occupied by this species (environmental suitability area $\geq 50\%$) (B).

Figure 3- Overlay of the optimal niche occupied (environmental suitability area $\geq 50\%$) by ten bryophyte species with the network of Full Protection Conservation Units of the Brazilian Atlantic Forest, for Northeast (A), Central (B) and Serra do Mar (C) centers of diversity.

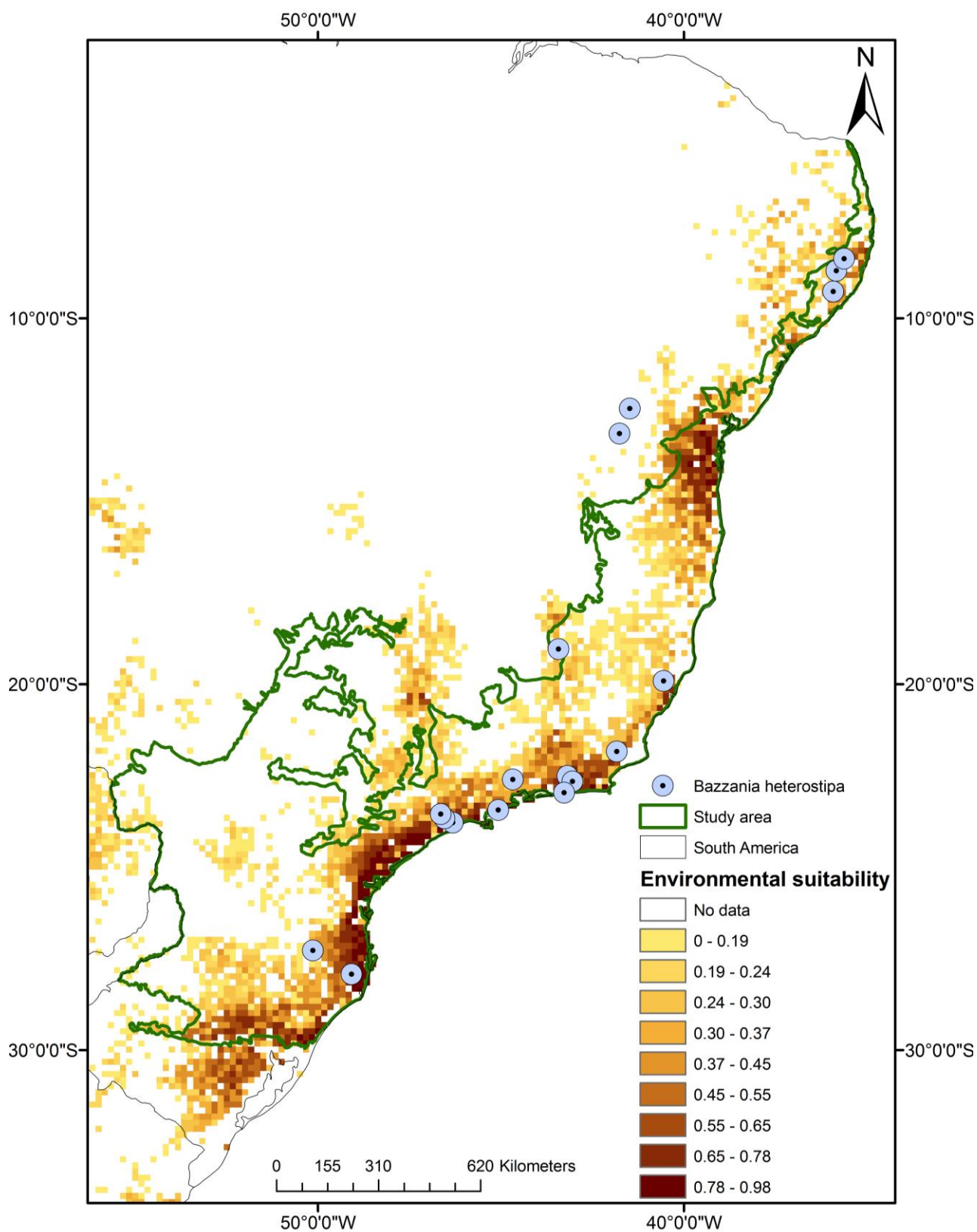




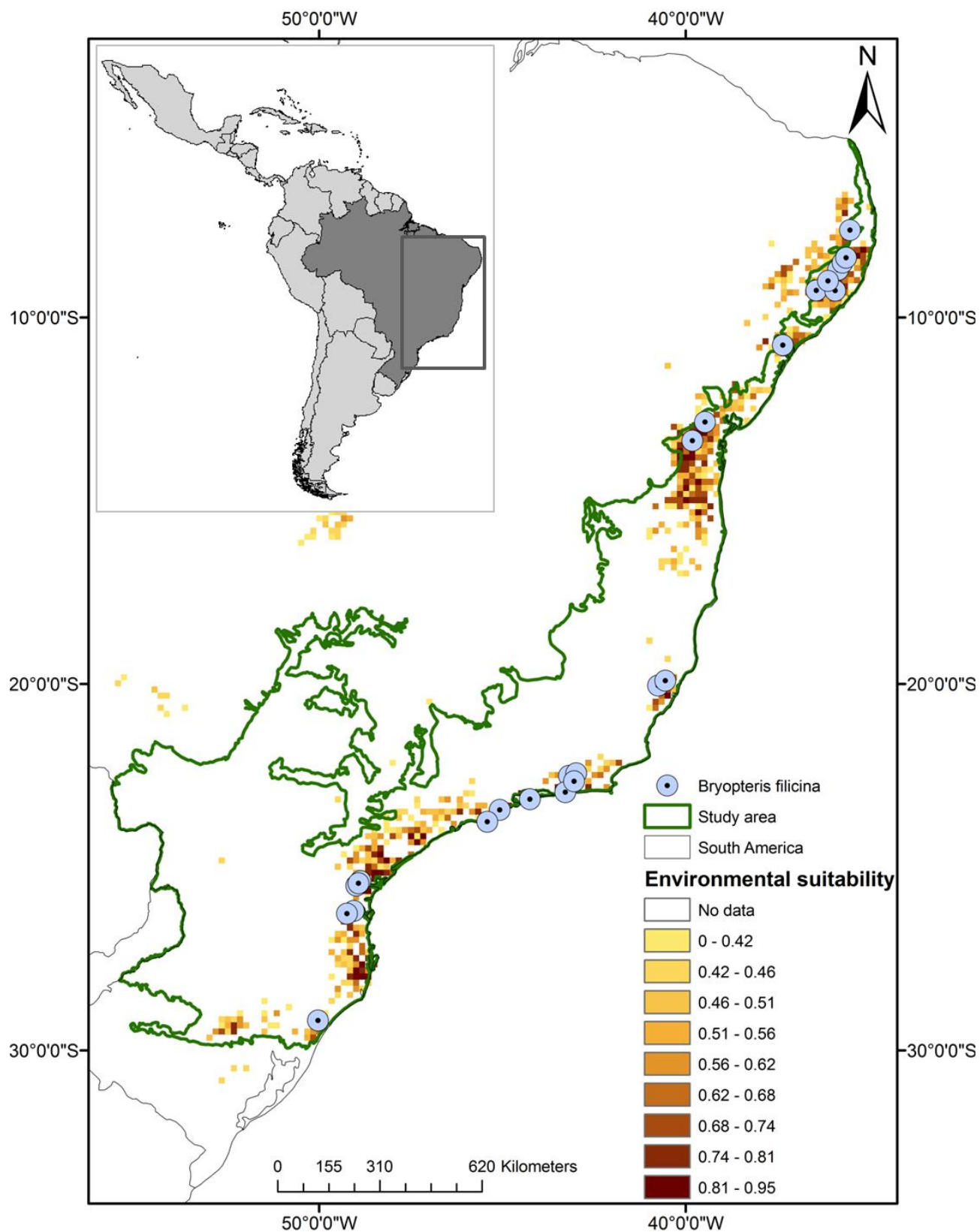


SUPPLEMENTAL MATERIAL

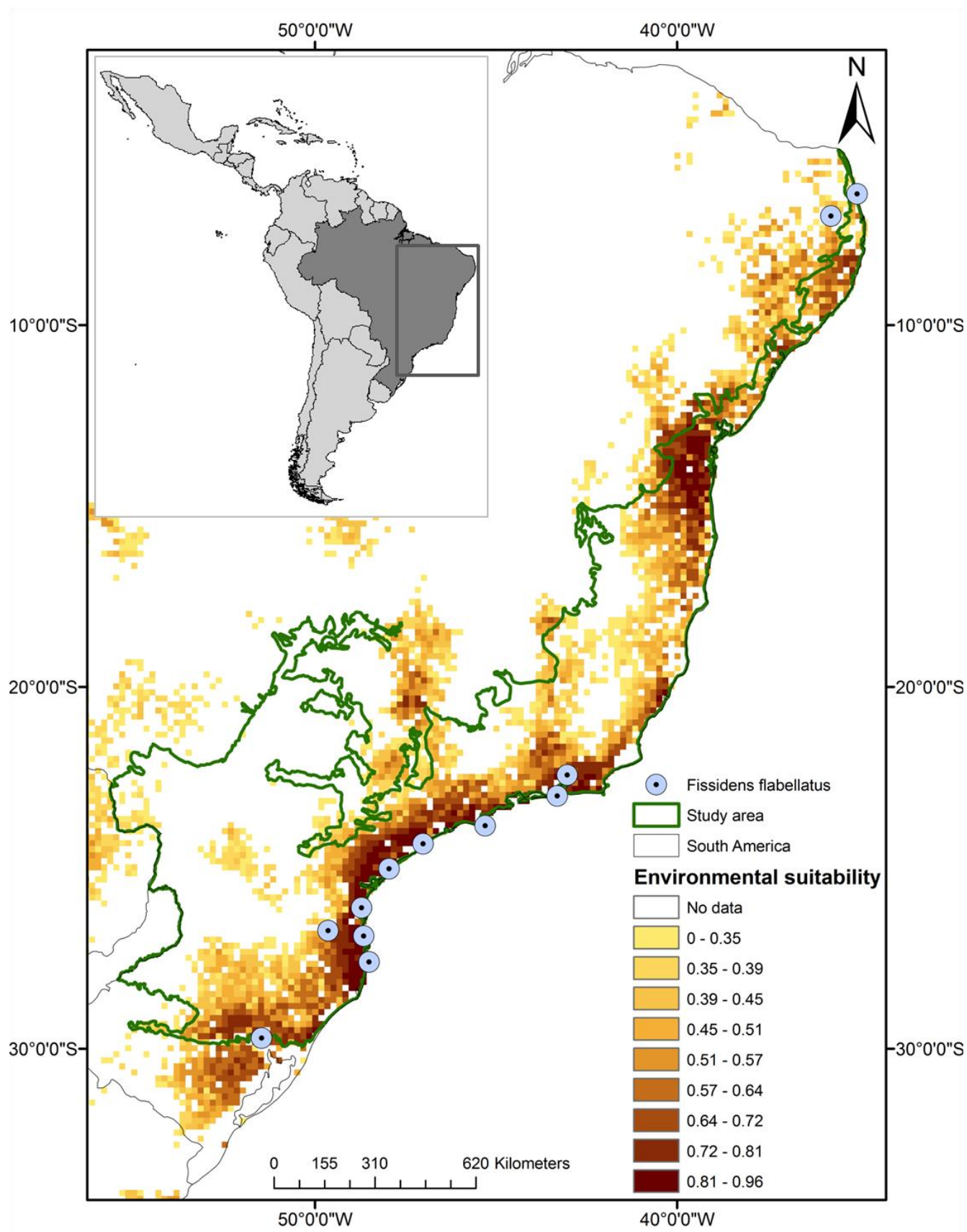
Appendix A- Maxent potential distribution model for the *Bazzania heterostipa* (Steph.) Fulford. species in the Brazilian Atlantic Forest.



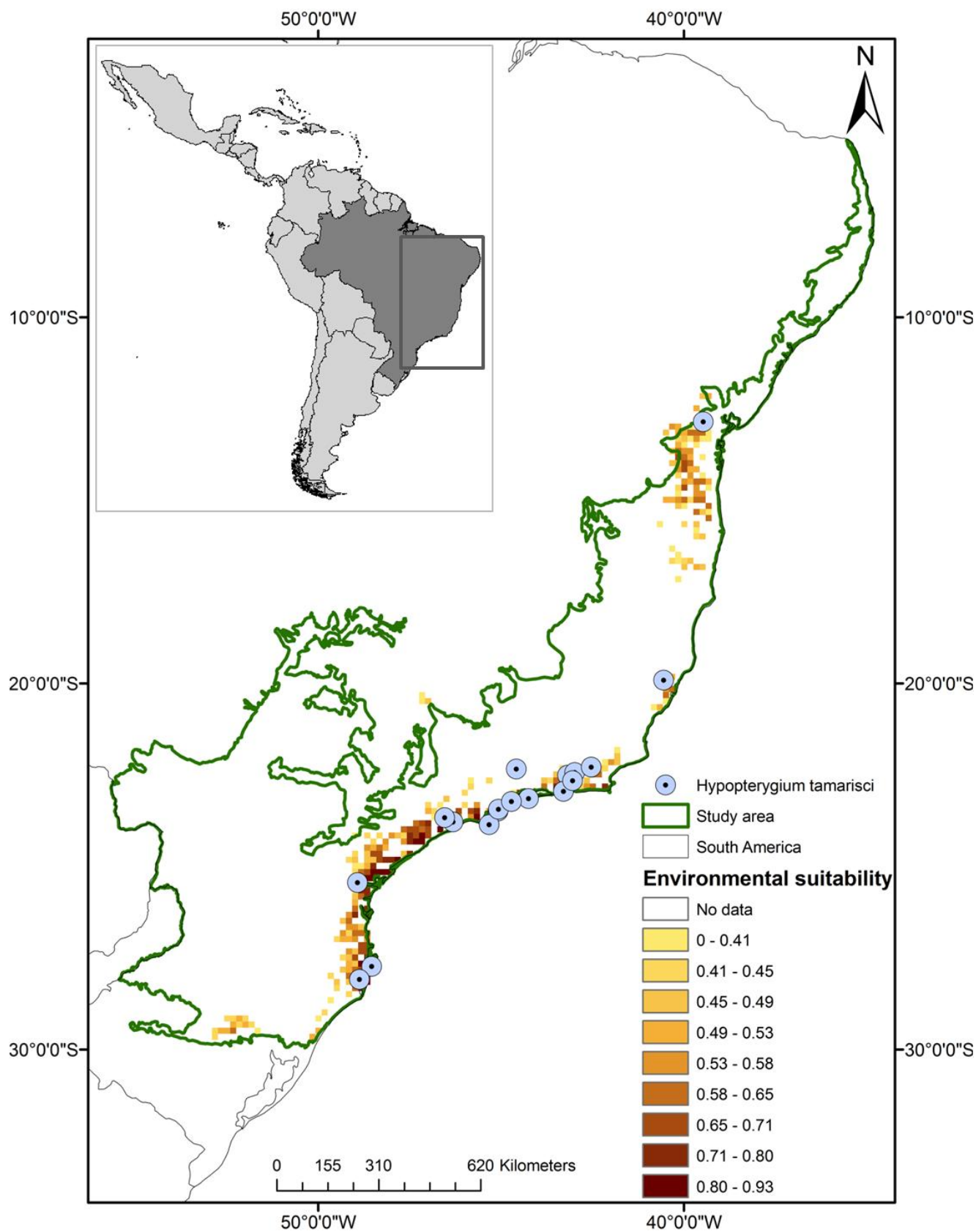
Appendix B- Maxent potential distribution model for the *Bryopteris filicina* (Sw.) Nees species in the Brazilian Atlantic Forest.



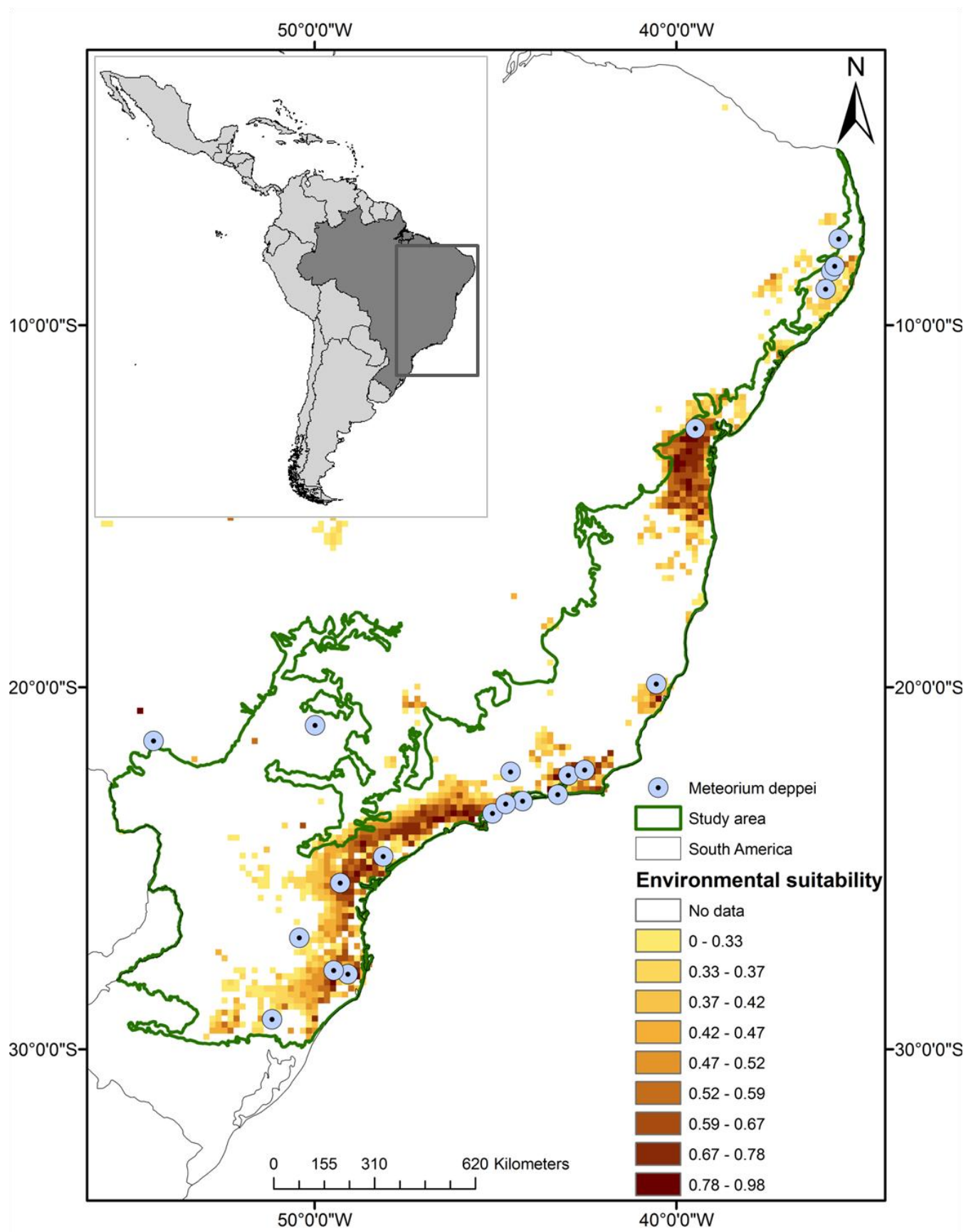
Appendix C- Maxent potential distribution model for the *Fissidens flabellatus* Hornsch species in the Brazilian Atlantic Forest.



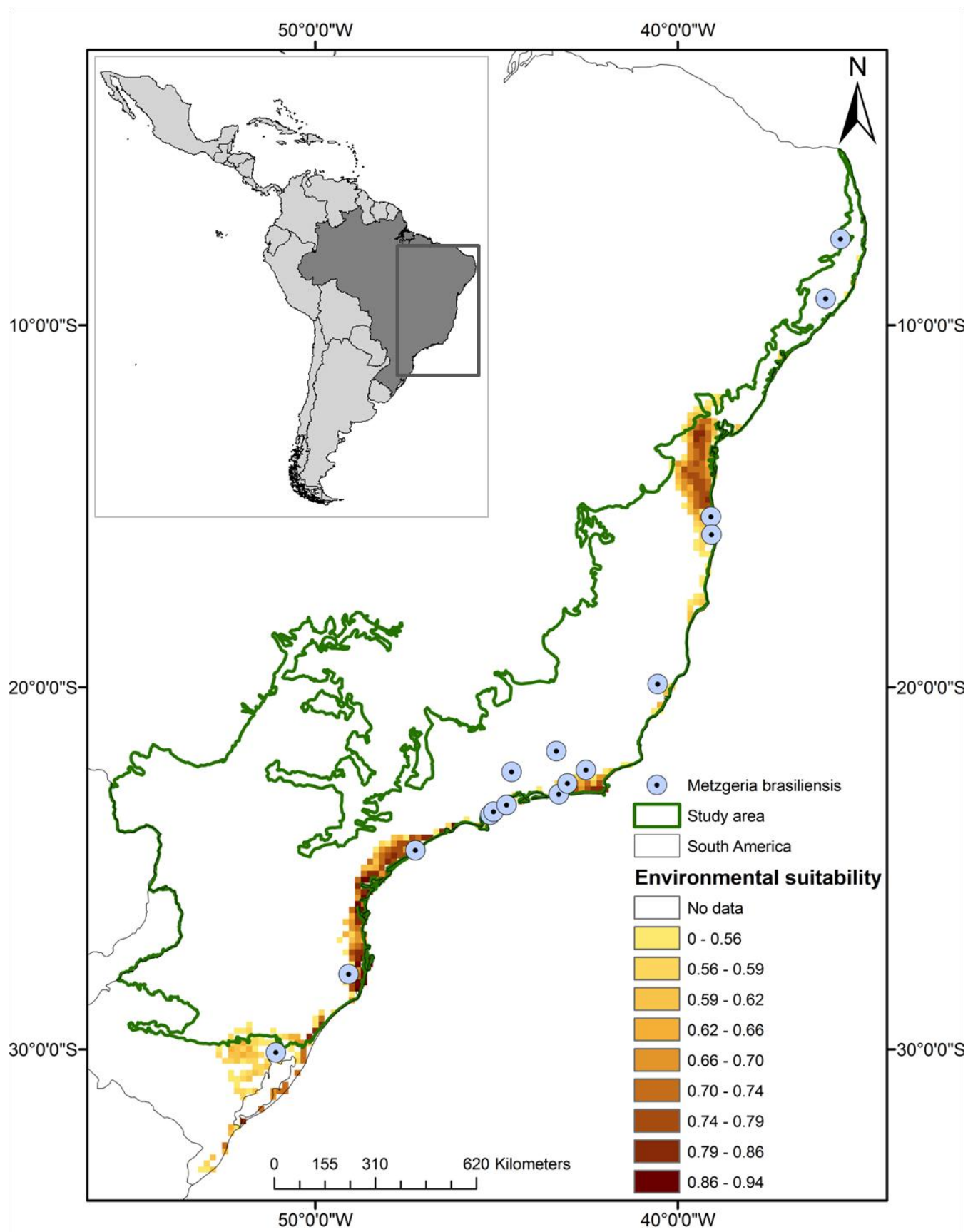
Appendix D- Maxent potential distribution model for the *Hypopterygium tamarisci* (Hedw.)
Brid. species in the Brazilian Atlantic Forest.



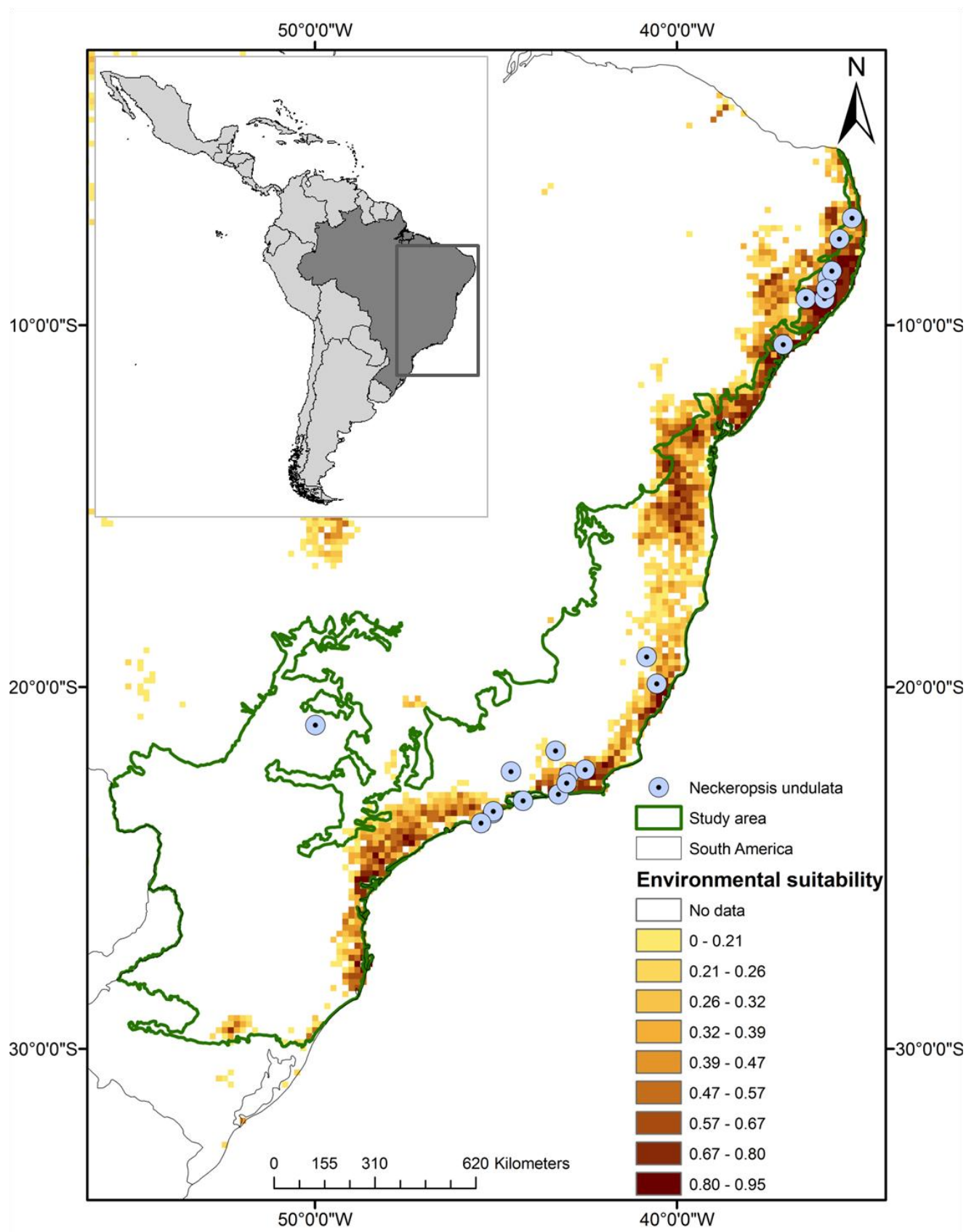
Appendix E- Maxent potential distribution model for the *Meteorium deppei* (ex Hornsch. Müll. Hal.) Mitt. species in the Brazilian Atlantic Forest.



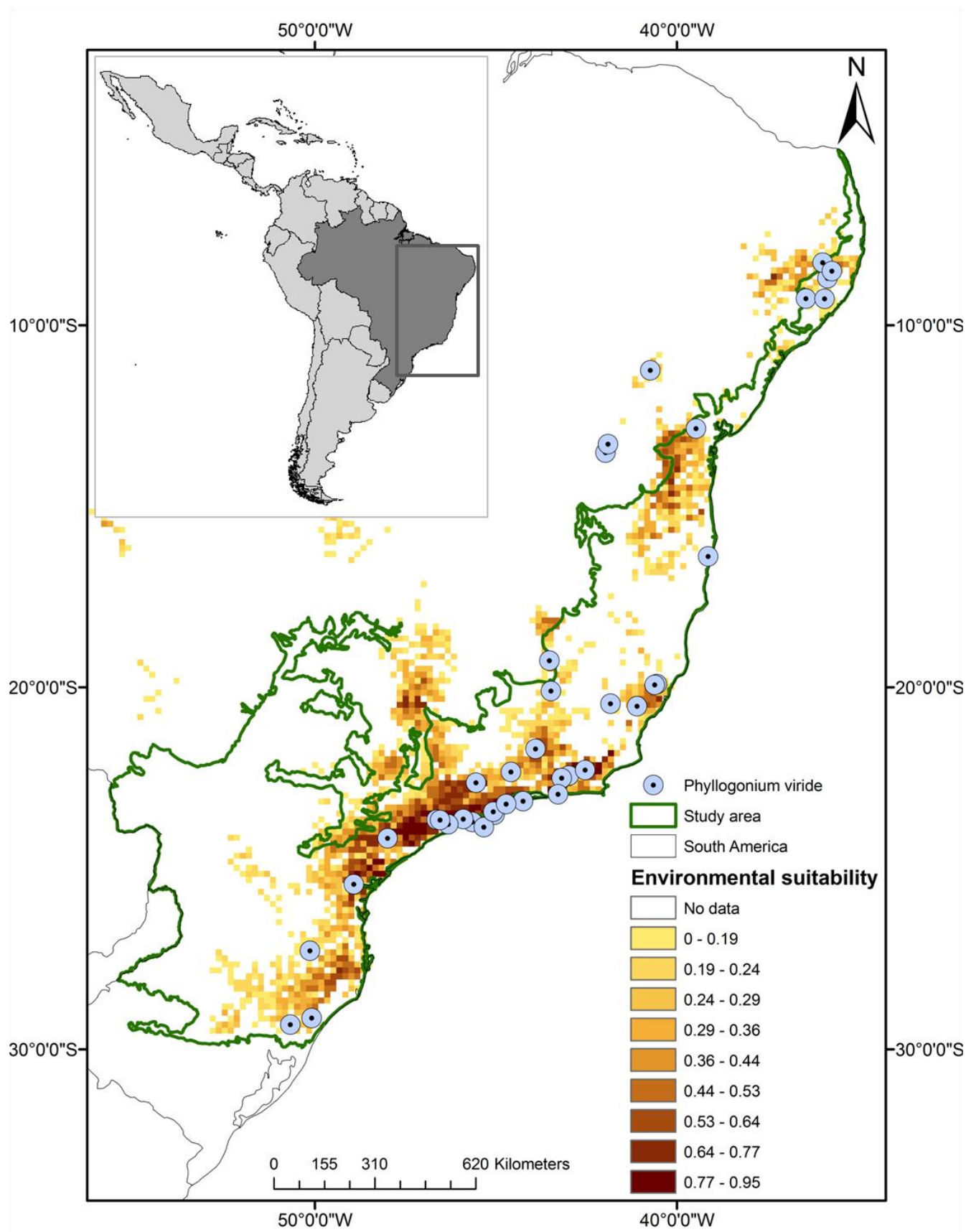
Appendix F- Maxent potential distribution model for the *Metzgeria brasiliensis* Schiffr. species in the Brazilian Atlantic Forest.



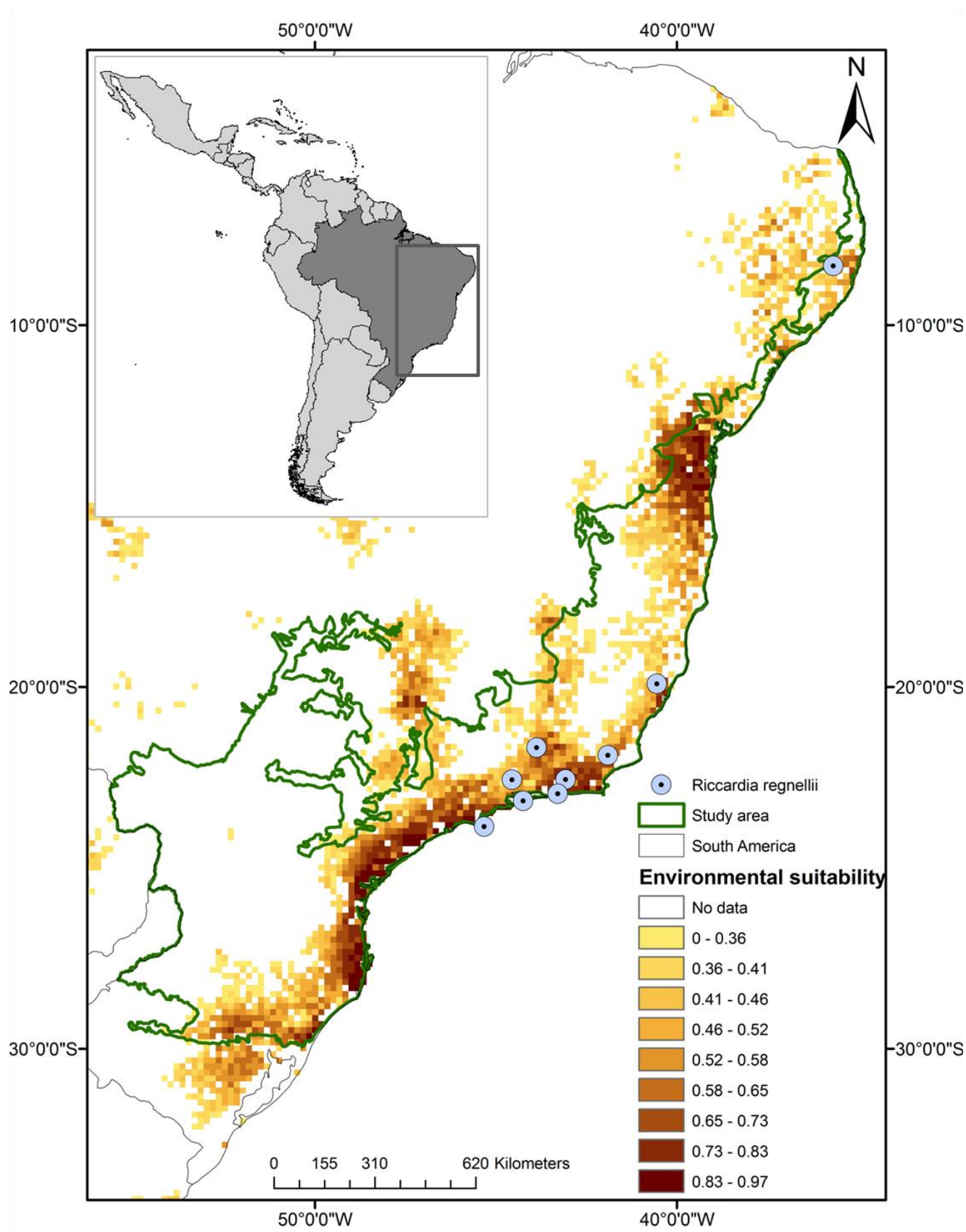
Appendix G- Maxent potential distribution model for the *Neckeropsis undulata* (Hedw.) Reichardt species in the Brazilian Atlantic Forest.



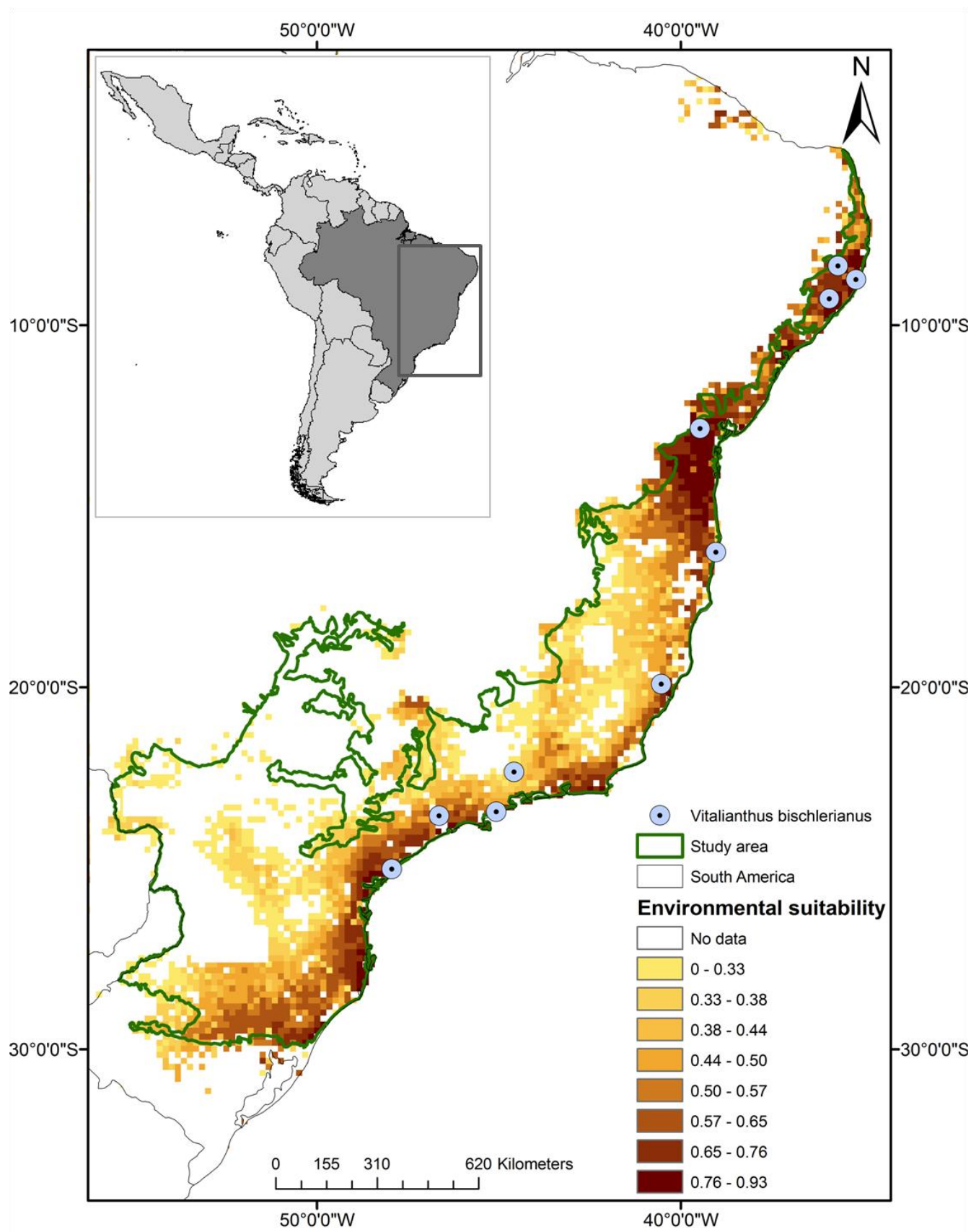
Appendix H- Maxent potential distribution model for the *Phyllogonium viride* Brid. species in the Brazilian Atlantic Forest.



Appendix I- Maxent potential distribution model for the *Riccardia regnellii* (Ångstr) Hell species in the Brazilian Atlantic Forest.



Appendix J- Maxent potential distribution model for the *Vitalianthus bischlerianus* (KC & Pôrto Grolle) RM Schust. & Giancotti. species in the Brazilian Atlantic Forest.



CONCLUSÕES GERAIS

Os padrões atuais de distribuição de briófitas, sobretudo de musgos, demonstram que as Florestas Atlântica e Amazônica foram conectadas no passado e refletem este processo de fragmentação ancestral. Por outro lado, para o grupo das hepáticas, observou-se uma distribuição compatível com dispersão, sendo que o sinal biogeográfico da disjunção entre as florestas foi mascarado por subseqüentes processos de dispersão, haja visto apresentarem espécies cujos esporos são significativamente menores do que os de musgos.

Especificamente para a Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil estudada (Estados do Rio Grande do Norte à Sergipe, doravante Floresta Atlântica Nordestina), a presente tese contribuiu significativamente para o aumento do conhecimento da brioflora. Uma lista de espécies de briófitas foi elaborada a partir de levantamento bibliográfico das localidades com coletas sistemáticas do grupo e 27 espécies, provenientes de novos inventários em 13 localidades, foram acrescidas à lista inicial. Com a reunião das informações de 23 localidades, constata-se que a Floresta Atlântica Nordestina tem um expressivo número de espécies (398 spp.), representando 26% do total de táxons do país, 10% do Neotrópico e 2% do mundo. As localidades mais ricas, com maior número de espécies e táxons importantes para a conservação (endêmicos e especialistas quanto ao microhabitat – tolerância à luminosidade) foram a Estação Ecológica de Murici, o Parque Municipal Vasconcelos Sobrinho e a RPPN Frei Caneca.

Apesar da elevada riqueza, confirma-se o predomínio de espécies generalistas. Além da própria biologia desse grupo funcional, a predominância de generalistas deve-se aos processos de degradação e perda de habitat, recorrentes na região.

Quanto aos padrões de distribuição de briófitas na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil, conclui-se que estes são moldados por forças determinísticas. A preferência de microhabitat das espécies, as variações altitudinal e de temperatura média anual, bem como a latitude são os fatores mais importantes para a brioflora em escala regional. Corrobora-se, ainda, o fato que a maioria das briófitas, devido a sua fisiologia, está restrita a condições ambientais limitadas, e que esse grupo pode contribuir para responder questões do quanto rápido as mudanças climáticas afetam as espécies e os ecossistemas, o que deve ser considerado em posteriores trabalhos.

Com o estudo do número e da efetividade de Unidades de Conservação na Floresta Atlântica brasileira que abrigam uma elevada adequabilidade ambiental para a brioflora, averiguou-se que o atual número de reservas está muito aquém do adequado para uma

conservação eficiente das espécies estudadas, sobretudo na região Nordeste do país. Particularmente no Corredor Biológico Central e no Centro Pernambuco, há significativos vazios de conhecimento e lacunas quanto de Unidades de Conservação para a conservação eficiente da brioflora, sugerindo essas regiões como prioritárias para a realização de inventários e a implementação de novas Unidades de Conservação.

RESUMO

A Floresta Atlântica brasileira abriga uma das maiores biodiversidades do planeta, sendo considerada um dos *hotspots* para a conservação. No que concerne às briófitas, esse Domínio é a terceira região no Neotrópico em diversidade de espécies. Na região Nordeste, onde a Floresta Atlântica foi mais drasticamente devastada, o conhecimento sobre as briófitas está particularmente concentrado nos Estados de Bahia e Pernambuco e, mais recentemente, Alagoas, acarretando interpretações errôneas dos seus padrões de distribuição. Sendo assim, esta tese teve como objetivos: 1) avaliar relações biogeográficas das espécies de briófitas da Floresta Atlântica com a Floresta Amazônica; 2) determinar mais fidedignamente os padrões de distribuição das espécies na Floresta Atlântica Nordestina (Rio Grande do Norte à Sergipe); 3) valorar os condicionantes de riqueza e diversidade, sejam eles intrínsecos da história de vida das espécies ou de ordem ambiental; 4) elaborar um modelo preditivo da ocorrência das espécies para indicar lacunas de áreas protegidas e 5) indicar áreas mais relevantes para a conservação. Para tanto, foi construído um banco de dados das espécies da Floresta Atlântica Nordestina a partir de informações de literatura, consulta a material dos herbários da região, e inventários brioflorísticos realizados em 13 remanescentes florestais selecionados. Foram incorporadas informações sobre a distribuição das espécies em áreas de Floresta Amazônica brasileira, o história de vida e a ecologia das espécies e variáveis ambientais referentes a cada localidade. Os padrões atuais de distribuição de briófitas demonstram que as Florestas Atlântica e Amazônica foram conectadas no passado e refletem o processo de fragmentação ancestral desta biota. Para a Floresta Atlântica Nordestina, foram registradas 398 spp., representando 26% do total de táxons do país. A Estação Ecológica de Murici, o Parque Municipal Vasconcelos Sobrinho e a RPPN Frei Caneca destacaram-se como centros de diversidade total e de espécies endêmicas da Floresta Atlântica. Na porção Nordeste desse Domínio fitogeográfico, os padrões de distribuição de briófitas são determinísticos. A preferência de microhabitat das espécies, as variações altitudinal e de temperatura média anual, bem como a latitude, são os fatores mais importantes para a brioflora em escala regional. Apesar da elevada diversidade de briófitas, o número e a efetividade de Unidades de Conservação na Floresta Atlântica que abrigam uma elevada adequabilidade ambiental para a brioflora está muito aquém do apropriado para uma conservação eficiente das espécies estudadas, sugerindo as áreas de lacuna como prioritárias para a realização de inventários e implementação de novas reservas.

PALAVRAS-CHAVE: brioflora, biogeografia, diversidade, Floresta Tropical Úmida, modelagem de distribuição potencial de espécies, raridade, Unidades de Conservação.

ABSTRACT

The Brazilian Atlantic Forest shelters one of the greatest biodiversity on the planet, and is a *hotspots* for conservation. Regarding bryophytes, this Domain is the third richest region in the Neotropics. In the Northeast, where the Atlantic forest was more severely devastated, knowledge on bryophytes are particularly concentrated in the states of Bahia and Pernambuco, and more recently, Alagoas, leading to misinterpretation of their distribution patterns. Thus, this thesis aimed to: 1) evaluate biogeographical relationships of bryophyte species between the Atlantic Forest and the Amazon, 2) determine, more reliably, the species distribution patterns in the Northeastern Atlantic Forest (Rio Grande do Norte to the Sergipe); 3) assess which factors determine bryophyte richness and diversity, whether intrinsic of species, such as life history, or environmental parameters, 4) develop a predictive model of species occurrence to indicate gaps in protected areas and 5) indicate the most relevant areas for conservation. Therefore, we created a database of species occurring in the Northeastern Atlantic Forest from literature, herbarium consultation and sampling in 13 selected forest remnants. We included information on the distribution of species in areas of Brazilian Amazon rainforest, life history and ecology of the species and environmental variables for each locality. Current patterns of bryophyte distribution show that the Atlantic Forest and Amazon were connected in the past and reflect the process of fragmentation of this ancestral biota. For the Northeast Atlantic Forest, were recorded 398spp., representing 26% of all taxa of the country. The Murici Ecological Station, the Municipal Park Vasconcelos Sobrinho and the RPPN Frei Caneca stood out as centers of total endemic species diversities in the Atlantic Forest. In the Northeastern portion of the Domain, the distribution patterns of bryophytes are deterministic. The microhabitat preference of species, altitudinal and mean diurnal temperature ranges and latitude, are the most important factors for bryophytes at a regional scale. Despite the high diversity of bryophytes, the number and effectiveness of protected areas in the Atlantic Forest that have a high environmental suitability for bryophytes is far from appropriate for efficient conservation of the species studied, suggesting the gap areas as priority to achieve inventories and implementation of new reserves.

KEY-WORDS: bryoflora, biogeography, Conservation Units, diversity, rarity, species' potential distribution modeling, Tropical Rainforest.

ANEXOS

Normas para submissão nos periódicos

Global Ecology and Biogeography

Preparation of your manuscript

All manuscripts must be written in English, and if English is not your first language it is recommended that you have your manuscript carefully checked by an English speaker before submission.

Manuscripts should be formatted as A4 with ample margins, double line spacing, no hyphenation and with automatic wordwrap (no hard returns within paragraphs). Please use the line numbering facility within your word processing programme. Type your text consistently, e.g. take care to distinguish between '1' (one) and 'l' (lower-case L) and '0' (zero) and 'O' (capital O), etc. The title of the contribution, name(s) of the author(s), and the complete address, including post or zip code, of the institution where the work was carried out should be clear; and the full postal address of the author with whom the Editor can correspond must also be indicated, as well as the present address of any author if different from the place where the work was carried out. An email address must also be included. All pages should be numbered. Please provide a short running header to go at the top of the journal page.

Papers are accepted on the understanding that no substantial part has been, or will be, published elsewhere. If accepted, papers become copyright of the Journal. No page charges will be levied, although there is a charge for colour reproduction.

If there is colour artwork in your manuscript when it is accepted for publication, Wiley-Blackwell require you to complete and return a Colour Work Agreement Form before your paper can be published. Once completed, please return the form to the Production Editor by post (fax or scan is not acceptable) at the address below:

Production Editor
Global Ecology and Biogeography
Wiley-Blackwell
101 George Street
Edinburgh EH2 3ES, UK

Any article received by Wiley-Blackwell with colourwork will not be published until the form has been returned. Under exceptional circumstances, authors may request the above charges to be waived. This must be done, in writing, at the time of submission of the manuscript, and authors must justify to the Editor that inclusion of the figure(s) in colour is essential for interpretation of the results presented. If authors wish to apply for funds to cover the costs of colour printing, the Editor will provide relevant support letters to funding bodies, indicating acceptance of the paper. Note that we offer a free Colour on the Web option whereby authors can have figures printed in black and white in the journal but in colour in the online version, free of charge.

Conflict of Interest

Global Ecology and Biogeography requires that all authors disclose any potential sources of conflict of interest. Any interest or relationship, financial or otherwise, that might be perceived as influencing an author's objectivity is considered a potential source of conflict of interest. These must be disclosed when directly relevant or indirectly related to the work that the authors describe in their manuscript. Potential sources of conflict of interest include but are not limited to patent or stock ownership, membership of a company board of directors, membership of an advisory board or committee for a company, and consultancy for or receipt of speaker's fees from a company. The existence of a conflict of interest does not preclude publication in this journal. It is the responsibility of the corresponding author to review this policy with all authors and to collectively list in the manuscript (under the Acknowledgment section) and in the online submission system ALL pertinent commercial and other relationships. Corresponding authors will be asked to confirm whether or not a conflict of interest exists as part of the submission process.

Global Ecology and Biogeography is a member of and subscribes to the principles of the Committee on Publication Ethics.

Biosketch/Biosketches

A short Biosketch/Biosketches entry (30-100 words for one author/150 words for the first three authors, respectively) describing the research interests of the author(s) should be provided after the References section. For papers with >3 authors, biosketch details should be supplied for the first author only; alternatively, a general

statement of the focus of the research team (which may include a link to a group web page) should be provided, together with a statement of author roles, e.g. Author contributions: A.S. and K.J. conceived the ideas; K.J. and R.L.M. collected the data; R.L.M. and P.A.K. analysed the data; and A.S. and K.J. led the writing.

Abbreviations and units and nomenclature

SI units (m, km², kg, etc.) are preferred. Statistics and measurements should always be given in figures, i.e. 10 km, except where the number begins the paragraph. When the number does not refer to a unit of measurement, it is spelt out (e.g. three samples), except where the number is greater than 100. Use: negative exponents (e.g. t year⁻¹, not t/year); L for litres; 24-hour clock format; and format dates as 31 March 1999. The word 'Figure' should be abbreviated in the text, e.g. Fig. 1, Figs 2 and 3. The correct nomenclatural authorities for all taxa must be given on their first appearance in the text, in Tables, or figure captions, unless a general reference to a standard source can be provided at an appropriate place. A list of preferred abbreviations and naming conventions is available [here](#).

Headings

Main text: Three different weights of headings are available:

A: New line, full out left, all capitals, bold type; following text on new line not indented; [example A LEVEL HEADING]

B: New line, full out left, initial capital letter first word only, bold type; following text on new line not indented; [example B level heading]

C: New line, full out left, initial capital letter first word only, italic; following text on new line not indented; [example C level heading]

Running title heading: A short running title should be included on the cover page for Research Papers, Research Reviews, Ecological Soundings and Meta-Analyses, and should be less than 60 characters (max.) in length (including spaces).

Tables

Tables must be typed on separate sheets and numbered consecutively (Table 1, Table 2, etc.). Column headings should be brief: with units of measurement in parentheses. Tables should be typed as text, using 'tabs' (not spaces) to align columns. The use of table editors should be avoided. Do not use graphics software to create tables.

Figures, Illustrations and Maps

All illustrations (including photographs) are classified as figures and should be numbered consecutively (Fig. 1, Fig. 2, etc.). When submitting a manuscript to ScholarOne Manuscripts, authors should upload a single text file with embedded figures. Upon your manuscript being accepted for publication, please supply separate files containing electronic versions of your figures (see File Formats, below). Please note that your paper will go through production more quickly if instructions on content and format are followed carefully.

Each figure must have a legend that makes the material completely understandable. Legends should be presented separately from the figures, in a list at the end of the manuscript. Label multi-panel figures (a), (b), (c), etc., preferably in the upper left corner, and refer to them in the text as, for example, Fig. 1(a). Please ensure that electronic artwork is prepared such that, after reduction to fit across one or two columns or two-thirds width (80 mm, 169 mm or 110 mm, respectively) as required, all lettering and symbols will be clear and easy to read, i.e. no labels should be too large or too small. Avoid using tints if possible; if they are essential to the understanding of the figure, try to make them coarse.

Maps that display area data and organism distribution at a continental, hemispheric, or world scale must always use an equal-area map projection (e.g. Mollweide or Aitoff's). Note especially that Mercator's projection is not acceptable for such data. Please indicate the precise projection employed in the caption. On these maps, the equatorial scale should be indicated, while scale information should be provided, preferably as a scale bar within the figure, for all maps of whatever size and area.

File Formats: After acceptance of your manuscript for publication, figure files should be supplied as follows. Photographic figures should be saved in tif format at 300 d.p.i. (or failing that in jpg format with low compression). Line figures should be saved as vector graphics (i.e. composed of lines, curves, points and fonts; not pixels) in eps or pdf format, or embedded as such in Word, as this enhances their display when published online. Combination figures (those composed of vector and pixel/raster elements) should also be saved in eps or pdf format where possible (or embedded as such in Word). If line figures and combination figures cannot be saved in vector graphics format, they should be saved in tif format at high resolution (i.e. 600 d.p.i.) (do not save them in jpg format). If you are unsure about the resolution of your tif files, please zoom in and check that fonts, curves and diagonal lines are smooth-edged and do not appear blocky when viewed at high magnification. Note

that line and combination figures supplied in tif format are downsampled for online publication and so authors should preferentially opt for vector graphic formats for these figure types (full resolution tif files are used for print publication).

Full artwork guidelines are given on the publisher's web site <http://authorservices.wiley.com/bauthor/illustration.asp>

Appendices and Supporting Information

Appendices may be provided for important primary data, which needs to be included in the paper. If, however, these data are very extensive, or if they are of only indirect relevance to the paper, they will normally be made available in an electronic form through the Journal's web pages. Mention of the first supporting appendix, table or figure ,etc., in the text should be in the form 'see Appendix S1 in Supporting Information' [where 'S' indicates Supporting], subsequent mention should be in the form 'see Appendix S2'. Authors should then include a Supporting Information section after the References section, which should be in the following form (text in curly brackets is for completion by the author, see instructions below):

Supplementary Material

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article:

Appendix S1 {Insert short legend to online appendix 1}

Appendix S2 {Insert short legend to online appendix 2}

As a service to our authors and readers, this journal provides supporting information supplied by the authors. Such materials are peer-reviewed and may be reorganized for online delivery, but are not copy-edited or typeset. Technical support issues arising from supporting information (other than missing files) should be addressed to the authors.

Only short legends to online appendices should be given in the Supporting Information section; full legends can be given with the online supporting information itself. In the above URL, 'YEAR' is the year of article acceptance (e.g. 2007), and '12345' is the 5-digit production office code for your paper, e.g. 00361. Supporting Information files are hosted by the Publisher in the format supplied by the author and are not copy-edited by the Publisher. It is the responsibility of the author to supply Supporting Information in an appropriate file format and to ensure that it is accurate and correct. The onus is on the author to ensure that material is sent in a correct form at the time of submission. Note: if authors supply links to their own web sites, Wiley-Blackwell is not responsible for the material on these sites. Further information on Supporting Information is available here.

References

Authors must use the system illustrated below. Abbreviate editors to eds and edition to edn. Page extents of single-volume works are not required. Titles of journals should be given in full. Unpublished data, works in preparation and papers submitted but not yet accepted may be cited in the text, giving the author's initials and surname, but should not be included in the reference list. It is the author's responsibility to obtain permission from colleagues to include their work as a personal communication.

In the text, references should be made by giving the author's name with the year of publication, as follows: (Bush & Rivera, 1998). When reference is made to a work by three or more authors the first name followed by et al. is used on all occasions. If several papers by the same author and from the same year are cited, a, b, c, etc., should be put after the year of publication, as follows (Schoener & Shoener, 1983a, b). When citing a list of papers, place them in date order (alphabetically when within a year) and separate them with semi-colons as follows (Schoener & Shoener, 1983a, b; Bush & Rivera, 1998; Collins, 1998).

References must be listed in alphabetical order at the end of the paper in the following standard forms (titles of journals in full):

Cox, C. B. & Moore, P. D. (1999) *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*, 6th edn. Blackwell Science Ltd, Oxford.

May, R.M. (1994) The effects of spatial scale on ecological questions and answers. *Large-scale ecology and conservation biology* (ed. by P.J. Edwards, R.M. May and N.R. Webb), pp. 1-17. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Prentice, I.C., Guiot, J., Huntley, B., Jolly, D. & Cheddadi, R. (1996) Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics*, 12, 185-194.

We recommend the use of a tool such as EndNote for reference management and formatting. Visit Endnote to download the most up to date EndNote reference style for Global Ecology and Biogeography.

Copyright Transfer Agreement. Authors will be required to sign an Copyright Transfer Agreement (CTA) for all papers accepted for publication. For jointly authored papers, all authors are required to sign the CTA unless they have delegated the Corresponding author to sign on their behalf, in which case they must do this in writing to the Corresponding author and confirm that they have read the CTA and agree to publication of the paper and the terms of the CTA. Signature of the CTA is a condition of publication and papers will not be passed to the publisher for production unless a signed form has been received. (Government employees need to complete the Author Warranty sections, although copyright in such cases does not need to be assigned). After submission authors will retain the right to publish their paper in various medium/circumstances (please see the form for further details). To assist authors an appropriate form will be supplied by the editorial office. Alternatively, authors may like to download a copy of the form www.wiley.com/go/ctaaglobal. The form should be returned by post, fax or e-mail attachment to: Production Editor, Global Ecology and Biogeography, Wiley-Blackwell, 101 George Street, Edinburgh EH2 3ES, UK, Fax: +44 131 226 3803, E-mail: geb@wiley.com

OnlineOpen. OnlineOpen is available to authors of primary research articles who wish to make their article available to non-subscribers upon publication, or whose funding agency requires grantees to archive the final version of their article. With OnlineOpen the author, the author's funding agency, or the author's institution pays a fee to ensure that the article is made available to non-subscribers upon publication via Wiley InterScience, as well as deposited in the funding agency's preferred archive. For the full list of terms and conditions, see http://wileyonlinelibrary.com/onlineopen#OnlineOpen_Terms.

Any authors wishing to publish their paper OnlineOpen will be required to complete the payment form available on our website at:

https://authorservices.wiley.com/bauthor/onlineopen_order.asp

Prior to acceptance there is no requirement to inform an Editorial Office that you intend to publish your paper OnlineOpen if you do not wish to. All OnlineOpen articles are treated in the same way as any other article. They go through the journal's standard peer-review process and will be accepted or rejected based on their own merit.

Proofs. Authors will be sent an e-mail alerting them that their PDF proof is available for download. Your proofs should preferably be marked-up electronically using the Acrobat's PDF annotation tools, and returned by e-mail to the address below. The PDF software can be downloaded free of charge from the following web site: <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>. Instructions on using the annotation tools are given at the end of the proof. If you are unable to electronically annotate the proof, authors may mark-up hardcopy. Please return your corrected proofs to the Production Editor within two weeks of receipt. If this is not possible, or if you have no corrections, please advise the Production Editor by e-mail. Send corrections to geb@wiley.com (or if returning hardcopy: Production Editor, Global Ecology and Biogeography, Wiley-Blackwell, 101 George Street, Edinburgh EH2 3ES, UK). If you registered with Author Services when you submitted your paper you will receive an e-mail within 48-hours to confirm that your proof corrections have been received. Major alterations to the text and illustrations are only accepted when absolutely necessary; the additional costs may be charged to the author.

Offprints. Free access to the final PDF offprint or your article will be available via Author Services only. Please therefore sign up for Author Services when your paper is accepted if you would like to access your article PDF offprint and enjoy the many other benefits that Author Service offers (see next section). Paper offprints may also be purchased and should be ordered when you return your proof corrections by following the instructions supplied at the time.

Online production tracking is available for your article through Wiley-Blackwell's Author Services. Author Services enables authors to track their article – once it has been accepted – through the production process to publication online and in print. Authors can check the status of their articles online and choose to receive automated e-mails at key stages of production. The author will receive an e-mail with a unique link that

enables them to register and have their article automatically added to the system. Please ensure that a complete e-mail address is provided when submitting the manuscript. Visit <http://authorservices.wiley.com/bauthor/> for more details on online production tracking and for a wealth of resources including FAQs and tips on article preparation, submission and more.

Global Ecology and Biogeography is covered by Current Contents, Current Awareness in Biological Sciences (CABS), Science Citation Index and Res. Alert. The Publisher's policy is to use acid free permanent paper, to the draft standard ISO/DIS 9706, made from sustainable forests using chlorine-free pulp. The paper used in this journal has an ECOCHECK 4-star rating.

Policy on the use of RAPD markers. The appropriateness of RAPD markers for population genetic inference is increasingly questioned by our reviewers and editors because of concerns about reproducibility, dominance, and homology. Given these worries, and the ready availability of other kinds of markers that do not suffer from all of these problems, studies based primarily on RAPDs only rarely pass the scrutiny of peer review in Global Ecology and Biogeography. Of course, there may be situations in which RAPDs are appropriate, such as in genetic mapping studies or in searches for diagnostic markers for a given species or trait. These latter kinds of studies will continue to be reviewed by the journal.

Web Site address: <http://wileyonlinelibrary.com/journal/geb>

Biodiversity and Conservation

GENERAL

Language

The journal's language is English. British English or American English spelling and terminology may be used, but either one should be followed consistently throughout the article. Authors are responsible for ensuring the language quality prior to submission.

Is there an existing module for this? It should probably be made clear on submission to all journals.

Spacing

Please double-space all material, including notes and references.

Nomenclature

The correct names of organisms conforming with the international rules of nomenclature must be used. Descriptions of new taxa should not be submitted unless a specimen has been deposited in a recognized collection and it is designated as a type strain in the paper. Biodiversity and Conservation uses the same conventions for the genetics nomenclature of bacteria, viruses, transposable elements, plasmids and restriction enzymes as the American Society for Microbiology journals.

Article types

The journal publishes original research, and also Editorials, Comments and Research notes. These types of articles should be submitted to the Journals Editorial Office in the usual way, but authors should select whether they are Original Research, Editorials, Comments or Research notes.

Instructions for Authors

MANUSCRIPT SUBMISSION

Submission of a manuscript implies: that the work described has not been published before; that it is not under consideration for publication anywhere else; that its publication has been approved by all co-authors, if any, as well as by the responsible authorities – tacitly or explicitly – at the institute where the work has been carried out. The publisher will not be held legally responsible should there be any claims for compensation.

Permissions

Authors wishing to include figures, tables, or text passages that have already been published elsewhere are required to obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format and to include evidence that such permission has been granted when submitting their papers. Any material received without such evidence will be assumed to originate from the authors.

Online submission

Authors should submit their manuscripts online. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing times and shortens overall publication times. Please follow the hyperlink "Submit online" on the right and upload all of your manuscript files following the instructions given on the screen.

TITLE PAGE

The title page should include:

The name(s) of the author(s)

A concise and informative title

The affiliation(s) and address(es) of the author(s)

The e-mail address, telephone and fax numbers of the corresponding author

Abstract

Please provide an abstract of 150 to 250 words. The abstract should not contain any undefined abbreviations or unspecified references.

Keywords

Please provide 4 to 6 keywords which can be used for indexing purposes.

TEXT

Text formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.

Use italics for emphasis.

Use the automatic page numbering function to number the pages.

Do not use field functions.

Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.

Use the table function, not spreadsheets, to make tables.

Use the equation editor or MathType for equations.

Word template (zip, 154 kB)

LaTeX macro package (zip, 182 kB)

Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

Abbreviations should be defined at first mention and used consistently thereafter.

Footnotes

Footnotes can be used to give additional information, which may include the citation of a reference included in the reference list. They should not consist solely of a reference citation, and they should never include the bibliographic details of a reference. They should also not contain any figures or tables.

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols. Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section before the reference list. The names of funding organizations should be written in full.

REFERENCES

Citation

Cite references in the text by name and year in parentheses. Some examples:

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

This result was later contradicted by Becker and Seligman (1996).

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999).

Reference List

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list.

Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work.

Journal article

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Effect of high intensity intermittent training on heart rate variability in prepubescent children. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. doi: 10.1007/s00421-008-0955-8

Ideally, the names of all authors should be provided, but the usage of “et al” in long author lists will also be accepted:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Future of health insurance. *N Engl J Med* 341:325–329

EndNote style (zip, 3 kB)

Article by DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Clinical implications of dysregulated cytokine production. *J Mol Med.* doi:10.1007/s001090000086

Book

South J, Blass B (2001) *The future of modern genomics*. Blackwell, London

Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) The rise of modern genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

Online document

Cartwright J (2007) Big stars have weather too. IOP Publishing PhysicsWeb.

<http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Accessed 26 June 2007

Dissertation

Trent JW (1975) Experimental acute renal failure. Dissertation, University of California

Always use the standard abbreviation of a journal's name according to the ISSN List of Title Word

Abbreviations, see

www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php

For authors using EndNote, Springer provides an output style that supports the formatting of in-text citations and reference list.

TABLES

All tables are to be numbered using Arabic numerals.

Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.

For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.

Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.

Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.

ARTWORK AND ILLUSTRATIONS GUIDELINES

For the best quality final product, it is highly recommended that you submit all of your artwork – photographs, line drawings, etc. – in an electronic format. Your art will then be produced to the highest standards with the greatest accuracy to detail. The published work will directly reflect the quality of the artwork provided.

Electronic Figure submission

Supply all figures electronically.

Indicate what graphics program was used to create the artwork.

For vector graphics, the preferred format is EPS; for halftones, please use TIFF format. MS Office files are also acceptable.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Name your figure files with "Fig" and the figure number, e.g., Fig1.eps.

Line Art

Definition: Black and white graphic with no shading.

Do not use faint lines and/or lettering and check that all lines and lettering within the figures are legible at final size.

All lines should be at least 0.1 mm (0.3 pt) wide.

Scanned line drawings and line drawings in bitmap format should have a minimum resolution of 1200 dpi.

Vector graphics containing fonts must have the fonts embedded in the files.

Halftone Art

Definition: Photographs, drawings, or paintings with fine shading, etc.

If any magnification is used in the photographs, indicate this by using scale bars within the figures themselves.

Halftones should have a minimum resolution of 300 dpi.

Combination Art

Definition: a combination of halftone and line art, e.g., halftones containing line drawing, extensive lettering, color diagrams, etc.

Combination artwork should have a minimum resolution of 600 dpi.

Color Art

Color art is free of charge for online publication.

If black and white will be shown in the print version, make sure that the main information will still be visible. Many colors are not distinguishable from one another when converted to black and white. A simple way to check this is to make a xerographic copy to see if the necessary distinctions between the different colors are still apparent.

If the figures will be printed in black and white, do not refer to color in the captions. Color illustrations should be submitted as RGB (8 bits per channel).

Figure lettering

To add lettering, it is best to use Helvetica or Arial (sans serif fonts).

Keep lettering consistently sized throughout your final-sized artwork, usually about 2–3 mm (8–12 pt).

Variance of type size within an illustration should be minimal, e.g., do not use 8-pt type on an axis and 20-pt type for the axis label.

Avoid effects such as shading, outline letters, etc.

Do not include titles or captions within your illustrations.

Figure Numbering

All figures are to be numbered using Arabic numerals.

Figures should always be cited in text in consecutive numerical order.

Figure parts should be denoted by lowercase letters (a, b, c, etc.).

If an appendix appears in your article and it contains one or more figures, continue the consecutive numbering of the main text. Do not number the appendix figures, "A1, A2, A3, etc." Figures in online appendices (Electronic Supplementary Material) should, however, be numbered separately.

Figure caption

Each figure should have a concise caption describing accurately what the figure depicts. Include the captions in the text file of the manuscript, not in the figure file. Figure captions begin with the term Fig. in bold type, followed by the figure number, also in bold type.

No punctuation is to be included after the number, nor is any punctuation to be placed at the end of the caption.

Identify all elements found in the figure in the figure caption; and use boxes, circles, etc., as coordinate points in graphs.

Identify previously published material by giving the original source in the form of a reference citation at the end of the figure caption.

Figure placement and size

When preparing your figures, size figures to fit in the column width.

For most journals the figures should be 39 mm, 84 mm, 129 mm, or 174 mm wide and not higher than 234 mm.

For books and book-sized journals, the figures should be 80 mm or 122 mm wide and not higher than 198 mm.

Permissions

If you include figures that have already been published elsewhere, you must obtain permission from the copyright owner(s) for both the print and online format. Please be aware that some publishers do not grant electronic rights for free and that Springer will not be able to refund any costs that may have occurred to receive these permissions. In such cases, material from other sources should be used.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your figures, please make sure that all figures have descriptive captions (blind users could then use a text-to-speech software or a text-to-Braille hardware)

Patterns are used instead of or in addition to colors for conveying information (color-blind users would then be able to distinguish the visual elements)

Any figure lettering has a contrast ratio of at least 4.5:1

DOES SPRINGER PROVIDE ENGLISH LANGUAGE SUPPORT?

Manuscripts that are accepted for publication will be checked by our copyeditors for spelling and formal style. This may not be sufficient if English is not your native language and substantial editing would be required. In that case, you may want to have your manuscript edited by a native speaker prior to submission. A clear and concise language will help editors and reviewers concentrate on the scientific content of your paper and thus smooth the peer review process.

The following editing service provides language editing for scientific articles in all areas Springer publishes in.

Use of an editing service is neither a requirement nor a guarantee of acceptance for publication.

Please contact the editing service directly to make arrangements for editing and payment.

For authors from China

文章在投稿前进行专业的语言润色将对作者的投稿进程有所帮助。作者可自愿选择使用Springer推荐的编辑

辑服务，使用与否并不作为判断文章是否被录用的依据。提高文章的语言质量将有助于审稿人理解文章的

内容，通过对学术内容的判断来决定文章的取舍，而不会因为语言问题导致直接退稿。作者需自行联系Springer推荐的编辑服务公司，协商编辑事宜。理文编辑

For authors from Japan

ジャーナルに論文を投稿する前に、ネイティブ・スピーカーによる英文校閲を希望されている方には、Edanz社をご紹介します。サービス内容、料金および申込方法など、日本語による詳しい説明はエダンズグループジャパン株式会社の下記サイトをご覧ください。エダンズグループジャパン
For authors from Korea

영어 논문 투고에 앞서 원어민에게 영문 교정을 받고자 하시는 분들께 Edanz 회사를 소개해 드립니다. 서비스 내용, 가격 및신청 방법 등에 대한 자세한 사항은 저희 Edanz Editing Global 웹사이트를 참조해 주시면 감사하겠습니다.

다.

Edanz Editing Global

ELECTRONIC SUPPLEMENTARY MATERIAL

Springer accepts electronic multimedia files (animations, movies, audio, etc.) and other supplementary files to be published online along with an article or a book chapter. This feature can add dimension to the author's article, as certain information cannot be printed or is more convenient in electronic form.

Submission

Supply all supplementary material in standard file formats.

Please include in each file the following information: article title, journal name, author names; affiliation and e-mail address of the corresponding author.

To accommodate user downloads, please keep in mind that larger-sized files may require very long download times and that some users may experience other problems during downloading.

Audio, video and animations

Always use MPEG-1 (.mpg) format.

Text and presentations

Submit your material in PDF format; .doc or .ppt files are not suitable for long-term viability.

A collection of figures may also be combined in a PDF file.

Spreadsheets

Spreadsheets should be converted to PDF if no interaction with the data is intended.

If the readers should be encouraged to make their own calculations, spreadsheets should be submitted as .xls files (MS Excel).

Specialized formats

Specialized format such as .pdb (chemical), .vrl (VRML), .nb (Mathematica notebook), and .tex can also be supplied.

Collecting multiple files

It is possible to collect multiple files in a .zip or .gz file.

Numbering

If supplying any supplementary material, the text must make specific mention of the material as a citation, similar to that of figures and tables.

Refer to the supplementary files as "Online Resource", e.g., "... as shown in the animation (Online Resource 3)", "... additional data are given in Online Resource 4".

Name the files consecutively, e.g. "ESM_3.mpg", "ESM_4.pdf".

Captions

For each supplementary material, please supply a concise caption describing the content of the file.

Processing of supplementary files

Electronic supplementary material will be published as received from the author without any conversion, editing, or reformatting.

Accessibility

In order to give people of all abilities and disabilities access to the content of your supplementary files, please make sure that the manuscript contains a descriptive caption for each supplementary material.

Video files do not contain anything that flashes more than three times per second (so that users prone to seizures caused by such effects are not put at risk).

Biota Neotropica

Instruções aos Autores

Os trabalhos deverão ser enviados em arquivos em formato DOC (MS-Word for Windows versão 6.0 ou superior) ou, preferencialmente, em formato RTF (Rich Text Format). Os trabalhos poderão conter os links eletrônicos que o autor julgar apropriados. A inclusão de links eletrônicos é encorajada pelos editores por tornar o trabalho mais rico. Os links devem ser incluídos usando-se os recursos disponíveis no MS-Word para tal. Todos os trabalhos terão sua formatação gráfica refeita, de acordo com padrões pré-estabelecidos pela Comissão

Editorial para cada categoria, antes de serem publicados. As imagens e tabelas pertencentes ao trabalho serão inseridas no texto final, a critério dos Editores, de acordo com os padrões previamente estabelecidos. Os editores se reservam o direito de incluir links eletrônicos apenas às referências internas a figuras e tabelas citadas no texto, assim como a inclusão de um índice (table of contents), quando julgarem apropriado. O trabalho em sua formatação final será apresentado ao autor para que seja aprovado para publicação. Fica reservado ainda aos editores, o direito de utilização das imagens do documento para a composição gráfica do site.

Os trabalhos submetidos à revista BIOTA NEOTROPICA devem, obrigatoriamente, ser subdivididos em um conjunto específico de arquivos, com os nomes abaixo especificados, de acordo com seus conteúdos. Os nomes dos arquivos deverão ter a extensão apropriada para o tipo de formato utilizado, ou seja, .rtf, para arquivos em RichText Format, .doc para MS-Word, .gif para imagens em GIF, .jpg para imagens em jpeg etc, devem ser escritos em letras minúsculas e não devem apresentar hífens, espaços ou qualquer caracter extra.

Em todos os textos deve ser utilizada, como fonte básica, Times New Roman, tamanho 10. Nos títulos e subtítulos podem ser utilizados tamanhos 11 ou 12, conforme o caso. Podem ser utilizados negritos, itálicos, sublinhados, subscritos e superscritos, quando pertinente. Evite, porém, o uso excessivo desses recursos. Em casos especiais, podem ser utilizadas as seguintes fontes: Courier New, Symbol e Wingdings. A utilização dessas fontes deverá ser feita apenas em casos especiais. (ver item fórmulas abaixo)

Apenas dois níveis de subtítulos serão permitidos, abaixo do título de cada seção. Apenas um nível de numeração será permitida em parágrafos, assim como, será permitido apenas um nível de itemização. Os títulos e sub-títulos deverão ser numerados em algarismos arábicos seguidos de um ponto para auxiliar na identificação de sua hierarquia quando da formatação final do trabalho. Ex. 1. Introdução; 1.1 sub-título; 1.1.1 sub-sub-título).

Documento principal

O corpo principal do trabalho, os títulos, resumos e palavras-chave em português ou espanhol e inglês, e referências bibliográficas, devem estar contidos em um único arquivo chamado principal.rtf ou principal.doc. Esse arquivo não deve conter tabelas ou figuras, que deverão estar em arquivos separados, conforme descrito a seguir. O manuscrito deverá seguir o seguinte formato:

Título e Autores

Título conciso e informativo;

Título resumido

nome completo dos autores; filiações e endereços completos com links eletrônicos para as instituições, indicando o autor para correspondência e respectivo email.

Resumos

Os resumos devem conter, no máximo, 1500 palavras.

Título em inglês

Resumo em inglês

Palavras-chave em inglês

Título em português ou espanhol

Resumo em português ou espanhol

Palavras-chave em português ou espanhol

Corpo do Trabalho

No caso do trabalho estar nas categorias "Artigo Científico", "Short Communications", "Inventários" e "Chaves de Identificação" deverá ter a seguinte estrutura:

Introdução

Material e Métodos

Resultados

Discussão

Agradecimentos

Referências bibliográficas.

A critério do autor, os itens Resultados e Discussão podem ser fundidos.

No caso da categoria "Inventários" a listagem de espécies, ambientes, descrições, fotos etc, devem ser enviadas separadamente para que possam ser organizadas conforme formatações específicas.

No caso da categoria "Chaves de Identificação" a chave em si deve ser enviada separadamente para que possa ser formatada adequadamente.

No caso de referência a material coletado é obrigatória a citação das coordenadas geográficas do local de coleta. A citação deve ser feita em graus, minutos e segundos. Ex. 24N 32'75". Nos casos de referências a espécies ameaçadas, deve-se especificar apenas graus e minutos.

Colocar as citações bibliográficas de acordo com o seguinte padrão: Silva (1960) ou (Silva 1960); Silva (1960, 1973); Silva (1960a, b); Silva & Pereira (1979) ou (Silva & Pereira 1979); Silva et al. (1990) ou (Silva et al. 1990); (Silva 1989, Pereira & Carvalho 1993, Araujo et al. 1996, Lima 1997). Citar referências a resultados não publicados ou trabalhos submetidos da seguinte forma: (A.E. Silva, dados não publicados). Em trabalhos taxonômicos, detalhar as citações do material examinado, conforme as regras específicas para o tipo de organismo estudado.

Citar números e unidades da seguinte forma: escrever números até nove por extenso, a menos que sejam seguidos de unidades. Utilizar, para número decimal, vírgula nos artigos em português ou espanhol (10,5 m) ou ponto nos escritos em inglês (10.5 m). Utilizar o Sistema Internacional de Unidades, separando as unidades dos valores por um espaço (exceto para porcentagens, graus, minutos e segundos); utilizar abreviações sempre que possível. Não inserir espaços para mudar de linha caso a unidade não caiba na mesma linha.

Não use notas de rodapé, inclua a informação diretamente no texto, pois torna a leitura mais fácil e reduz o número de links eletrônicos do manuscrito.

Referências bibliográficas

Adotar o formato apresentado nos seguintes exemplos:

SMITH, P.M. 1976. The chemotaxonomy of plants. Edward Arnold, London.

SNEDECOR, G.W. & COCHRAN, W.G. 1980. Statistical Methods. 7 ed. Iowa State University Press, Ames.

SUNDERLAND, N. 1973. Pollen and anther culture. In Plant tissue and cell culture (H.F. Street, ed.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, p.205-239.

BENTHAM, G. 1862. Leguminosae. Dalbergiae. In Flora Brasiliensis (C.F.P. Martius & A.G. Eichler, eds.). F. Fleischer, Lipsiae, v.15, pars 1, p.1-349.

MANTOVANI, W., ROSSI, L., ROMANIUC NETO, S., ASSAD-LUDEWIGS, I.Y., WANDERLEY, M.G.L., MELO, M.M.R.F. & TOLEDO, C.B. 1989. Estudo fitossociológico de áreas de mata ciliar em Mogi-Guaçu, SP, Brasil. In Simpósio sobre mata ciliar (L.M. Barbosa, coord.). Fundação Cargil, Campinas, p.235-267.

FERGUSON, I.B. & BOLLARD, E.G. 1976. The movement of calcium in woody stems. Ann. Bot. 40:1057-1065.

STRUFFALDI-DE VUONO, Y. 1985. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta da Reserva Biológica do Instituto de Botânica de São Paulo, SP. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Abreviar títulos dos periódicos de acordo com o "World List of Scientific Periodicals".

Para citação dos trabalhos publicados na Biota Neotropica

Exemplo: PORTELA, R.C.Q. & SANTOS, F.A. M. 2003. Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. Biota Neotropica 3(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract?article+BN03104022004>

Todos os trabalhos publicados na Biota Neotropica têm um endereço eletrônico individual, que aparece imediatamente abaixo do(s) nome(s) do(s) autor(es) no PDF do trabalho. Este código individual é composto pelo número que o manuscrito recebe quando submetido (005 no exemplo acima), o número do volume (03), o número do fascículo (02) e o ano (2003).

Tabelas

Cada tabela deve ser enviada em arquivo separado. Cada arquivo deve ser denominado como tabelaN.EXT, onde N é o número da tabela e EXT é a extensão, de acordo com o formato utilizado, ou seja, doc para tabelas produzidas em formato MS-Word, rtf para as produzidas em Rich Text Format, ou xls, para as produzidas em MS-Excel. Esses são os três únicos formatos aceitos. Assim, o arquivo contendo a tabela 1, que esteja em formato MS-Excel, deve se chamar tabela1.xls. Evitar abreviações, exceto para unidades. Cada tabela deve ter seu título anexado em sua parte superior.

Figuras

Cada figura deve ser enviada em arquivo separado. Cada arquivo deve ser denominado como figuraN.EXT, onde N é o número da figura e EXT é a extensão, de acordo com o formato da figura, ou seja, jpg para imagens em JPEG, gif para imagens em formato gif, tif para imagens em formato TIFF, bmp para imagens em formato BMP. Assim, o arquivo contendo a figura 1, cujo formato é tif, deve se chamar figura1.tif. Aconselha-se o uso de

formatos JPEG e TIFF para fotografias e GIF ou BMP para gráficos. Outros formatos de imagens poderão também ser aceitos, sob consulta prévia. As imagens devem ser enviadas na melhor resolução possível. Imagens com resolução menor que 300 dpi podem comprometer a qualidade final do trabalho, quando impresso pelo usuário final. O tamanho da imagem deve, sempre que possível, ter uma proporção de 3x2 ou 2x3 entre a largura e altura. Os textos inseridos nas figuras devem utilizar fontes sans-serif, como Arial ou Helvética, para maior legibilidade. Figuras compostas por várias outras devem ser enviadas, cada parte, em arquivos separados identificados por letras. Ex. figura1a.gif, figura2a.gif etc. Utilize escala de barras para indicar tamanho. As figuras não devem conter legendas, estas deverão ser especificadas em arquivo próprio (veja abaixo). É imprescindível que o autor abra os arquivos que preparou para submissão e verifique, cuidadosamente, se as figuras, gráficos ou tabelas estão, efetivamente, no formato desejado.

Fórmulas

Fórmulas que puderem ser escritas em uma única linha, mesmo que exijam a utilização de fontes especiais (Symbol, Courier New e Wingdings), poderão fazer parte do texto. Ex. $a = pr^2$ ou Na_2HPO_4 , etc. Qualquer outro tipo de fórmula ou equação deverá ser considerada uma figura e, portanto, seguir as regras estabelecidas para figuras.

Legendas

Deve ser enviado um arquivo chamado legenda.doc ou legenda.rtf, dependendo do formato utilizado, contendo as legendas de todas as figuras. Cada legenda deve estar contida em um único parágrafo e deve ser identificada, iniciando-se o parágrafo por Figura N, onde N é o número da figura. Figuras compostas podem ou não ter legendas independentes. Caso uma tabela tenha uma legenda, essa deve ser incluída nesse arquivo, contida em um único parágrafo, sendo identificada iniciando-se o parágrafo por Tabela N, onde N é o número da tabela.

Arquivo de conteúdo

Juntamente com os arquivos que compõem o artigo, descritos acima, deve ser enviado um arquivo denominado indice.doc ou indice.rtf, que contém a relação dos nomes de todos os arquivos que fazem parte do documento, especificado um por linha.

Para citação dos trabalhos publicados na Biota Neotropica

Exemplo: PORTELA, R.C.Q. & SANTOS, F.A. M. 2003. Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. Biota Neotropica 3(2): <http://www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/abstract?article+BN00503022003>

O endereço eletrônico específico de cada artigo deve ser indicado na referência, esse endereço se encontra em todos os artigos logo abaixo dos títulos.

Biological Conservation

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your wordprocessor.

Set up your document one-sided, using double spacing and wide (3 cm) margins. Use continuous line numbering throughout the document. Avoid full justification, i.e., do not use a constant right-hand margin. Ensure that each new paragraph is clearly indicated. Number every page of the manuscript, including the title page, references tables, etc. Present tables and figure legends on separate pages at the end of the manuscript. Layout and conventions must conform with those given in this guide to authors. Journal style has changed over time so do not use old issues as a guide. Number all pages consecutively. Italics are not to be used for expressions of Latin origin, for example, *in vivo*, *et al.*, *per se*. Use decimal points (not commas); use a space for thousands (10 000 and above).

Cover letter

Submission of a manuscript must be accompanied by a cover letter that includes the following statements or acknowledgements:

The work is all original research carried out by the authors.

All authors agree with the contents of the manuscript and its submission to the journal.

No part of the research has been published in any form elsewhere, unless it is fully acknowledged in the manuscript. Authors should disclose how the research featured in the manuscript relates to any other manuscript of a similar nature that they have published, in press, submitted or will soon submit to Biological Conservation or elsewhere.

The manuscript is not being considered for publication elsewhere while it is being considered for publication in this journal.

Any research in the paper not carried out by the authors is fully acknowledged in the manuscript.

All sources of funding are acknowledged in the manuscript, and authors have declared any direct financial benefits that could result from publication.

All appropriate ethics and other approvals were obtained for the research. Where appropriate, authors should state that their research protocols have been approved by an authorized animal care or ethics committee, and include a reference to the code of practice adopted for the reported experimentation or methodology. The Editor will take account of animal welfare issues and reserves the right not to publish, especially if the research involves protocols that are inconsistent with commonly accepted norms of animal research.

Please include a short paragraph that describes the main finding of your paper, and its significance to the field of conservation biology.

The authors should state in the cover letter if the paper in any form has previously been submitted to Biological Conservation. In that case the authors should specify the original manuscript number.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Glossary

Please supply, as a separate list, the definitions of field-specific terms used in your article.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- Title. Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- Author names and affiliations. Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- Corresponding author. Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.
- Present/permanent address. If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required (maximum length of 250 words). The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, they must be cited in full, without reference to the reference list. Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Stereochemistry abstract

For each important chiral compound you are requested to supply a stereochemistry abstract detailing structure, name, formula and all available stereochemical information for eventual incorporation into a database. An abstract for only one enantiomer per compound is required.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Nomenclature and Units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI) for all scientific and laboratory data. If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI.

Common names must be in lower-case except proper nouns. All common names must be followed by a scientific name in parentheses in italics. For example, bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*). Where scientific names are used in preference to common names they should be in italics and the genus should be reduced to the first letter after the first mention. For example, the first mention is given as *Tursiops aduncus* and subsequent mentions are given as *T. aduncus*.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Video data

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

Supplementary data

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high-resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

The supplementary material should be cited as an online Appendix to the paper, usually in the Methods. If it contains several tables, images and/or figures, these should be cited as Table A1, Figure A1 and so on.

Authors are strongly encouraged to make the data supporting their paper available to readers through an open-access data repository and/or as an Appendix to the paper. For more details on journal data policy see the paragraphs on Data Depositing and Linking to and depositing data at PANGAEA.

Data Depositing

Ideally, data should be freely available online through a specialist data centre that provides a permanent archive (repository) for the dataset, and may integrate the data with other datasets using international standards. Examples include PANGAEA, and GBIF and its major contributors such as OBIS and VertNet. Some Ocean Data Centres may also provide this service. Where such a data centre does not exist, we ask that the data be made freely available online from a permanent archive (repository). Where possible, it should follow international data standards. This may be an institutional repository for its staff. The data should be accompanied by sufficient information (metadata) for the reader to understand its composition and origins, and determine if it is fit for their purpose. In particular, the data should allow the results of the publication to be reproduced. Data being downloadable from departmental or personal websites is not regarded as permanently archived.

Data at PANGAEA

Electronic archiving of supplementary data enables readers to replicate, verify and build upon the conclusions published in your paper. We recommend that data should be deposited in the data library PANGAEA (<http://www.pangaea.de>). Data are quality controlled and archived by an editor in standard machine-readable formats and are available via Open Access. After processing, the author receives an identifier (DOI) linking to the supplements for checking. As your data sets will be citable you might want to refer to them in your article. In

any case, data supplements and the article will be automatically linked as in the following example: doi:10.1016/0016-7037(95)00105-9. Please use PANGAEA's web interface to submit your data (<http://www.pangaea.de/submit/>).

Google Maps and KML files

KML (Keyhole Markup Language) files (optional): You can enrich your online articles by providing KML or KMZ files which will be visualized using Google maps. The KML or KMZ files can be uploaded in our online submission system. KML is an XML schema for expressing geographic annotation and visualization within Internet-based Earth browsers. Elsevier will generate Google Maps from the submitted KML files and include these in the article when published online. Submitted KML files will also be available for downloading from your online article on ScienceDirect. For more information see <http://www.elsevier.com/googlemaps>.

Submission checklist

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item.

Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Phone numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>.

If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately – please let us have all your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be

guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail. The PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use.

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. For detailed instructions on the preparation of electronic artwork, please visit <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs at <http://www.elsevier.com/authorFAQ> and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.