

TÁSSIA DE SOUSA PINHEIRO

**Estrutura filogenética e composição funcional das  
restingas do nordeste do Brasil**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica – UFRPE, como um dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Botânica.

**Orientadora:** Dr<sup>a</sup>. Carmen Silvia Zickel

**Coorientadores:** Dr. Bráulio Almeida Santos

Dr<sup>a</sup>. Julia Caram Sfair

RECIFE

2017

**Estrutura filogenética e composição funcional das restingas do Nordeste do Brasil**

Tássia de Sousa Pinheiro

Tese de doutorado defendida em \_\_\_/ \_\_\_/ 2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Carmen Silvia Zickel (Orientadora)**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

---

**Dr<sup>ª</sup>. Danielle Gomes de Sousa**  
Universidade Federal da Paraíba – UFPB (Titular)

---

**Prof. Dr. Marcelo Tabarelli**  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Titular)

---

**Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria de Jesus Nogueira Rodal**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

---

**Dr<sup>ª</sup>. Patricia Barbosa Lima**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Titular)

---

**Prof. Dr. André Maurício Melo Santos**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Suplente)

---

**Dr<sup>ª</sup>. Danielle Melo dos Santos**  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (Suplente)

RECIFE

2017

Dedico esta grande conquista a minha mãe, Tereza Maria e a minha irmã, Tamiris. Obrigada por todo apoio e pela imensa colaboração em todos os momentos, sobretudo em prol da finalização desta tese. Vocês são os maiores e melhores presentes que Deus poderia me dar.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu conseguisse concluir mais etapa importante na minha vida;

A Carmen Zickel, pela parceria, amizade, orientação ao longo da minha trajetória acadêmica, por todos os ensinamentos e contribuições. Serei sempre muito grata;

Aos coorientadores, Bráulio Santos e Julia Sfair. Obrigada por todo suporte teórico, parceria e dedicação a esta tese;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Botânica – PPGB/ UFRPE, por compartilharem seus conhecimentos, essenciais nesse processo de formação profissional;

Aos membros dessa banca examinadora, por todas as contribuições e sugestões muito pertinentes a esta tese;

A minha família, por todo apoio, incentivo, colaboração, amor, carinho. Vocês foram essenciais para que eu conseguisse finalizar mais fase da minha formação acadêmica. Agradeço especialmente a minha mãe, Tereza Maria e minha irmã, Tamiris, pelo imenso suporte e pela nossa união, isto foi essencial nesses últimos meses.

A Kleber Andrade, grande companheiro que a vida me permitiu encontrar. Obrigada por todo amor, carinho, amizade, cuidado... enfim, obrigada pela companhia maravilhosa;

Aos meus amigos, “por mais riqueza que haja no mundo, quem tem um amigo, tem tudo”. Aqui incluo todos eles: os que ficaram acordados na madrugada “planilhando” ou entretidos em outras tarefas igualmente massantes (tudo pela tese), os que pensaram junto, os que entenderam a ausência, a todos que mesmo de longe se mantiveram na torcida, os que promoveram momentos de descontração (fundamentais!), os que ouviram os problemas, os que compartilharam seus problemas (com essa divisão, todos ganham). A Kênia Muniz, por todo o suporte técnico e burocrático relacionados aos assuntos institucionais, acima de tudo, pela amizade e por ouvir nossos desabafos com atenção de mãe, obrigada por isso.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Superior), pela bolsa concedida para realização desta pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica, pelo apoio institucional;

Ao Laboratório de Florística de Ecossistemas Costeiros – UFRPE/ PPGB, pelo apoio logístico, teórico e pessoal;

Por fim, a todos que, de alguma forma, colaboraram com este trabalho. **MUITO OBRIGADA!**

## SUMÁRIO

	Pág.
Agradecimentos .....	IV
Resumo .....	6
Abstract .....	8
1. Introdução.....	10
2. Revisão bibliográfica.....	13
2.1 Aspectos geográficos e fitofisionômicos das Restingas: breve histórico.....	13
2.2 Diversidade e organização das espécies nos ambientes naturais.....	16
2.2.1 <i>Relações filogenéticas e coexistência das espécies vegetais</i> .....	16
2.2.2 <i>Composição funcional e relações ambientais</i> .....	19
3. Referências bibliográficas.....	22
<b>Capítulo I</b> - Como as comunidades vegetais de restinga são estruturadas ao longo de um gradiente regional de pluviosidade e temperatura?.....	33
Introdução .....	35
Métodos .....	37
Resultados .....	41
Discussão .....	42
Referências .....	45
<b>Capítulo II</b> - Mudanças mediadas por temperatura e pluviosidade na composição funcional de espécies arbustivo-arbórea ao longo da costa nordeste brasileira.....	63
Introdução .....	65
Métodos .....	67
Resultados .....	69
Discussão .....	70
Referências .....	73
Considerações finais .....	92
Anexos da tese: normas para publicação.....	93

## RESUMO

A partir de avaliações da distribuição de espécies em diferentes escalas espaciais, tem sido relevantes para identificar os processos estruturadores das comunidades vegetais. Isto porque em grandes escalas espaciais ocorrem variações de condições ambientais correlacionadas a interações do tipo espécie-ambiente, e em escalas locais as interações entre espécies podem ser mais importantes para a coexistência de táxons. Baseado nessas informações consideramos que o ecossistema de restinga é um ambiente promissor para testar processos estruturadores das comunidades, porque a formação desse sistema ocorreu por eventos dinâmicos e aleatórios, tanto na formação geomorfológica quanto na formação das suas comunidades vegetais. Além disso, apresentam características edáficas restritivas. Portanto, o objetivo central dessa tese foi testar a influência de fatores abióticos, pluviosidade e temperatura, amplamente reconhecidos como preditores estruturais da montagem das comunidades vegetais, e assim verificar como a assembleia de espécies lenhosas se organiza ao longo de um gradiente latitudinal que abrange a região norte do Brasil. Para isto, analisamos o conjunto regional de espécies das restingas quanto as relações filogenéticas e de composição funcional. Para a análise filogenética observamos a estrutura filogenética a partir das métricas: MPD, MNTD, NRI e NTI, aplicando o algoritmo COMSTRUCT. A dissimilaridade filogenética entre comunidades foi verificada utilizando o algoritmo COMDIST e COMDISTNT. Utilizamos o teste de Mantel para correlação ambiental, e análise de ordenação (MDS) para verificar os agrupamentos filogenéticos em função dos fatores abióticos analisados. Em escala regional a temperatura foi preditora de agrupamento filogenético entre comunidades florestais de restinga, confirmando a hipótese de agrupamento em função do gradiente abiótico. A diversidade beta filogenética promoveu *turnover* de espécies entre as comunidades em função do aumento da distância geográfica e do aumento da pluviosidade. Ou seja, as comunidades apresentam maior dissimilaridade filogenética à medida que a distância geográfica entre elas aumenta ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,605$ ;  $p = 0,01$ ), quanto mais distantes mais diferentes. Isto corrobora a hipótese estocástica da formação da vegetação das restingas, que prediz que diferentes conjuntos de espécies foram dispersos para as restingas durante seus períodos de emergências de terras, atualmente refletidas na heterogeneidade taxonômica entre áreas geograficamente próximas. A rotatividade de espécies aumentou

em função da maior pluviosidade ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,67$ ;  $p = 0,03$ ), indicando que em ambientes com condições abióticas ‘favoráveis’ há maior diversidade filogenética. Esses resultados demonstram que as restingas também respondem a agrupamentos estruturais em sua filogenia em função de um gradiente abiótico. Para avaliar se em ambientes menos restitivos, quanto as condições abióticas, também é possível observar traços relacionados a maior disponibilidade do recurso água, analisamos a composição funcional destas comunidades. Obtivemos a média dos atributos funcionais de cada comunidade (community weighted mean, CWM): ‘densidade da madeira’, ‘forma de vida’, ‘grupo ‘ecológico’, ‘síndrome de polinização’, ‘atributos do fruto’ e correlacionamos com os dados abióticos. Verificamos ainda, se a dissimilaridade e riqueza taxonômica são correlacionadas com os fatores abióticos e a distância geográfica. A riqueza não foi afetada pelos fatores abióticos e de modo similar à diversidade filogenética, a composição, ou dissimilaridades na composição foram significativamente correlacionadas a distância. Quanto à composição funcional, de modo geral, áreas com maiores temperaturas apresentam maior proporção de espécies pioneiras, com frutos menores e menor proporção de espécies com síndromes de polinização especializada. Em áreas com maior pluviosidade, há maior proporção de espécies secundárias de fruto pequeno, mas com polinização especializada (mariposa e morcego). Esses resultados indicam que a composição funcional local pode variar de acordo com variações na disponibilidade de recurso (água) para as plantas.

**Palavras-chave:** autocorrelação espacial, composição funcional, gradiente abiótico, parentesco filogenético

## ABSTRACT

From evaluations of the distribution of species at different spatial scales, it has been relevant to identify the structuring processes of plant communities. This is because at large spatial scales occur variations of environmental conditions correlated to species-environment interactions, and at local scales interactions between species may be more important for the coexistence of taxa. Based on this information, we consider that the restinga ecosystem is a promising environment to test community structuring processes, because the formation of this system occurred by dynamic and random events, both in geomorphological formation and in the formation of its plant communities. In addition, they exhibit restrictive edaphic characteristics. Therefore, the central objective of this thesis was to test the influence of abiotic factors, rainfall and temperature, widely recognized as structural predictors of the assembly of the plant communities, and thus to verify how the assembly of woody species is organized along a latitudinal gradient that covers the Region northeast of Brazil. For this, we analyze the regional set of species of restingas as phylogenetic relationships and functional composition. For the phylogenetic analysis we observed the phylogenetic structure from the metrics: MPD, MNTD, NRI and NTI, applying the algorithm COMSTRUCT. The phylogenetic dissimilarity between communities was verified using the COMDIST and COMDISTNT algorithm. We used the Mantel test for environmental correlation, and ordering analysis (MDS) to verify the phylogenetic groupings as a function of the analyzed abiotic factors. At the regional scale, temperature was a predictor of phylogenetic grouping among forest communities of restinga, confirming the hypothesis of clustering as a function of the abiotic gradient. Beta phylogenetic diversity promoted species turnover among communities due to increased geographic distance and increased rainfall. That is, the communities present greater phylogenetic dissimilarity as the geographical distance between them increases ( $R_{\text{betaNTI}} = 0.605$ ;  $p = 0.01$ ), the more distant the more different. This corroborates the stochastic hypothesis of the vegetation formation of the restingas, which predicts that different sets of species were dispersed to the restingas during their periods of land emergence, currently reflected in the taxonomic heterogeneity between geographically close areas. Species turnover increased due to higher rainfall ( $R_{\text{betaNTI}} = 0.67$ ,  $p = 0.03$ ), indicating that in environments with



'favorable' abiotic conditions there is greater phylogenetic diversity. These results demonstrate that the restingas also respond to structural groupings in their phylogeny as a function of an abiotic gradient. In order to evaluate if in less restive environments, as for the abiotic conditions, it is also possible to observe traces related to the greater availability of the water resource, we analyzed the functional composition of these communities. We obtained the mean of the community weighted mean (CWM): 'wood density', 'life form', 'ecological group', 'pollination syndrome', 'fruit attributes' and correlate with the Abiotic data. We also verify if dissimilarity and taxonomic richness are correlated with abiotic factors and geographic distance. The richness was not affected by abiotic factors and similar to phylogenetic diversity, composition, or dissimilarities in composition were significantly correlated at distance. As for the functional composition, in general, areas with higher temperatures present a higher proportion of pioneer species, with smaller fruits and lower proportion of species with specialized pollination syndromes. In areas with higher rainfall, there is a greater proportion of secondary species of small fruit, but with specialized pollination (moth and bat). These results indicate that the local functional composition may vary according to variations in resource availability (water) for plants.

**Key words:** spatial atucrelation, functional composition, abiotic gradient, phylogenetic relationships

## 1 Introdução

Na perspectiva da análise filogenética, as comunidades são avaliadas quanto às relações evolutivas entre os táxons que as compõem (WEBB et al., 2008; CAVENDER-BARES et al., 2009), e a partir dessa composição, é possível saber como as comunidades são estruturadas em função das modificações do ambiente que ocorrem em grandes escalas espaciais (SWENSON et al., 2007; CAVENDER-BARES et al., 2009; MCGILL, 2010).

Embora habitats específicos (florestas secas, por exemplo) influenciem a coexistência de táxons filogeneticamente mais aparentados, por compartilharem características evolutivas (WEBB et al., 2002) em escala local a exclusão competitiva pode se apresentar como um forte mediador da repulsão entre táxons aparentados (MAYFIELD e LEVINE, 2010; OLIVEIRA et al., 2014). Neste sentido, quando avaliamos comunidades biológicas são evidenciadas espécies filogeneticamente distantes, pois as interações ecológicas podem ser mais relevantes para estruturar sua coocorrência em escala local (CAVENDER-BARES et al., 2009; MARTINS et al. 2015), gerando padrões aleatórios de coexistência, que podem estar relacionados ao comportamento biológico das espécies (Martins et al., 2015) ou história biogeográfica de ocupação vegetal, como no caso das restingas (DOMINGUEZ et al., 1992; SCARANO, 2002).

Atualmente outro conjunto de dados também explica a organização das comunidades biológicas (a diversidade funcional) que é uma abordagem baseada na composição de traços funcionais apresentados pelas espécies, que oferecem respostas sobre a estruturação das comunidades nos diferentes habitats (TILMAN, 2001; PLA, et al., 2012; ROSADO et al., 2013). Isto porque, as espécies apresentam características ecofisiológicas moldadas por respostas provenientes das interações com o ambiente, assim a maior disponibilidade de recurso capaz de ser convertido em energia para a planta irá promover maior diversidade funcional na comunidade (DÍAZ et al., 2004; WRIGHT et al., 2004; CHAVE et al., 2009; KRAFT et al., 2010).

Utilizar métricas filogenéticas e funcionais para medir a diversidade contribui com respostas mais robustas sobre as comunidades biológicas indo além das comparações de riqueza taxonômica entre áreas, uma vez que permitem uma abordagem multidisciplinar, integrando conhecimentos taxonômicos, evolutivos, ecológicos e fisiológicos para explicar a formação e dinâmica das comunidades vegetais. Além disso, estas métricas apresentam informações com forte poder preditivo relacionado a

perturbações e mudanças climáticas futuras, sendo fundamentais para estudos ecológicos e de conservação da biodiversidade (KRAFT et al., 2010; SANTOS et al. 2010; FINE e KEMBEL, 2011; OLIVEIRA et al., 2014), sendo empregado com sucesso na análise de diversos grupos biológicos (e.g. GOTELLI et al., 2010; WANG et al., 2013; MARTINS et al., 2015). Nesse estudo, pretendemos esclarecer os processos estruturadores das comunidades arbóreo-arbustiva das restingas, que de modo geral é formada aparentemente por processos neutros (espécies dispersas por vários ecossistemas adjacentes), com heterogenidade florística significativa mesmo entre comunidades geograficamente próximas. O que torna as um ótimo campo de análise para verificar se podem ser observados padrões de diversidade e distribuição de espécies em um ecossistema com eventos dinâmicos de formação e estabelecimento da vegetação a partir de processos aleatórios (SUGUIU & MARTIN, 1981; DOMINGUEZ et al., 1992).

De acordo com o histórico de formação, a chegada de espécies nas restingas, ocorreu de forma aleatória, indicando a ação de processos neutros na estruturação da comunidade, mas a heterogenidade relatada pelos pesquisadores sugerem que apenas táxons especializados conseguiram se adaptar e se estabelecer com sucesso no novo ambiente, (SUGUIU & MARTIN, 1981; DOMINGUEZ et al., 1992; SCARANO, 2002), sugerindo influência de processos biogeográficos. Mas quando se testa a similaridade florística entre áreas dentro de um mesmo contexto abiótico, também se observa dissimilaridade significativa na composição vegetal entre as comunidades (SANTOS, 2013). sugerindo que as interações ecológicas entre as espécies dentro de cada comunidade atuam mediando a ocorrência das espécies, e conseqüentemente a estrutura da vegetação (SWENSON et al. 2007; CHALMANDRIER et al., 2015).

Portanto identificam-se dois processos responsáveis pela estruturação das comunidades vegetais que atuam em escalas diferentes (SWENSON et al., 2007; CAVENDER-BARES, et al. 2009; MCGILL, 2010; BARTON et al. 2013) difíceis de quantificar avaliando apenas a similaridade taxonômica, devido a composição heterogênea dessa formação vegetal. Nesse sentido, as abordagens filogenéticas e funcionais consideram as relações evolutivas e taxonômicas como ponto de partida para mensurar a diversidade das comunidades biológicas, permitindo inferir sobre as regras de montagem dessas comunidades em diferentes escalas (WEBB, 2000; WEBB et al., 2002; SWENSON et al., 2007; CAVENDER-BARES et al., 2009; MCGILL, 2010).

Diante dessas informações, decidimos investigar como as comunidades de vegetação arórea/arbustiva que ocorrem nas restingas nordestinas do Brasil são estruturadas com base nas relações filogenéticas e funcionais, numa escala regional (abrange um gradiente abiótico de temperatura e pluviosidade). Baseado nas informações sobre a heterogeneidade entre comunidades, investigamos como a temperatura e a pluviosidade influencia a estrutura filogenética e a composição funcional das restingas do nordeste brasileiro.

Para verificar as relações filogenéticas e funcionais das restingas do Nordeste do Brasil utilizamos os dados coletados entre os estados do Maranhão à Bahia, considerando a presença e ausência das espécies nas comunidades, excluindo a abundância devido à limitação de disponibilidade dessas informações para todas as áreas. Observamos os valores obtidos nas medidas das relações filogenéticas (MPD, MNTD, NRI e NTI) e aplicamos os algoritmos para obter as relações de beta diversidade filogenética (COMDIST, COMDISTNT), e a composição funcional ponderada pela presença das espécies nas comunidades (CWM).

## **2 Revisão bibliográfica**

### **2.1 Aspectos geográficos e fitofisionômicos das restingas: breve histórico**

As restingas ocorrem naturalmente em toda a extensão do litoral brasileiro (BRASIL, 1973) em diferentes fisionomias (campos, dunas, florestas) com predomínio

de indivíduos lenhosos à medida que a comunidade vegetal se distancia da faixa de praia em direção ao continente (FALKENBERG, 1999). As restingas apresentam “comunidades vegetais florística e fisionomicamente distintas” formando um complexo vegetacional (BRASIL, 1999; IBGE, 2012), que dificulta a adoção de um critério de classificação adequado à heterogeneidade de feições e de composição vegetal que esse ecossistema litorâneo abrange (SANTOS, 1943; AZEVEDO, 1950; RIZZINI 1963, 1979; ROMARIZ, 1964; ANDRADE-LIMA, 1966; SILVA e BRITZ, 2005) que ocorrem em escalas relativamente pequenas (SANTOS, 2013).

As restingas estão localizadas em planícies costeiras formadas durante o período Quaternário, por sedimentos arenosos, de origem marinha, fluvial, lagunar, eólica ou combinações destes (BRASIL, 1999), depositados após sucessivas regressões e ascensões do nível dos oceanos, em conjunto com os sedimentos resultantes dos soerguimentos das montanhas e deformação das rochas, que ocorreram durante o Período Terciário (SUGUIO & TESSLER, 1984; ROSS, 2013). Estão distribuídas espacialmente em neossolos quartzarênicos (SANTOS-FILHO, 2009), e devido a sua característica desse solo arenoso, apresenta restrições quanto à retenção hídrica e de nutrientes (ARAUJO & LACERDA, 1992).

Posterior ao processo de deposição de sedimentos, as planícies costeiras foram colonizadas principalmente por espécies oriundas da floresta Atlântica, além de outros tipos vegetacionais adjacentes: floresta Amazônica, Cerrado e Caatinga (FREIRE, 1990; RIZZINI, 1997; ARAUJO, 2000; SCARANO, 2002). Ao longo do processo de colonização, as espécies se adaptaram às condições diferentes do seu ambiente de origem alcançando sucesso no estabelecimento neste ambiente adverso (FREIRE, 1990; HENRIQUES et al. 1984; SCARANO et al., 2001). Apesar dessas adaptações bem sucedidas, ainda não se pode encontrar espécies endêmicas desses ambientes porque não houve tempo suficiente para um processo de especiação (SCARANO, 2002), visto que as restingas têm formação geológica recente (SUGUIO & TESSLER, 1984; DOMINGUEZ et al., 1992). Além disso, as restingas foram montadas sob a ação de eventos dinâmicos da zona costeira (sucessivas transgressões do nível dos oceanos) (SUGUIO & TESSLER 1984), criando ambientes em constante modificação por perturbações naturais.

As restingas estão inseridas no bioma Mata Atlântica e por isso são Áreas de Proteção Permanente (CONAMA 2002; SAMPAIO et al. 2005). Estão dentro do grupo

de classificação ‘Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas’, enquadrada na divisão ‘Formação Pioneira com Influência Marinha’, reconhecida basicamente por três fitofisionomias (campo, fruticeto e floresta, de acordo com SILVA e BRITZ, 2005) que apresentam relação edáfica importante para a classificação desse ecossistema (BRASIL, 1999).

A composição arbórea das restingas é mais similar às espécies que ocorrem na floresta Atlântica e por isso esperaríamos que as restingas apresentassem um conjunto de espécies comuns ocorrendo em suas comunidades, porém não é o que acontece (SANTOS-FILHO, 2009; ALMEIDA JR. et al., 2011; SANTOS, 2013; SANTOS-FILHO et al., 2013), mesmo quando comparadas áreas espacialmente próximas, sob as mesmas condições edáficas e microclimáticas (SANTOS, 2013).

Santos (2013) investigando a similaridade florística entre 16 áreas de restinga, localizadas ao longo da Região Nordeste: três áreas no Piauí, duas no Rio Grande do Norte, uma na Paraíba, três em Pernambuco, uma em Alagoas e seis na Bahia. Treze alocadas na Costa Nordeste e três na Costa Leste – baseado na classificação geomorfológica do litoral brasileiro de Villwock et al. (2005). A autora identificou heterogeneidade florística significativa entre as áreas amostradas, os maiores valores de similaridade entre as comunidades não ultrapassaram 35%, e as restingas não formaram um gradiente linear de riqueza e diversidade ao longo do litoral nordestino.

De acordo com Santos (2013) as diferenças encontradas na estrutura e diversidade das áreas podem ser atribuídas a fatores ambientais (condições edáficas, pluviosidade, temperatura) influenciando a distribuição das espécies nos ambientes, bem como a estrutura e fisionomia da vegetação. Com estes dados foi possível observar que em ambientes mais secos os indivíduos arbóreos são raquíticos, e as áreas apresentam fisionomia semelhante a dos frutícetos (áreas do Piauí e norte da Bahia). Nas áreas mais úmidas, como as observadas no sul da Bahia, as árvores das comunidades de restinga são maiores, (micro e mesofanerófitos, de acordo com Raunkiaer (1934) e adaptações para a vegetação brasileira de acordo com o IBGE (2012)) conferindo aparência de fisionomia florestal (IBGE, 2012).

Ao analisar a influência de fatores edáficos na estrutura da vegetação lenhosa em três áreas de restinga que integram a APA do Delta do Parnaíba (Ilha Grande, Luiz Correia e Parnaíba) situadas no litoral piauiense, todas na mesma delimitação geomorfológica – Costa Nordeste, de acordo com Villwock et al. (2005) – SANTOS-

FILHO et al. (2013) observaram que embora alguns componentes químicos do solo tenham apresentado correlação significativa com a distribuição das espécies entre as três restingas, eles não influenciam diferenças significativas na composição florística entre as comunidades analisadas. Baseado nas considerações sobre a colonização das restingas a partir de formações vegetais adjacentes (ver RIZZINI, 1997, SCARANO, 2002), Santos-Filho et al. (2013) indicam que apesar de as restingas piauienses apresentarem indivíduos caducifólios no período da seca, assemelhando-se com a vegetação adjacente da Caatinga, Cerrado e Carrasco, a maior similaridade florística dos indivíduos arbóreos é com espécies da floresta Atlântica. Os autores ressaltam ainda que as diferenças fisionômicas entre as restingas do Piauí (semelhante aos frutícetos) e as demais restingas da Região Nordeste (fisionomia floresta) estão relacionadas principalmente aos índices pluviométricos, que apresentam médias mais elevadas e chuvas mais bem distribuídas ao longo do ano, no gradiente latitudinal.

A partir desses resultados, além de outras abordagens sobre os aspectos florísticos e fisionômicos das restingas nordestinas (ZICKEL et al. 2007; SILVA et al. 2008; ALMEIDA JR. et al., 2009; MEDEIROS et al. 2010; SANTOS-FILHO et al. 2010; ALMEIDA JR. et al., 2011; ALMEIDA JR. & ZICKEL, 2012) percebe-se que a heterogeneidade florística e fisionômica que existe entre as comunidades de plantas lenhosas restingas refletem a complexidade desse ecossistema (RIZZINI, 1997). Esses argumentos reforçam a hipótese de que as espécies chegaram às restingas de forma aleatória, através de sedimentos do Terciário e Quaternário, e processos de dispersão natural das espécies, mas que as interações do tipo planta-ambiente atuaram definindo a composição e abundância de espécies em cada comunidade. Isto fica mais evidente nas restingas do Piauí, que mesmo fazendo limite com áreas de transição da Caatinga, Cerrado e floresta Amazônica, apresenta maior similaridade florística dos indivíduos arbóreos com espécies da floresta Atlântica (SANTOS-FILHO et al. 2013).

Portanto, investigações que relacionem a composição lenhosa das comunidades vegetais de restinga aos fatores abióticos são promissoras para identificar as possíveis relações de similaridade entre as comunidades e a influência abiótica sobre a organização da vegetação, gerando informações relevantes para entender qual(is) fator(res) determina(m) a coexistência das espécies promovendo uma montagem heterogênea quanto a flora e fisionomia, nas restingas nordestinas do Brasil.

## **2.2 Diversidade e organização das espécies nos ambientes naturais**

### *2.2.1 Relações filogenéticas e coexistência das espécies vegetais*

Uma comunidade ecológica é frequentemente definida como um conjunto de espécies que coexistem no tempo e no espaço, interagindo potencialmente umas com as outras, sendo resultado de processos ecológicos atuais e do passado, e de processos evolutivos (MCPEED & MILLER, 1996). As pesquisas e revisões sobre a diversidade filogenética têm incorporado informações relevantes no estudo da biota, entre as distintas comunidades biológicas (CADOTTE et al., 2008; MAIA et al., 2009; GONZALEZ et al., 2010; SANTOS et al., 2010; FINE & KEMBEL, 2011; WANG et al., 2013; MARTINS et al., 2015), pois estas análises consideram que as relações evolutivas das espécies são subsídios importantes para compreender a organização e coexistência dos táxons nas comunidades (WEBB et al., 2002; CADOTTE et al., 2008) nas diferentes escalas de observação (SWENSON et al., 2007; CAVENDER-BARES et al., 2009; MCGILL, 2010).

Os processos biogeográficos (e.g., variações na distribuição de espécies, modificações ambientais) que predominam em escalas regionais, e interações ecológicas e abióticas (e.g., competição, predação, filtragem ambiental) mais evidentes em escalas locais, são complementares no entendimento da distribuição e coexistência das espécies nas comunidades (WEBB et al., 2002; SWENSON et al., 2007; CAVENDER-BARES et al., 2009; MCGILL, 2010). Além dos processos de especiação, extinção regional, que ocorrem em escalas mais amplas, as condições ambientais (e.g., disponibilidade de água e temperatura) também influenciam na coexistência de espécies, e estão intimamente relacionados à diversidade regional e local (HAWKINS et al., 2003).

Seguindo a análise de interação entre os organismos e o ambiente como determinante da organização dos táxons, Webb et al. (2002) indicam que o nicho é importante na estruturação das comunidades e influenciam sua montagem baseada tanto na atração quanto na superdispersão filogenética entre os táxons que co-ocorem. No primeiro caso o ambiente atua como filtro limitando a ocorrência de maior diversidade de táxons, coexistindo apenas os que possuem adaptação às condições abióticas desse habitat, já a superdispersão filogenética pode ser causada pela repulsão fenotípica entre táxons estreitamente relacionados que competem pelo mesmo nicho, ou quando táxons pouco relacionados filogeneticamente convergiram para um uso similar dos recursos. Já



Adler et al. (2007) consideram que não só as relações planta-ambiente determinam a estrutura de uma comunidade, mas a capacidade de se estabelecer com sucesso e competir pelos recursos podem ser mais importantes para regular o tamanho das populações.

Os modelos neutros de ocupação dos ambientes naturais consideram que as espécies são ecologicamente similares quanto à aptidão no estabelecimento, dispersão e especiação (HUBELL, 2001), mas as relações que ocorrem em diferentes escalas demonstram a ação de processos que podem ser mais evidentes dependendo da dimensão do espaço observado, porque para cada área amostral as interações bióticas e abióticas podem apresentar respostas diferentes quanto ao processo de estruturação da comunidade vegetal (SWENSON et al. 2007; CAVENDER-BARES et al., 2009; MCGILL, 2010; BARTON et al. 2013) tanto nos níveis taxonômicos quanto filogenéticos, sendo este último mais reconhecido como preditor de respostas mais completas sobre os sistemas vegetais, por incorporar em suas análises as relações taxonômicas e evolutivas das plantas com a sua distribuição (WEEB et al., 2002; HARRISON et al., 2006; CHASE e MYERS, 2011).

Evidências prévias demonstram a importância da escala espacial e de seus mecanismos na montagem de comunidades vegetais. Ao investigar a composição taxonômica de herbáceas, Harrison et al. (2006) demonstraram como os processos ecológicos envolvidos na estruturação das comunidades são qualitativamente diferentes em função da mudança de escala. Os autores analisaram se a produtividade de herbáceas influencia o aumento da beta diversidade taxonômica e se esta heterogeneidade pode ser observada em escala local, entre os microhabitats. Os autores evidenciaram que as variações abióticas entre os microhabitats não foram preditoras da diversidade beta, contrário aos achados sobre a heterogeneidade local e produtividade primária no sistema herbáceo que responderam às condições abióticas avaliadas nos microhabitats (i.e., sobremento, solo exposto, perturbação animal, rocha, musgo, lixo). A partir disso Harrison et al. (2006) consideraram que amostragens em comunidades espacialmente descontínuas e em maiores escalas englobariam um conjunto regional maior de espécies, e seriam mais preditivas da diversidade beta em função da heterogeneidade ambiental.

Swenson et al. (2007) demonstraram a dificuldade em se estabelecer os fatores que influenciam as relações filogenéticas em escalas espaciais locais e regionais. Em

escalas locais, os autores encontraram indícios de maior dispersão filogenética, principalmente quando se considera que há maior competição entre táxons funcionalmente próximos resultando na diminuição ou exclusão local das populações. Adicionalmente a esses fatores pretendidos de modificações nas comunidades, tem-se a escala temporal, que apresentam como as relações de parentesco são estruturadas à medida que as condições climáticas são alteradas ao longo do tempo (SWENSON et al., 2007).

A coexistência excludente parece realmente atuar em escalas locais, considerando que nesses casos ocorra exclusão por competição entre espécies filogeneticamente próximas que apresentariam a mesma aptidão funcional e por isso apresentam sobreposição de nicho (CHASE e MYERS, 2011). Oliveira et al. (2014) afirmam que as condições edáficas são importantes na estruturação das restingas, e identificaram maior heterogeneidade de composição florística e filogenética entre habitats, sobretudo com o aumento da escala, chegando a conclusão de que em maiores escalas a ocorrência de variação de habitats promove maior diversidade beta entre comunidades. Os autores encontraram um conjunto de espécies e/ou maior abundância dessas associadas a um habitat específico (áreas com e sem inundação) indicando a montagem da comunidade em função da especialização que cada espécie possui.

Fine e Kembel (2011) evidenciaram que grupos de espécies filogeneticamente aparentados ocorreram em habitats específicos da Amazônia ocidental, promovendo uma alta diversidade beta. Nesse caso, os autores associaram os padrões de coexistência produzido em cada habitat, à história biogeográfica de formação deles, que ao longo do tempo constituíram um filtro ambiental, limitando a ocorrência de espécies menos especializadas, já que a substituição de espécies ocorreu dentro de cada habitat e não entre eles (FINE & KEMBEL, 2011). O que é esperado por causa da “hipótese de dominância da diversidade beta” (Tschamntke et al 2012), que inclusive se sobrepõe à perturbação local. Ou seja, mesmo na Floresta Atlântica e florestas úmidas no México que possuem habitats afetados pelos efeitos de borda, já foram evidenciadas que em escala de paisagem há alta divergência nas comunidades, sobretudo devido a mecanismos estocásticos e instabilidades abióticas (Arroyo Rodriguez et al 2013; Sfair et al 2016).

Mesmo considerando a rotatividade de composição filogenética dentro dos clados entre comunidades, as características abióticas são um fator determinante para

estruturação filogenética em escalas regionais (ver JIN et al., 2015). Swenson (2011) afirma que maiores diferenças ambientais estarão mais correlacionadas a dissimilaridades significativas na estrutura filogenética do conjunto de plantas de cada ambiente. Sendo esta heterogeneidade determinada tanto pela modificação significativa na composição filogenética entre habitats, quanto por diferenças na proporção da abundância de espécies (WHITTAKER, 1972; OLIVEIRA et al., 2014).

Diante dessas informações é razoável pensar que em médias e grandes escalas espaciais ocorre alta variação entre habitats, formando gradientes ambientais, e que através da análise da estrutura filogenética das comunidades estabelecidas em cada ambiente, pode-se inferir sobre as forças estruturadoras e se processos determinísticos ou estocásticos exercem papel na organização dos grupos vegetais em distintas escalas espaciais.

### *2.2.2 Composição funcional e relações ambientais*

Tão importante quanto conhecer as espécies que compõem um ambiente é conhecer a diversidade de características funcionais de cada espécie, até mesmo, de cada indivíduo, considerando que estas medidas estão atreladas aos processos que estruturam as populações, comunidades e ecossistemas (PETCHEY & GASTON, 2006; CIANCIARUSO et al., 2009).

Os biomas ao longo do globo terrestre apresentam inúmeras comunidades vegetais e animais, formadas por espécies que co-existem e se exibem diferentes relações ecológicas. A precipitação e temperatura são variáveis comumente relacionadas a distribuição e diversidade vegetal. Teorias ecológicas e evolutivas (WALTER 1994; DONOGHUE 2008) sugerem que essas variáveis são determinante das características de espécies vegetais em uma escala global. Na literatura, vários estudos relacionados a dados climáticos e sua influência na comunidade vegetal citam comumente essas duas variáveis.

Mais recentemente, Moles et al. (2014) analisaram a importância relativa da temperatura e precipitação anual com as características funcionais das plantas, afim de auxiliar na compreensão dos fatores que moldam as estratégias ecológicas e distribuição dos diferentes tipos de vegetação. Os autores observaram que a temperatura média anual foi significativamente mais fortemente correlacionada com as características funcionais

das plantas do que a precipitação média anual. Porém, alguns traços (altura da planta, área foliar, tempo de vida da folha, folhas compostas, presença de tricomas) tiveram correlações relativamente fortes com ambas variáveis. A maioria dos traços funcionais analisados no estudo estavam mais relacionados com a temperatura (15 deles), apenas o tempo de vida da planta, tempo de vida da folha, capacidade de fixar nitrogênio, via fotossintética, foram características mais correlacionadas com a precipitação. No entanto, segundo os autores apesar da temperatura média anual ter sido fortemente mais relacionada com os caracteres das plantas, as variações extremas dessa variável ao longo do globo terrestre, variações anuais ou mesmo fatores locais, podem ter maior ou menor impacto sobre os traços funcionais das plantas. E, diferentes estratégias ecológicas das plantas também podem influenciar na relação entre os traços funcionais e a temperatura/precipitação. Desse modo, deve-se considerar a existência de inúmeros fatores não mensuráveis que podem enfraquecer as relações entre os traços funcionais das plantas e a temperatura.

Violle et al. (2014) mencionam que os traços funcionais são cada vez mais utilizados na ecologia para detectar e quantificar os processos que formam às comunidades ecológicas. Com uma perspectiva biogeográfica, esta abordagem pode ser aplicada para compreender a escala espacial dos processos de formação das comunidades ao longo de gradientes ambientais. Entender as interações bióticas e suas relações com o meio abiótico é também importante em estudos de modelagem de distribuição de espécies e, a intensidade dessas interações é variável ao longo de gradientes ambientais e latitudinais. Os autores discutem sobre como a biogeografia funcional relaciona as funções do organismo com seu ambiente. A literatura mostra que, teoricamente, é possível prever a resposta dos organismos, comunidades e ecossistemas às mudanças ambientais decorrentes de características funcionais.

Velazquez et al. (2015) avaliaram os efeitos da filtragem de habitat e da diferenciação de nichos na estrutura/formação da comunidade em uma floresta úmida tropical no Panamá, analisando a relação entre associação espacial (distribuição de indivíduos) e similaridade de traços funcionais. O estudo analisou indivíduos recrutados/mudas com 1-4 cm de altura e juvenis e foi elaborado através da coleta de dados funcionais de 64 espécies (categóricas e contínuas), tais como, densidade específica de madeira, massa foliar por área, massa seca da semente e altura máxima, além do índice de tolerância à sombra, índice de sensibilidade à seca, tipo de dispersão e

preferências topográficas de habitat. As análises indicaram grandes proporções de padrões de associações espaciais não significativas, indicando um importante papel dos processos estocásticos na estruturação das florestas tropicais. Esse processo, no entanto, também é influenciado simultaneamente por processos determinísticos, como a filtragem de habitats e a diferenciação de nichos, cujos papéis relativos variam em relação a escalas espaciais e temporais. Isso devido à relação significativa encontrada entre associações espacial e semelhança de traços, sugerindo que a filtragem de habitat conduz a assembléia de comunidades de recrutamento em grandes e pequenas escalas, enquanto a diferenciação de nicho desempenha um papel menos importante, sendo evidente apenas em pequenas escalas.

Mokany et al. (2015) avaliaram a relação de mudanças na composição da comunidade vegetal e seus atributos funcionais, em plantas vasculares da Tasmânia/Austrália, sob mudanças climáticas preditivas, realizadas através de uma modelagem macro-ecológica. Os autores destacam que a relação entre a mudança induzida pelo clima na composição da comunidade e atributos funcionais depende da representação das características de cada comunidade. A análise indicou, para algumas áreas em elevada altitude, que os níveis de mudança funcional e na composição de espécies foram elevados. Porém, algumas áreas de pastagens e de várzea exibiram níveis moderados de mudança na composição, mas baixos níveis de mudança funcional. Segundo os autores, as projeções realizadas para algumas áreas são relevantes para o manejo e conservação das espécies raras. Já em áreas de baixa altitude na Tasmânia foram projetadas com um alto nível de alterações funcionais sob mudanças climáticas, mas níveis moderados na composição, devido a reduções na altura, área foliar, tamanho da semente nessas áreas. Existe uma forte necessidade de novas abordagens de modelagem que melhor integrem os processos envolvidos na mudança simultânea de composição de espécies e atributos funcionais em ambientes em rápida mudança (MOKANY et al., 2013).

### **3 Referências bibliográficas**

ALMEIDA Jr. E. B. & ZICKEL, C. S. 2012. Análise fitossociológica do estrato arbustivo-arbóreo de uma floresta de restinga no Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, n.2, p.286-291.

ALMEIDA Jr., E. B.; OLIVO, M. A.; ARAÚJO, E. L. & ZICKEL, C. S. 2009. Caracterização da vegetação de restinga da RPPN de Maracápe, PE, Brasil, com base na fisionomia, flora, nutrientes do solo e lençol freático. *Acta botânica brasílica*, v.23, n.1, p.36-48.

ALMEIDA Jr., E. B.; PIMENTEL, R. M. M. & ZICKEL, C. S. 2007. Flora e formas de vida em uma área de restinga no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista de Geografia*, v. 24, n. 1, p. 20-35.

ALMEIDA Jr., E. B.; SANTOS-FILHO, F. S.; ARAÚJO, E. L. & ZICKEL, C. S. 2011. Structural characterization of the woody plants in restinga of Brazil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v.3, n.3, p. 95-103.

ALMEIDA Jr., E. B.; ZICKEL, C. S. & PIMENTEL, R. M. M. 2006. Caracterização e espectro biológico da vegetação do litoral arenosos do Rio Grande do Norte. *Revista de Geografia*, v.23, n.3, p. 46-58.

ARAUJO, D.S.D. & LACERDA, L.D. 1987. A natureza das restingas. *Ciência Hoje*, v.6, p. 42-48.

ARAUJO, D.S.D. 2000. Análise florística e fitogeográfica das restingas do Estado do Rio de Janeiro. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BARTON, P.S.; CUNNINGHAM, S.S.; MANNIN, A.D.; GIBB, H.; LINDENMAYER, D.B.; and DIDHAM, R.K. 2013. The spatial scaling of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, v. 22, p. 639–647.

BRASIL. 1973. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SA. 23 São Luis e parte da folha SA. 24 Fortaleza; geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro.

BROWN, J e LOMOLINO, M. 2006. Biogeografia. 2. ed. FUNPEC, Ribeirão Preto.

CADOTTE, M. W.; CARDINALE, B.J.; e OAKLEY, T.H. 2008. Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* v.105, p.7012–17017.

CANTARELLI, J. R. R., ALMEIDA JR., E. B. D., SANTOS-FILHO, F. S., & ZICKEL, C. S. Tipos fisionômicos e flora vascular da restinga da APA de Guadalupe, Pernambuco, Brasil. *INSULA Revista de Botânica*, n. 41, p. 95-117, 2012.

CALLAWAY, R.M., PENNING, S.C. & RICHARDS, C.L. 2003. Phenotypic plasticity and interactions among plants. *Ecology*. v. 84, n. 5, p. 1115-1128.

CAVENDER-BARES, J., KOZAK, K.H., FINE, P.V.A. & KEMBEL, S.W. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters*, v.12, p. 693–715.

CERQUEIRA, R. Biogeografia das Restingas. 2000. In: Esteves, F. A., Lacerda, L. D. (eds.). *Ecologia de restingas e lagoas costeiras*. Macaé: NUPEN/UFRJ, p. 65-75.

CHALMANDRIER, L.; MÜNKEMÜLLER, T.; LAVERGNE, S. and THULLER, W. 2015. Effects of species' similarity and dominance on the functional and phylogenetic structure of a plant meta-community. *Ecology*, n.96, v.1, p. 143–153.

CHASE, J. M. 2010 Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. *Science* 328, 1388–1391. (doi:10.1126/science.1187820).

CHAVE, J.; COOMES, D.; JASEN, S.; LEWIS, S.L.; SWENSON, N.G. and ZANNE, A.E. 2009. Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12:351-366. PMID:19243406. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>

CIANCIARUSO, M. V.; SILVA, I. A. & BATALHA, M. A. diversidade filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotropica*, v.9, n. 3, p. 2-11.

COTTAM, G.; CURTIS, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology*, 37:451-460.

DARWIN, C. 1859. *The origin of species*. On line literature library, 6th Edition, p. 554.

Díaz S et al., 2004. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, 15:295-304.

DIAZ, S. & CABIDO, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* v. 16, n. 8, p 646-655.

ELTON, C. 1946. Competition and the structure of ecological communities. *J. Anim. Ecol.* v. 15, n. 1, p. 54-68.

FAITH, D.P. e BAKER, A. M. 2006. Phylogenetic diversity (PD) and biodiversity conservation: some bioinformatics challenges. *Evolutionary Bioinformatics*, v. 2; p 71-77.

FINE, P e KEMBEL, S.W. 2011. Phylogenetic community structure and phylogenetic turnover across space and edaphic gradients in western Amazonian tree communities. *Ecography*, v. 34, p. 552–565.

FREIRE, M. S. B. 1990. Levantamento florístico do Parque Estadual das Dunas de Natal. *Acta Botânica Brasílica*. v.4, n.2, p.41-59.

FUKAMI, T. 2004 Community assembly along a species pool gradient: implications for multiple-scale patterns of species diversity. *Popul. Ecol.* 46, 137–147. (doi:10.1007/s10144-004-0182-z).



GARNIER, E.; CORTEZ, J.; BILLES, G; NAVAS, M.L.; ROUMET, C.; DEBUSSCHE, M.; LAURENT, G; BLANCHARD, A.; AUBRY, D.; BELLMANN, A.; NEILL, C.; TOUSSAINT, J.P. 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, v.85, n.9, p.. 2630–2637.

GONZALEZ, M. A.; ROGER, A. COURTOIS, E. A.; JABOT, F. NORDEN, N. PAINE, T.; BARALOTO, C. THÉBAUD, C. e CHAVE, J. 2010. Shifts in species and phylogenetic diversity between sapling and tree communities indicate negative density dependence in a lowland rain Forest. *Journal of Ecology*, v. 98, p.137–146.

GOTELLI, N.J.; GRAVES, G.R.; and RAHBK, C. 2010. Macroecological signals of species interactions in the Danish avifauna. *PNAS*, v.107, n. 11, p. 530-535.

GRIME J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. pdf, 1977.

HARRISON, S.; DAVIES, K.F.; SAFFORD, H.D.; and VIERS, J.H. 2006. Beta diversity and the scale-dependence of the productivity-diversity relationship: a test in the Californian serpentine flora. *Journal of Ecology*, v. 94, p.110–117.

HARVEY, P.H. & RAMBAUT, A. 2000. Comparative analyses for adaptive radiations. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 355:1599-1606.

HENRIQUES, R.P.B., MEIRELLES, M.L. & HAY, J.D. 1984. Ordenação e distribuição de espécies das comunidades vegetais na praia da restinga de Barra de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 7, p. 27-36.

HORNER-DEVINE, M.C, BOHANNON, B.J.M. 2006. Phylogenetic clustering and overdispersion in bacterial communities. *Ecology*. v. 87, p.100–108.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. 2012. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Rio de Janeiro, Brasil. ISBN 978-85-240-4272-0.

KRAFT, N.J.B.; METZ, M.R.; CONDIT, R.S.; CHAVE, J. 2010. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set. *New Phytologist*, 188, 1124-1136.

MAGURRAN, A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford, p. 256.

MAHERALI, H. & KLIRONOMOS, J. N. 2007. Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. *Science*, v. 316, p. 1746-1748.

MARCHANTE, H.; FREITAS, H. & HOFFMANN, J. H. 2010. The potential role of seed banks in the recovery of dune ecosystems after removal of invasive plant species. *Applied Vegetation Science*. n.14, p.107–119.

MARTINS, C.A.; ROQUE, F.O.; SANTOS, B.A.; FERREIRA, V.L.; STRÜSSMANN, C. TOMAS, W.M. 2015. What shapes the phylogenetic structure of anuran communities in a seasonal environment? the influence of determinism at regional scale to stochasticity or antagonistic forces at local scale. *Plos One*, v. 10, n.6: e0130075. doi:10.1371.

MASON, N.W.H., MOUILLOT, D., LEE, W.G. & WILSON, J.B. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. *Oikos*. v. 111, n.1, p.112-118.

MATIAS, L. Q. & NUNES, E. P. 2001. Levantamento florístico da área de Proteção Ambiental de Jericoacoara, Ceará. *Acta Botânica Brasílica* v.15, n.1, p. 35-43.

MAY, R.M. 1990. Taxonomy as destiny. *Nature*. v. 347, p. 129-130.

MCGILL, B. J. 2010. Matters of scale. *Science*, Washington, v. 328, n. 5978, p. 575-576.

MCPEED, M. A. & MILLER, T. E. 1996. *Evolutionary biology and community ecology*. *Ecology*, v. 77, p. 1319-1320.

MEDEIROS, D. P. W.; SANTOS-FILHO, F. S.; ALMEIDA Jr., E. B.; PIMENTEL, R. M. M. & ZICKEL, C. S. 2010. Estrutura do componente lenhoso de uma restinga no litoral sul de Alagoas, Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n.3, p.155-159.

MEDEIROS, D.P.W.; LOPES, A.V. & ZICKEL, C.S. 2007. Phenology of woody species in tropical coastal vegetation, northeastern Brazil. *Flora*, n.202, p.513-520.

MOUCHET M.A., VILLÉGER S., MASON N.W.H. and MOUILLOT D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Functional Ecology*, v.24, p.867–876.

NAEEM, S. & LI, S. 1997. A more reliable design for biodiversity study. *Nature*, v. 390, p. 507–509.

ORMOND, W.T. 1960. Ecologia das restingas do Sudeste do Brasil: comunidades vegetais das praias arenosas. Parte I. *Arquivos do Museu Nacional* 50:185-236.

PETCHEY, O.L. & GASTON, K.J. 2002. Functional Diversity (FD), species richness, and community composition. *Ecology Letters*, v. 5, n. 3, p 402-411.

PETCHEY, O.L. & GASTON, K.J. 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecol. Lett.* v.9, n.6, p. 741-758.

PETCHEY, O.L. 2004. On the statistical significance of functional diversity. *Funct. Ecol.* v. 18, n. 2, p. 297-303.

PLA, L.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J. Quantifying Functional Biodiversity, *SpringerBriefs in Environmental Science*, DOI: 10.1007/978-94-007-2648-2. 2012.

RICOTTA, C. 2005. Through the jungle of biological diversity. *Acta Biotheor.* v. 53, n 1, p. 29-38.

RIZZINI, C.T. Tratado de fitogeografia do Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Ed. Ltda. 1997. 747p.

ROSADO, B. H. P.; DIAS, A.T.C.; & MATTOS, E.A. 2013. Going Back to Basics: Importance of Ecophysiology when Choosing Functional Traits for Studying Communities and Ecosystems. *Natureza & Conservação*, n.11, v.1, p.15-22.

ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. *Revista Continentes*, v. 1, n. 2, p. 8-27, 2013.

SACRAMENTO, A. C.; ZICKEL, C. S. & ALMEIDA Jr. E. B. 2007. Aspectos florísticos de restinga no litoral de Pernambuco. *Revista Árvore*, v.31, n.6, p.1121-1130.

SAMPAIO, D., SOUZA, V. C., OLIVEIRA, A. A., PAULA-SOUZA, J., RODRIGUES, R. R. 2005. Árvores da restinga: guia ilustrado para identificação das espécies da Ilha do Cardoso. São Paulo: Editora Neotrópica, 280 p.

SANT'ANNA NETO, J.L. & NERY, J.T. 2005. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In *Quaternário do Brasil* (C.R.G. Souza, K. Suguio, A.M.S.P. Oliveira & P.E. Oliveira, eds.). Holos Editora, Ribeirão Preto, p.28-51.

SANTOS, B. A; ARROYO-RODRIGUEZ, V.; MORENO, C. E.; TABARELLI, M. 2010. Edge-Related loss of tree phylogenetic diversity in the severely fragmented Brazilian Atlantic Forest. *Tree Phylogenetic Diversity*, PLoS ONE v. 5, p. 1-5.

SANTOS, V. J. Restingas do estado da Bahia: riqueza, diversidade e estrutura. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, 2013.145p.

SANTOS-FILHO, F. S. ; ALMEIDA JR., E. B. ; ZICKEL, C. S. 2013. Do edaphic aspects alter in the structures in the Brazilian restinga?. *Acta Botanica Brasílica*, v. 27, p. 613-623.

SANTOS-FILHO, F. S.; ALMEIDA JR. E. B.; SOARES, C. J. R. S.; ZICKEL, C. S. 2010. Fisionomias das restingas do Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. n.03, p. 218-227.

SCARANO, F. R. 2002. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. *Annals of Botany*, n.90, p.517-524.

SILVA, S.M. & BRITZ, R.M. 2005. A vegetação da Planície Costeira. In: M.C.M. MARQUES & R.M. BRITZ (orgs.). *História Natural e conservação da Ilha do Mel*. Curitiba, UFPR.

SILVA, S. S. L.; MEDEIROS, D. P. W.; ALMEIDA Jr., E. B.; PESSOA, L. M. & ZICKEL, C. S. 2010. Observações fenológicas em uma restinga da APA de Guadalupe, Tamandaré, Pernambuco. In: Albuquerque, UP., Moura, A.N. & Araújo, E.L. (Org.). *Biodiversidade potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Volume 2. Bauru, SP: Canal6/Recife, PE: NUPEEA. pp. 413-435.

SILVA, S. S. L.; ZICKEL, C. S. & CESTARO, L. A. 2008. Flora vascular e perfil fisionômico de uma restinga no litoral sul de Pernambuco, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, v.22, n.4, p.1123-1135.

SOUZA, T. M. S.; LIMA, P. B.; ALMEIDA Jr. E. B.; ALMEIDA, A. L. S. & ZICKEL, C. S. 2010. Densidade, germinação e flora do banco de sementes do solo da restinga da RPPN de Maracápe, Pernambuco, Brasil. In: Albuquerque, UP., Moura, A.N. & Araújo, E.L. (Org.). *Biodiversidade potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Volume 2. Bauru, SP: Canal6/Recife, PE: NUPEEA. pp. 439-461.

SUGUIO, K. & TESSLER, M.G. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.D.; CERQUEIRA, R. & TURCQ, B. (Org.). *Restingas: origem, estrutura e processos*. Niterói – RJ:

CEUFF, p. 15-25.

SUGUIO, K. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais*. 2 ed. São Paulo, Oficina de textos, 408 p. 2010.

SWENSON, N.G.; ENQUIST, B.J.; THOMPSON, J. and ZIMMERMAN, J.K. 2007. The influence of spatial and size scales on phylogenetic relatedness in tropical forest communities. *Ecology*, v.88, p. 1770-1780.

TILMAN, D. 2001. Functional diversity. In *Encyclopedia of Biodiversity* (S.A. Levin, ed.). Academic Press, San Diego, p. 109-120.

TILMAN, D., KNOPS, J., WEDIN, D., REICH, P., RITCHIE, M. & SIEMANN, E. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science*. v. 277, n. 5330, p 1300-1302.

VAMOSI, S.M., HEARD, S.B., VAMOSI, J.C. & WEBB, C.O. (2009). Emerging patterns in the comparative analysis of phylogenetic community structure. *Mol. Ecol.*, 18, 572–592.

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

VICENTE, A.; LIRA, S.S.; CANTARELLI, J.R.R. & ZICKEL, C.S. 2003. Estrutura do componente lenhoso de uma restinga no município de Tamandaré, Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil (Ecossistemas aquáticos, costeiros e continentais). Anais, Fortaleza: SBE. p.170-172.

VILLÉGER, S., MASON, N.W.H. & MOUILLOT, D. 2008. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, v.89, p.2290–2301.

VILLWOCK, J.A., LESSA, G.C., SUGUIO, K., ANGULO, R. J. AND DILLENBURG, S.R. 2005. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras – Cap. 5. In:

Souza, C.R.G.; Suguio, K. & Oliveira, A.M.S. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto – SP: Holos Editora, p. 94-113.

WANG, J.; Shen, J.; WU, Y.; Tu, C.; SOININEN, J.; STEGEN, J.C.; HE, J.; LIU, X.; Lu ZHANG, L. and ZHANG, E. 2013. Phylogenetic beta diversity in bacterial assemblages across ecosystems: deterministic versus stochastic processes. *The ISME Journal*, v.7, p. 1310–1321.

WEBB, C.O. 2000. Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees. *Am. Nat.* v.156, n. 1, p. 145-155.

WEBB, C.O., ACKERLY, D.D., e KEMBEL, S.W. 2008. Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics*, v. 18, p. 2098-2100.

WEBB, C.O., ACKERLY, D.D., MCPEEK, M.A. & DONOGHUE, M.J. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* v. 33, p 475-505.

WEBB, C.O.; ACKERLY, D.D.; KEMBEL, S.W. 2011. Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and character evolution (with Phylomatic and Ecovolve) User's Manual version 4.2. Arnold Arboretum of Harvard University.

WHITTAKER, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21: 213-251.

WILLIAMS, P.H., HUMPHRIES, C.J. & VANE-WRIGHT, R.I. 1991. Measuring biodiversity: taxonomic relatedness for conservation priorities. *Austr. Syst. Bot.* v. 4, n. 4, p.665-679.

WRIGHT, I.J.; REICH, P.B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D.D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F.; CAVENDER-BARES, J.; CHAPIN, T.; CORNELISSEN, J.H.; DIEMER, M.; FLEXAS, J.; GARNIER, E.; GROOM, P.K.; GULIAS, J.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B.B.; LEE, T.; LEE, W.; LUSK, C.; MIDGLEY, J.J.; NAVAS, M.L.;

NIINEMETS, U.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTER, H.; POOT, P.; PRIOR, L.; PYANKOV, V.I.; ROUMET, C.; THOMAS, S.C.; TJOELKER, M.G.; VENEKLAAS, E.J.; VILLAR, R. 2004. The world-wide leaf economics spectrum. *Nature*, v. 428, p. 821–827.

ZAMITH, L.R. & SCARANO F.R. 2006. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. *Restoration Ecology*, v.14, p. 87-94.

ZICKEL, C.S.; ALMEIDA Jr., E.B.; MEDEIROS, D.P.W.; LIMA, P.B.; SOUZA, T.M.S. & LIMA, A.B. 2007. Magnoliophyta species of restinga, state of Pernambuco, Brazil. *Check List* v.3, p. 224-241.



## **Capítulo I**

A ser enviado para a revista **Diversity and Distribution**

**Como as comunidades vegetais de restinga são estruturadas ao longo de um gradiente regional de pluviosidade e temperatura?**

Tássia de Sousa Pinheiro, Bráulio Almeida Santos, Carmen Silvia Zickel

## **Como as comunidades vegetais de restinga são estruturadas ao longo de um gradiente regional de pluviosidade e temperatura?**

Tássia de Sousa Pinheiro<sup>1\*</sup>, Braúlio Almeida Santos<sup>2</sup>, Carmen Silvia Zickel<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, CEP 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Departamento de Sistemática e Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, s/n, CEP: 58051-900, Castelo Branco, João Pessoa, PB, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, CEP 52171-900 Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil.

\*Autor para correspondência: tassipinheiro@yahoo.com.br

*Aim:* Os processos preditores da estrutura filogenética das comunidades vegetais podem variar e atuar de forma mais evidente na distribuição e coexistência dos táxons, a depender da escala de observação. Neste estudo analisamos 1) se a estrutura filogenética das florestas de restinga é mais dispersa ou agrupada em função do gradiente de pluviosidade e temperatura existente no nordeste brasileiro e 2) se a beta diversidade filogenética correlaciona-se com estes fatores e/ou com a distância geográfica entre as áreas amostradas.

*Location:* restingas alocadas ao longo da Região Nordeste do Brasil.

*Methods:* analisamos 17 comunidades florestais de restinga (vegetação arbustivo-arbórea). A partir do pool regional de espécies (313 spp.) obtivemos a árvore filogenética (Phylocom 4.2). Aplicando o algoritmo COMSTRUCT observamos a estrutura filogenética a partir das métricas: MPD, MNTD, NRI e NTI. A variação espacial entre comunidades foi verificada utilizando o algoritmo COMDIST e COMDISTNT. Utilizamos o teste de Mantel para correlação ambiental, e análise de ordenação (MDS) para verificar os agrupamentos filogenéticos em função dos fatores abióticos analisados.

*Result:* Em escala regional a temperatura foi um bom preditor de agrupamento filogenético entre comunidades florestais de restinga. A pluviosidade não apresentou relação positiva com a maior dispersão filogenética entre os táxons das comunidades. A

diversidade beta filogenética promoveu *turnover* de espécies entre as comunidades em função do aumento da distância geográfica entre as comunidades e do aumento da pluviosidade.

*Main conclusions:* Em escala regional e local, as comunidades florestais das restingas do nordeste brasileiro apresentam estruturas filogenéticas influenciadas respectivamente por fatores abióticos e interações bióticas, mas ainda apresentam forte evidência de processos estocásticos em escala local, apresentando aumento de dissimilaridade filogenética com o aumento da distância e da pluviosidade, combinando processos históricos da colonização vegetal e ligados as relações edáficas desse sistema.

**Palavras-chave:** autocorrelação espacial, coexistência de espécies, diversidade beta filogenética, estrutura filogenética vegetal, filtros abióticos.

## **Introdução**

A heterogeneidade ambiental que ocorre em grandes escalas espaciais é importantes preditores do agrupamento filogenético de táxons que coexistem compartilham caracteres que conferem tolerância a habitats específicos (Webb et al., 2002; Cavender-Bares et al., 2009; Swenson, 2011; Mayfield e Levine, 2010). As variações de pluviosidade e temperatura apresentam-se como fatores subjacentes a estrutura das comunidades tanto ao longo de gradientes ambientais (Gonzalez-Caro et al., 2014) quanto sazonais (Martins et al., 2015), semelhante ao que ocorre em comunidades que sofrem ‘efeito de borda’ e por isso apresentam estrutura e/ou composição diferenciada na borda e no interior (e.g., Arroyo-Rodríguez et al., 2013), ou grupos funcionais distintos ocorrendo em diferentes habitats (e.g., Del Vecchio et al., 2016), classificando inclusive ambientes estressantes (Gonzalez-Caro et al., 2014).

As dissimilaridades na estrutura filogenética entre comunidades (beta diversidade) refletem a heterogeneidade entre habitats e é determinada tanto pela modificação da estrutura filogenética da comunidade, quanto por diferenças na proporção de ocorrência das populações (Swenson, 2011; Jin et al., 2015). Portanto, a depender da escala espacial, os processos estruturadores das comunidades apresentam maior relação com processos biogeográficos (escalas regionais) ou interações ecológicas (escalas locais), sendo a maior heterogeneidade entre comunidades explicada

pelas principais diferenças abióticas entre habitats, observadas em maiores escalas (Graham e Fine, 2008; Swenson, 2011; Fine e Kembel, 2011).

Embora a especialização de táxons em habitats específicos seja um preditor do agrupamento filogenético em habitats exclusivos, em amplas escalas espaciais (Gonzales-Caro et al., 2014) em escala local a exclusão competitiva é um forte mediador da repulsão entre espécies congêneres (Mayfield e Levine, 2010; Oliveira et al., 2014). O táxon espacialmente mais próximo pode ser filogeneticamente distante porque as interações ecológicas podem ser mais relevantes para estruturar sua coocorrência em escala local (Cavender-Bares et al., 2009; Martins et al. 2015). Isto pode gerar padrões aleatórios de coexistência, que podem estar relacionados ao comportamento biológico das espécies (Martins et al., 2015) ou história biogeográfica de ocupação vegetal, como no caso das restingas (Dominguez et al., 1992; Scarano, 2002).

As restingas tem uma formação marcada pelo dinamismo de oscilações do nível dos oceanos e de deposição de sedimentos terciários e quaternários (Suguió e Martin, 1981; Dominguez et al., 1992; Villwock, 1994). É um ecossistema naturalmente adverso devido as suas condições edáficas (solo salino, baixa retenção de nutrientes e de água), composto por espécies de formações vegetais adjacentes (e.g., Floresta Atlântica, Caatinga), que se adaptaram ao contexto abiótico das restingas (Araujo e Lacerda 1987; Scarano, 2002). O histórico de formação da vegetação das restingas sugere que a ocupação ocorreu aleatoriamente (i.e., sedimentos terciários, formações adjacentes), inclusive porque há evidencia de elevada beta diversidade taxonômica entre comunidades nordestinas (Santos, 2013), apesar da flora arbórea das restingas serem mais similares às espécies da floresta Atlântica (Santos-Filho et al., 2010).

Baseado na informação sobre a heterogeneidade florística entre as florestas de restinga do litoral nordeste do Brasil (Santos, 2013), associado aos processos de estruturação filogenética de comunidades vegetais em diferentes escalas (Mayfield e Levine, 2010; McGill, 2010; Swenson, 2011) nosso objetivo foi saber se a estrutura filogenética das florestas de restinga é mais dispersa ou agrupada em função do gradiente de pluviosidade e temperatura existente no nordeste brasileiro, e se a beta diversidade filogenética correlaciona-se com estes fatores e/ou com a distância espacial entre as áreas analisadas.

Nossas expectativas são que em escala regional as restingas apresentam comunidades filogeneticamente agrupadas, relacionando-se positivamente a ambientes mais ‘adversos’ (menores médias pluviométricas e maiores médias de temperatura) e negativamente em condições ambientais opostas (‘favoráveis’). Se esta relação se confirmar, será possível identificar que em ambientes com condições adversas a diversidade beta filogenética entre as florestas serão menores que entre as comunidades de ambientes favoráveis. Em escala local, será possível observar uma rotatividade de espécies representada através das dissimilaridades filogenéticas, confirmando a divergência florística já mencionada nessa escala, sendo essa divergência devida ao histórico de colonização vegetal das restingas, que sugere que diferentes conjuntos de espécies foram dispersos para este ecossistema. A partir disso, esperamos que a relação espacial associada aos fatores abióticos demonstre como as florestas das restingas nordestinas são filogeneticamente estruturadas em escala regional e local.

Para isto, reunimos os dados florísticos de 17 florestas de restinga do nordeste brasileiro e analisamos suas relações filogenéticas, espaciais e ambientais a partir das seguintes questões: como o gradiente abiótico formado pela variação da pluviosidade e temperatura influenciam a estrutura filogenéticas das florestas de restinga? A diversidade beta filogenética correlaciona-se com os fatores abióticos e/ou a distância geográfica das restingas? A divergência florística entre as áreas amostradas está correlacionada à diversidade beta filogenética?

## **Métodos**

### *A vegetação de restinga - área de estudo*

As restingas estão inseridas no domínio Mata Atlântica e por isso são Áreas de Proteção Permanente (CONAMA 2002; Sampaio et al. 2005) e ocorrem naturalmente em toda a extensão do litoral brasileiro (BRASIL, 1973). Pertencem ao grupo ‘Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas’ enquadradas na divisão ‘Formação Pioneira com Influência Marinha’. São reconhecidas por três fitofisionomias (campo, fruticeto e floresta, de acordo com SILVA e BRITZ, 2005) apesar disso, é difícil adotar um critério de classificação adequado à heterogeneidade de feições e de composição vegetal que esse ecossistema litorâneo abrange (Rizzini 1963, 1979; Romariz, 1964; Andrade-Lima, 1966, IBGE, 2012). Uma definição intrigante está na fisionomia floresta, que no

caso das restingas pode apresentar indivíduos arbóreos a partir de cinco metros de altura a 20m, sendo a maior altura desse estrato associada a ambientes com maior disponibilidade de água e/ ou matéria orgânica (Silva, 1999).

#### *Obtenção dos dados*

A lista regional de espécies utilizada neste trabalho foi compilada de levantamentos fitossociológicos da vegetação arbóreo/ arbustiva de 17 florestas de restinga amostradas ao longo da costa brasileira (Fig.1, Tabela 1), totalizando uma área de 3.317 km de extensão, que estende-se desde o norte do Maranhão ao sul da Bahia. Nesta escala as pluviosidades e temperaturas médias variam de 23,8°C a 27,5°C, e 1200 mm a 2443 mm, respectivamente (Tabela 1). Estas médias foram consultadas no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP (<http://www.inmet.gov.br>).

Os destes levantamentos fitossociológicos (Tabela 1) seguiram a metodologia de ponto quadrante, que consiste numa amostragem a partir de pontos equidistantes ao longo de transectos lineares paralelos e também equidistantes entre si (Cottam e Curtis, 1956). As amostragens contabilizaram 200 indivíduos em cada comunidade florestal, no total, 3.400 indivíduos.

Nas análises filogenéticas utilizamos os dados de presença/ ausência das espécies para estimar a estrutura das comunidades, devido à falta de acesso aos dados de abundância de espécies para todas as áreas. A ausência desse dado não prejudica o cálculo da distância filogenética entre os táxons, apenas não apresenta estas relações de parentesco ponderadas pela abundância (Webb et al., 2011).

A lista de espécies (Anexo 1) obtida ao final da compilação dos dados foi conferida e atualizada, quando necessário, de acordo com o sistema de classificação proposto no APG III (2009). A grafia correta dos nomes foi conferida nas bases de dados taxonômicos disponíveis online: *The Plant List* (<http://www.theplantlist.org/>), *Missouri Botanical Garden* (<http://www.tropicos.org/>) e no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>).

#### *Construção da árvore filogenética e análise das relações entre táxons*

Para determinar as afinidades filogenéticas entre as espécies das restingas do nordeste brasileiro, datamos os principais clados de angiospermas a partir da lista de

espécies das restingas, que apresentam resolução em nível familiar de acordo com o APG III (2009). Datamos os nós do conjunto regional de espécies das restingas, composta por 313 espécies, agrupadas em 173 gêneros e 57 famílias, utilizando a *megatree* R20120829 do módulo Phylomatic 3 (disponível *online* em <http://phylodiversity.net/phylomatic/>) do software Phylocom 4.2 (Webb et al. 2011).

Os comprimentos dos ramos que estimam a idade do nó dos clados foram calibrados de acordo com as datações propostas por Bell et al. (2010), consideramos a idade máxima para os clados de angiospermas apresentados nesta proposta. Os nós não datados foram ajustados utilizando o algoritmo BLADJ do software Phylocom 4.2 (2011). Após a calibragem, aplicamos o algoritmo COMSTRUCT (Phylocom 4.2) para avaliar as relações de parentesco filogenético entre as espécies que compõem as restingas analisadas, em relação ao esperado ao acaso. A partir dos dados de presença e ausência das espécies em cada comunidade foi possível determinar para cada uma delas a média de parentesco filogenético entre todos os táxons (MPD - *Mean Phylogenetic Distance*), entre os pares de táxons mais próximos (MNTD - *Mean Nearest Phylogenetic Taxon Distance*), e os índices de parentesco líquido da comunidade (NRI - *Net Relatedness Index*) e dos táxons mais próximos (NTI - *Nearest Taxon Index*) (Webb et al. 2011).

Os valores das métricas estruturais (NRI e NTI) foram obtidos a partir de 999 comparações aleatórias entre as médias de distância filogenética observada para cada comunidade (MPD – média de distância filogenética e MNTD – média de distância filogenética para o táxon mais próximo) com o modelo nulo gerado pelo Phylocom 4.2 (Webb et al. 2011) para cada uma delas observadas em MPD e MNTD nulos (MPD.rnd e MNTD.rnd). Este modelo nulo é originado a partir do *pool* regional de espécies (todas as espécies das comunidades amostradas). Utilizamos o modelo nulo “0” default no software Phylocom 4.2, que aleatoriza a ocorrência de todas as espécies do *pool* regional entre as comunidades, independente das relações filogenéticas entre elas (Webb et al. 2011).

Para avaliar a distância dos ramos basais da filogenia (NRI) e a distância entre os táxons mais próximos nos ramos terminais (NTI), observamos os valores relativos ao número de comunidades nulas com médias filogenéticas (MPD/MNTD) maiores ou iguais (rankHi) e menores ou iguais (rankLow) aos valores das médias observadas (MPDobs/MNTDobs). NRI e NTI foram considerados significativos, evidenciando

agrupamento ou dispersão na estrutura filogenética, quando o valor médio das relações filogenéticas das comunidades nulas foi até 5% menor que as médias das relações observadas nas comunidades (Webb et al. 2011).

Para verificar se os fatores abióticos são preditores de agrupamentos e/ou dispersão dos táxons que compõem as comunidades florestais de restinga na Região Nordeste do Brasil, aplicamos uma regressão não-linear para avaliar a relação das métricas de parentesco filogenético (MPD/ MNTD/ NRI/ NTI) e os dados de pluviosidade e temperatura médios. A possível correlação entre as dissimilaridades filogenéticas (diversidade beta filogenética) das restingas com os fatores abióticos e de distância geográfica entre as restingas foi analisada a partir do teste de Mantel no Primer 6 (Clarke et al., 2005).

Para facilitar a apresentação dos resultados de correlação ambiental consideramos que comunidades vegetais localizadas em áreas que apresentaram maiores médias pluviométricas e menores temperaturas médias estão em condições ‘favoráveis’, e áreas que apresentaram menores médias de pluviosidade e maiores médias de temperatura, consideramos comunidades em condições abióticas ‘adversas’. Essa caracterização baseou-se na ‘qualidade de habitat’ que cada restinga apresenta, referindo-se aos efeitos microclimáticos sobre a estrutura da comunidade vegetal que são capazes de influenciar diferenças na composição e/ou estrutura em função dos diferentes habitats (Arroyo-Rodríguez et al., 2013; Gonzalez-Caro et al., 2014; Del Vecchio et al., 2016).

A distância filogenética existente entre as comunidades (beta diversidade filogenética) foi analisada a partir dos valores das métricas estruturais (betaNRI e betaNTI) baseado nos dados de riqueza de espécies comunidades. Calculamos essas métricas no Phylocom 4.2 (2011) utilizando os algoritmos COMDIST e COMDISTNT (Webb et al. 2011). Para avaliar a influência da distância geográfica e do gradiente abiótico na diversidade beta filogenética nós utilizamos o teste de Mantel relacionando a dissimilaridade filogenética à distância espacial (distância em quilômetros entre as comunidades amostradas) associada aos dados de pluviosidade e temperatura. Aplicamos uma ordenação multidimensional não-métrica (NMDS) para verificar se a diversidade beta filogenética aumenta ou diminui em função da pluviosidade e temperatura. A significância dessa dissimilaridade filogenética vs. fatores abióticos foi



determinada pelo ANOSIM. Ambas as análises foram realizadas no Primer 6 (Clarke et al., 2005).

## Resultados

Nossos resultados indicam que em escala regional a temperatura foi preditora do agrupamento filogenético nas comunidades florestais de restinga. Os resultados da regressão não-linear mostraram que a temperatura do ar esteve correlacionada positivamente com o agrupamento filogenético entre os táxons das comunidades, tanto para MPD quanto para NRI (Fig. 2), indicando que de modo geral, as comunidades tendem ao agrupamento filogenético em condições mais adversas. Já a pluviosidade média não apresentou relação significativa com a dispersão filogenética em condições ambientais favoráveis (Fig. 2).

Particularmente observamos que duas comunidades localizadas ao sul da Bahia, que apresentam condições ambientais favoráveis, apresentaram estrutura filogenética significativamente mais dispersa que o esperado em relação ao banco regional de espécies, tanto nas relações basais entre os táxons ( $NRI_{\text{caravelas}} = -1,76$ ;  $p = 0,009$ ;  $NRI_{\text{itubera}} = -1,67$ ;  $p = 0,023$ ) quanto entre os pares de táxons mais próximos nos ramos terminais destas comunidades ( $NTI_{\text{caravelas}} = -2,65$ ;  $p = 0,004$ ;  $NTI_{\text{itubera}} = -1,95$ ;  $p = 0,028$ ).

Já em condições adversas, como a que ocorre no pequeno litoral do estado do Piauí, duas comunidades apresentaram grupos basais tão relacionados que em praticamente todas as 999 comunidades aleatórias geradas em comparação com o modelo nulo, as comunidades apresentaram filogenias mais agrupadas que o esperado ao acaso ( $NRI_{\text{ilhagrande}} = 5,01$  /  $NRI_{\text{paranaíba}} = 4,37$ ;  $p = 0,001$ , para ambos), seguindo a mesma configuração entre as relações específicas nos ramos terminais da filogenia ( $NTI_{\text{ilhagrande}} = 3,02$ ;  $p = 0,001$ ;  $NTI_{\text{paranaíba}} = 1,85$ ;  $p = 0,036$ ).

A dissimilaridade na composição florística mencionada entre florestas de restinga do nordeste brasileiro (ordenação bidimensional  $R=0,46$ ;  $p= 0,003$ ; Santos, 2013) foi observada, de modo similar, entre os ramos terminais das filogenias (betaNTI). A substituição de espécies, observada nos ramos terminais (NTI) da filogenia de cada comunidade, apresentou alta correlação (60%) com o aumento da distância geográfica entre florestas de restinga ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,605$ ;  $p = 0,01$ ). No nível de família, observadas nos ramos basais da estrutura filogenética das comunidades (NRI), a

diversidade beta filogenética não apresentou forte correlação com o aumento da distância geográfica entre as restingas ( $R_{\text{betaNRI}} = 0,361$ ;  $p = 0,02$ ). Quanto à correlação entre a diversidade beta filogenética *vs.* fatores abióticos, observamos que só houve divergência significativa de espécies entre comunidades com o aumento da pluviosidade ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,67$ ;  $p = 0,03$ ), a temperatura média do ar não influenciou a maior rotatividade de espécies entre as comunidades ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,234$ ;  $p = 0,82$ ). A pluviosidade não esteve correlacionada a substituição de famílias entre as comunidades ( $R_{\text{betaNRI}} = 0,346$ ;  $p = 0,56$ ), assim como a temperatura ( $R_{\text{betaNRI}} = 0,041$ ;  $p = 0,59$ ).

## Discussão

De modo geral, nossas hipóteses foram corroboradas. As comunidades apresentaram uma tendência estrutural de agrupamento filogenético relacionado à ambientes mais adversos, mas a pluviosidade não foi preditora de maior dispersão filogenética entre os táxons, negando parte da nossa hipótese sobre maior diversidade filogenética em ambientes com condições mais favoráveis (Fig. 1). Além disso a diversidade beta filogenética apresentou forte correlação com o aumento da distância geográfica entre as restingas promovendo a substituição de espécies entre áreas ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,605$ ;  $p = 0,01$ ) e com o aumento da pluviosidade ( $R_{\text{betaNTI}} = 0,67$ ;  $p = 0,03$ ).

Comunidades que apresentam táxons filogeneticamente mais aparentados em escala regional, indicam que o contexto abiótico limita a ocorrência de maior diversidade de táxons, como ocorreu em duas restingas do Piauí. Isto acontece por causa da conservação de traços funcionais, entre espécies mais aparentadas, ao longo do processo evolutivo (Webb et al., 2002; Cavender-Bares et al., 2009), promovendo especialização de habitats nesse grupo em linhagens completas, portanto comunidades filogeneticamente agrupadas (Gonzalez-Caro et al. (2014). No caso das restingas isso explicaria a coexistência de espécies agrupadas filogeneticamente (Oliveira et al., 2014). Adicionalmente, é reconhecido que esse agrupamento é dependente da escala de observação.

À medida que a escala aumenta é possível identificar comunidades cada vez mais dissimilares quanto à estrutura florística e filogenética, e apesar desse agrupamento, dentro de cada habitat observaram que há uma tendência de repulsão para o co-genérico mais próximo (Oliveira et al., 2014). Grandes escalas (regionais e globais) apresentam maior variação abiótica (e.g., heterogeneidade de habitats) que

influenciam a coexistência de espécies com aptidões de estabelecimento e persistência semelhantes (Webb et al., 2002; Adler et al., 2007; Swenson et al., 2007; McGill, 2010; Mayfield e Levine 2010). Assim, onde a variação abiótica é mais acentuada há uma tendência maior para a coexistência de táxons mais relacionados, tornando os gradientes ambientais bons preditores do agrupamento filogenético de comunidades vegetais (Gonzalez-Caro et al., 2014; Jin et al., 2015)

Apesar da tendência de comunidades mais agregadas em sua filogenia, relacionadas ao contexto abiótico adverso, e mais dispersas em função de ambientes mais favoráveis, nossos resultados mostraram que apenas duas comunidades em cada condição foram significativamente agrupadas (Ilha Grande e Parnaíba, Piauí) e significativamente dispersas (Caravelas e Ituberá, Bahia). As demais comunidades apresentaram médias de parentesco filogenético mais próximo ao esperado ao acaso.

A tendência aleatória na estrutura filogenética de comunidades mais semelhantes ao modelo aleatório demonstra que podem ser montadas com base em eventos estocásticos, associados tanto ao histórico de formação das restingas (Scarano, 2002), quanto aos que ocorrem ao longo do tempo levando a redução e até extinção local de populações (Adler et al., 2007).

Sob o contexto de formação geomorfológica, a restinga pode ser considerada um ecossistema bastante dinâmico em relação aos eventos de transgressão do nível dos oceanos, que permitiram a aparição dessas planícies costeiras em momentos alternados no tempo geológico, ficando emersa no último e atual Período, o Quaternário (ver Bittencourt et al., 1979; Dominguez et al., 1992). O Quaternário é marcado pela sedimentação e acomodação dos terrenos nas planícies costeiras (Suguió & Tessler, 1984; Dominguez et al., 1992), mas embora os maiores eventos geológicos tenham ocorrido há mais de 1,8 milhões de anos, alguns eventos menores podem ter atingido a vegetação costeira (Cf. Veloso, 2015). Veloso (2015) relata que há 260 anos um tsunami com ondas de dois a seis metros de altura inundou de cinco a seis quilômetros e atingiu os estados da Paraíba, Pernambuco e Bahia. Eventos como estes e em maiores proporções podem ter ocorrido ao longo do tempo causando perturbações naturais na vegetação costeira, que no caso das restingas, é considerada um ecossistema recente, sem possibilidades de endemismos e especiações entre sua biota vegetal (Scarano 2002).

Considerando o fato das restingas terem sido colonizadas por espécies de ecossistemas adjacentes, associando ao fato da grande possibilidade de ocorrência de eventos naturais de perturbação nesse ecossistema, podemos inferir que além dos processos determinísticos observados em escala regional, suas comunidades são estruturadas por eventos dinâmicos, capazes de promover instabilidades nas comunidades (i.e., inundações) que condicionam uma maior influência de processos estocásticos (Kembel & Hubbell 2006).

Analisando a montagem das comunidades por esse aspecto e considerando o resultado da relação distância geográfica vs. distância filogenética, promovendo a substituição de espécies (betaNTI) entre as comunidades mais distantes, podemos entender que a cada emergência das planícies costeiras, diferentes formações vegetais podem ter sido as ‘primeiras’ a dispersar suas espécies para as novas terras emersas (cf. Rizzini 1997, Scarano 2002, Santos-Filho et al. 2013), ou até mesmo diferentes populações podem ter dispersado indivíduos em proporções distintas ao longo da costa nordestina. Adicionalmente, o aumento da pluviosidade entre comunidades também promoveu maior dissimilaridade filogenética elas, em nível de espécie (betaNTI). Isto evidencia que o contexto abiótico, no caso, ‘favorável’, pode atuar amenizando os efeitos das características edáficas das restingas (e.g., baixa retenção hídrica) e, por conseguinte, entrada de espécies nesse sistema.

Em um contexto espacial de organização da biota, os eventos históricos, climáticos e geográficos são preditores importantes no estabelecimento das comunidades (Martins et al. 2015, Fernandes e Queiroz 2015). Nesse cenário, as comunidades florestais das restingas podem ser guiadas por processos biogeográficos em grande escala que determinam o banco regional de espécies potencialmente capazes de colonizar qualquer ambiente e direcionam a estrutura das comunidades nos gradientes abióticos (Webb et al. 2008, McGill 2010, Díaz et al. 2016) e por escalas locais, onde as interações bióticas entre as espécies, e destas com o ambiente, atuam na montagem das comunidades (Swenson et al., 2007; Vamosi et al., 2009; Oliveira et al. 2015). O processo de substituição de espécies atrelado a esse padrão aleatório indica que a comunidade ainda não alcançou estabilidade demográfica direcionada tanto pela filtragem ambiental quanto pelas interações bióticas entre as espécies (Adler et al., 2007; Mayfield et al., 2010).

### **Considerações finais**

Os processos contemporâneos responsáveis pela estruturação das restingas parecem refletir bem o histórico de formação desse ecossistema. Apesar de apresentar uma tendência de filtragem abiótica em escala regional, em conjunto com as interações bióticas em escala local, corroborando análises de sistemas mais estáveis, as restingas ainda apresentam uma forte evidência de processos aleatórios direcionando a estrutura das comunidades vegetais nesse ecossistema. Dois preditores importantes do *turnover* filogenético entre as comunidades foram evidenciados: a distância geográfica e fator pluviosidade, este último pode estar associado à disponibilidade de água (Gonzalez-Caro et al. (2014), já que as restingas apresentam baixa retenção hídrica devido ao solo arenoso, a maior disponibilidade de água “facilitaria” a entrada de mais espécies neste sistema, apresentando efeito semelhante ao que foi citado por Silva (1999) em relação a fisionomia de florestas de restinga a partir do incremento de água e matéria orgânica nos ambientes de restinga, a partir do qual há um aumento considerável de biomassa dos indivíduos arbóreos. Sendo assim, outros fatores, como proximidade do lençol freático e componentes do solo (i.e., matéria orgânica) podem ser incorporados na análise de das relações de parentesco filogenético, adicionando métricas mais específicas de divergência taxonômica e filogenética para quantificar com maior robustez as modificações estruturais que ocorrem entre as comunidades.

### **Referências**

- Almeida Jr. E. B. et al. 2007. Flora e formas de vida em uma área de restinga no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista de Geografia*. 24: 20-35.
- Almeida Jr, E. B. et al. 2009. Caracterização da vegetação de restinga da RPPN de Maracaípe, PE, Brasil, com base na fisionomia, flora, nutrientes do solo e lençol freático. - *Acta Bot. Bras.* 23: 36-48.
- Almeida Jr. E. B. 2011. Structural characterization of the woody plants in *restinga* of Brazil. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 3: 95-103.
- Almeida Jr. E. B. and Zickel, C. S. 2012. Análise fitossociológica do estrato arbustivo-arbóreo de uma floresta de restinga no Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2: 286-291.

Anderson, T. M. et al. 2004. The relationship of phylogeny to community structure: the cactus yeast community. - *The American Naturalist*. 164: 709-721.

APG III 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. - *Bot. J. Linn. Soc.* 161: 105-121.

Araujo, D.S.D. and Henriques, R.P .B. 1984. Análise florística das restingas do Estado do Rio de Janeiro. Pp. 47-60. In: L.D. Lacerda; D.S.D. Araujo; R. Cerqueira & B. Turq (eds.). *Restingas: Origem, Estrutura e Processos*. Niterói, CEUFF

Atuncar, G. S. 2011. Conceitos básicos de processos estocásticos. Departamento de estatística.- <[http://www.iceb.ufop.br/deest/p3f11\\_d3p4rt4m3nt03st/arquivos/0.172635001381487574](http://www.iceb.ufop.br/deest/p3f11_d3p4rt4m3nt03st/arquivos/0.172635001381487574)> acessado em junho de 2015.

Bell, C. D. et al. 2010. The age and diversification of the angiosperms re-revisited. - *American J. Bot.* 97: 1296–1303.

Bittencourt, A. C. S. P. et al. 1979. Quaternary marine formations of the State of Bahia (Brazil). – Proceedings of the “1978 International. Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo, pp. 232-253.

Brasil, 1973. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SA. 23 São Luis e parte da folha SA. 24 Fortaleza: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. - Rio de Janeiro.

Graham CH, Fine PVA (2008) Phylogenetic beta diversity: linking ecological and evolutionary processes across space in time. *Ecology Letters* 11: 1265–1277.

Brown, J and Lomolino, M. 2006. *Biogeografia*. Ribeirão Preto, - FUNPEC.

Cadotte, M. W. et al. 2008. Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. - *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 105: 7012-7017.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, 303/2002. Definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

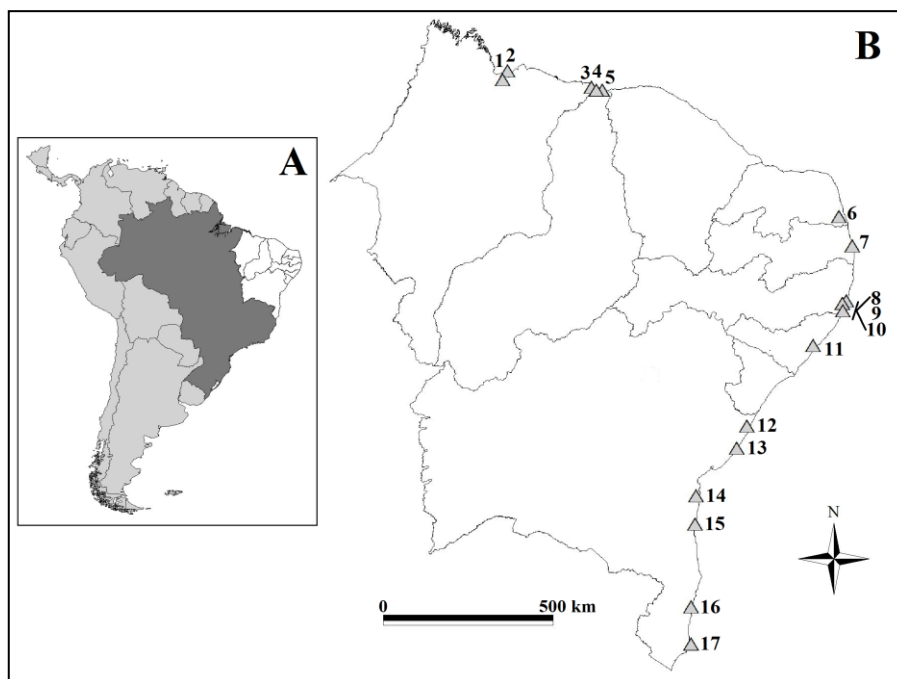
Cavender-Bares, J. et al. 2009. The merging of community ecology and phylogenetic biology. - *Ecol. Lett.* 12: 693-715.

- Cottam, G. and Curtis, J.T.1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. - *Ecology*, 37:451-460.
- Del Vecchio S, Slaviero A, Fantinato E, Buffa G. 2016. The use of plant community attributes to detect habitat quality in coastal environments. *AoB PLANTS* 8: plw040; doi:10.1093/aobpla/plw040
- Dominguez, J. M. L. et al. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. - *Sedimentary Geology*. 80: 213-232.
- Faith, D. P. and Baker, A. M. 2006. Phylogenetic diversity (PD) and biodiversity conservation: some bioinformatics challenges. - *Evol. Bioinf.* 2: 71-77.
- Fernandes, M. F. and Queiroz, L. P. 2015. Floristic surveys of Restinga forests in southern Bahia, Brazil, reveal the effects of geography on community composition. *Rodriguésia* 66(1): 051-073. 2015
- Fine, P. and Kembel, S.W. 2011. Phylogenetic community structure and phylogenetic turnover across space and edaphic gradients in western Amazonian tree communities. - *Ecography* 34: 552-565.
- Gonzalez, M. A. et al. 2010. Shifts in species and phylogenetic diversity between sapling and tree communities indicate negative density dependence in a lowland rain Forest. - *J. Ecol.* 98: 137–146.
- Henriques, R. P. B. et al. 1984. Ordenação e distribuição de espécies das comunidades vegetais na praia da restinga de Barra de Maricá, Rio de Janeiro. - *Rev. Bras. Bot.* 7: 27-36.
- Jin, L. S. et al. 2015. Phylogenetic turnover patterns consistent with niche conservatism in montane plant species. - *Rev. Bras. Biol.*,103:742-749.
- Kembel, S. W. and Hubbell, S. P. 2006. The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. - *Ecology*, 87: 86–99.

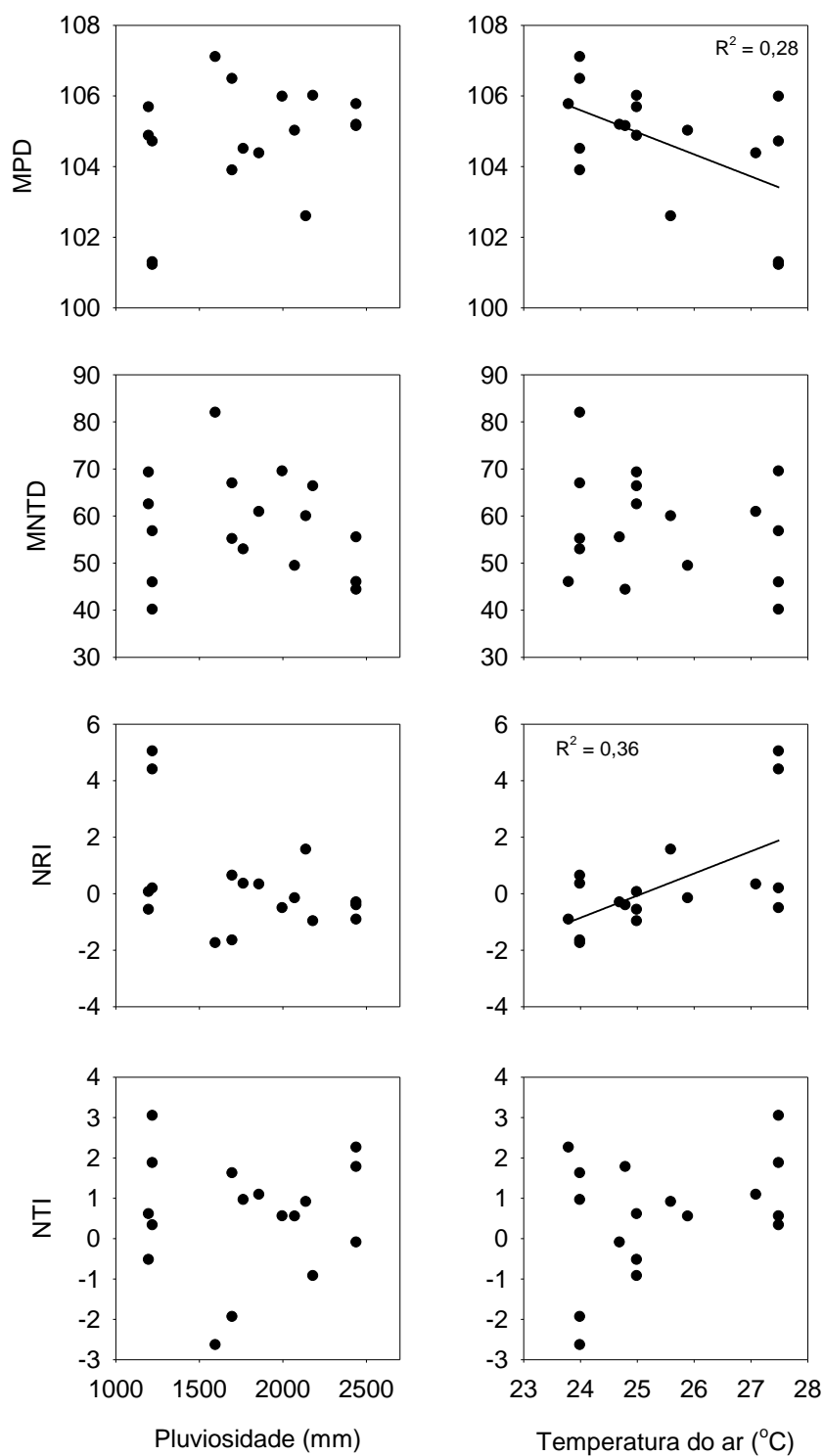
- Martins, C.A. et al. 2015. What shapes the phylogenetic structure of anuran communities in a seasonal environment? the influence of determinism at regional scale to stochasticity or antagonistic forces at local scale. - Plos One.
- Medeiros, D. P. W. et al. 2010. Estrutura do componente lenhoso de uma restinga no litoral sul de Alagoas, Nordeste, Brasil. - Rev. Bras. Geogr. Fís. 3: 155-159.
- Medeiros, D. P. W. et al. 2007. Phenology of woody species in tropical coastal vegetation, northeastern Brazil. – Flora 202: 513-520.
- Oliveira, A. A. et al. 2014. Habitat specialization and phylogenetic structure of tree species in a coastal Brazilian white-sand forest. - J. Plant. Ecol. 7:134-144.
- Petchey, O. L. and Gaston, K. J. 2002. Functional Diversity (FD), species richness, and community composition. - Ecol. Lett. 5: 402-411.
- Rizzini, C. T. 1997. Tratado de fitogeografia do Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural - Ed. Ltda. 747p.
- Santos, V. J. 2013. Restingas do estado da Bahia: riqueza, diversidade e estrutura. Tese (Doutorado em Botânica). - Univ. Federal Rural de Pernambuco, Depto. De Biologia, Recife, 145p.
- Santos-Filho, F. S. et al. 2013. Do edaphic aspects alter in the structures in the Brazilian restinga? - Acta bot. bras. 27: 613-623.
- Scarano, F. R. 2002. Structure, Function and Floristic Relationships of Plant Communities in Stressful Habitats Marginal to the Brazilian Atlantic Rainforest. Ann. Bot. 90: 517-524.
- Silva, S.M. 1999. Diagnóstico das restingas do Brasil. In: Fundação Bio Rio (ed.). Workshop Avaliação e Ações Prioritárias Para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira, Ilhéus, [http// www.bdt.org](http://www.bdt.org).
- Suguio, K. and Martin, L. 1981. Significance of Quaternary sea-level fluctuations for delta construction along the Brazilian Coast. - Geo. Marine Letters 1:181-185.



- Suguio, K. and Tessler, M.G. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. - In: Lacerda, L. D. et al. (Org.). Restingas: origem, estrutura e processos. Niterói – RJ: CEUFF, pp. 15-25.
- Vamosi, S.M. et al. 2009. Emerging patterns in the comparative analysis of phylogenetic community structure. *Mol. Ecol.* 18: 572–592.
- Villwock, J. A. et al. 2005. Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. - In: Souza, C.R.G.; Suguio, K. & Oliveira, A.M.S. Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto – SP: - Holos Ed., pp. 94-113.
- Zamith, L. R. and Scarano, F. R. 2006. Restoration of a restinga sandy coastal plain in Brazil: survival and growth of planted woody species. - *Restoration Ecol.* 14: 87–94.
- Zavattini, J. F. and Fratianni, S. 2012. Climatologia: aportes teóricos, metodológicos e técnicos. Edição especial. - *Rev. Geonorte.* 5: 1230-1244.
- Webb, C.O. 2000. Exploring the phylogenetic structure of ecological communities: an example for rain forest trees. *Am. Nat.* 156: 145-155.
- Webb, C.O. et al. 2008. Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. - *Bioinformatics* 18: 2098-2100.
- Webb, C. O. et al. 2002. Phylogenies and community ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33: 475-505.



**Fig 1.** Localização das áreas de restinga amostradas ao longo da costa nordeste do litoral brasileiro. Em destaque a América Latina, Brasil e Nordeste brasileiro (A). Esquema das 17 áreas de restinga amostradas ao longo da costa nordeste (B), as comunidades amostradas estão identificadas pelos nomes dos municípios onde estão localizadas. No estado do Maranhão: Raposa (1) e São José do Ribamar (2); no Piauí: Ilha Grande (3), Paraníba (4) e Luiz Correia (5); no Rio Grande do Norte: Tibau do Sul (6); no Paraíba: Cabedelo (7); em Pernambuco: Ipojuca (8), Sirinhaém (9), Tamandaré (10); em Alagoas: Marechal Deodoro (11); no estado da Bahia: Massarandupió (12), Diogo (13), Ituberá (14), Serra Grande (15), Trancoso (16) e Caravelas (17).

**Fig**

Regressão não-linear entre as variáveis abióticas e as relações de parentes filogenético entre os táxons das comunidades espessas nas médias de relação de parentesco das florestas de restingas (MPD e MNTD) e distância média entre os táxons das comunidades florestais (NRI e NTI). Relações significativas entre MPD vs. temperatura do ar ( $p = 0,02$ ), e NRI vs. temperatura do ar ( $p = 0,01$ ).

**2.**

**Tabela 1.** Restingas onde foram realizadas as coletas fitossociológicas. A partir desses trabalhos previamente realizados, foi extraído o conjunto regional de espécies utilizadas para avaliação da estrutura filogenética das comunidades florestais de restinga que ocorre no nordeste do Brasil. A localização das restingas é indicada pelo município-estado e coordenada geográfica. São indicados dados de clima (Köppen-Geiger, 1948), pluviosidade (P) em milímetros (mm), temperatura em °C (T), referência bibliográfica dos trabalhos utilizados. Estados brasileiros da Região Nordeste: MA (Maranhão), PI (Piauí), RN (Rio Grande do Norte), PB (Paraíba), PE (Pernambuco), AL (Alagoas) e BA (Bahia).

Restingas	Coordenada (geográfica)	Clima	P	T	Referência bibliográfica
Raposa -MA	02°24'09"S / 44°01'19"W	Aw	1.861	27,1	Monielle et al. (dados não publicados)
São José de Ribamar - MA	02°38'47"S / 44°09'05"W	Aw	2.000	27,5	Serra et al. (dados não publicados)
Ilha Grande - PI	02°50'84"S / 41°47'39"W	Aw	1.223	27,5	Santos-Filho et al.(2013) Do edaphic aspects alter in the structures in the Brazilian restinga? Acta Botanica Brasílica, v. 27, p. 613-623.
Luiz Correia - PI	02°55'89"S / 41°30'49"W	Aw	1.223	27,5	
Parnaíba -PI	02°55'48"S / 41°40'67"W	Aw	1.223	27,5	
Tibau do Sul - RN	06°17'30"S / 35°12'30"W	As'	2.075	25,9	Almeida Jr. E. B. & Zickel, C. S. (2012) Análise fitossociológica do estrato arbustivo-arbóreo de uma floresta de restinga no Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.7, n.2, p.286-291.
Cabedelo – PB	07°03'47" S / 34°51'14"W	As'	2.141	25,6	Vicente et al. (2003) Estrutura do componente lenhoso de uma restinga no município de Tamandaré, Pernambuco, Nordeste do Brasil. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil (Ecossistemas aquáticos, costeiros e continentais). Anais, Fortaleza: SBE. p.170-172.
Ipojuca - PE	08°31'48"S / 35°01'05"W	As'	2.443	24,8	Almeida Jr. et al. (2011). Structural characterization of the woody plants in restinga of Brazil. Journal of Ecology and the Natural Environment, v.3, n.3, p. 95-103.
Sirinhaém - PE	08°35'21"S / 35°6'55"W	As'	2.443	24,7	Cantarelli et al. (2012) Tipos fitofisionômicos e florística da restinga da APA de Guadalupe, Pernambuco, Brasil. INSULA Revista de Botânica Florianópolis, n. 41, p.95-117.
Tamandaré - PE	08°47'20"S / 35°06'45"W	As'	2.443	23,8	Silva et al. (2008) Flora vascular e perfil fisionômico de uma restinga no litoral sul de Pernambuco, Brasil. Acta Botânica Brasileira, v.22, n.4, p.1123-1135.

<b>Restingas</b>	<b>Coordenada (geográfica)</b>	<b>Clima</b>	<b>P</b>	<b>T</b>	<b>Referência bibliográfica</b>
Marechal Deodoro - AL	09°42'36"S / 35°53'42"W	As'	2.183	25	Medeiros, D. P. W. et al. (2010) Estrutura do componente lenhoso de uma restinga no litoral sul de Alagoas, Nordeste, Brasil. - Rev. Bras. Geogr. Fís. 3: 155-159.
Caravelas - BA	17°39'82"S / 39°09'46"W	Af	1.600	24	Santos, V. J. Restingas do estado da Bahia: riqueza, diversidade e estrutura. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Biologia, Recife, 2013.145p. (disponível online em: <a href="http://www.pgb.ufrpe.br/sites/ww2.prppg.ufrpe.br/files/valdira_de_jesus_santos_-_1.pdf">http://www.pgb.ufrpe.br/sites/ww2.prppg.ufrpe.br/files/valdira_de_jesus_santos_-_1.pdf</a> )
Diogo - BA	12°26'28"S / 37°56'02"W	As'	1.200	25	
Ituberá - BA	13°42'44"S / 39°00'26"W	Af	1.700	24	
Massarandupió - BA	10°27'42"S / 40°11'14"W	As'	1.200	25	
Serra Grande - BA	14°27'49"S / 39°02'06"W	Af	1.700	24	
Trancoso - BA	16°39'53"S / 39°08'34"W	Af	1.767	24	

**Apêndice 1.** Banco regional de espécies, base para as análises de relação de parentesco filogenético. Lista de espécies obtida a partir da compilação de estudos fitossociológicos nas áreas de restinga amostradas ao longo do nordeste brasileiro. Espécies de acordo com a classificação proposta no APG III (2009). Grafia dos nomes conferida nas bases: *The Plant List* (<http://www.theplantlist.org/>), *Missouri Botanical Garden* (<http://www.tropicos.org/>) e no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Hábito das espécies conferido no site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>.

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Arv
	<i>Astronium macrocalyx</i> Engl.	Arv
	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Arv
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Arv
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D. Mitch.	Arv
	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Arv
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Arv
	<i>Annona glabra</i> L.	Arv
	<i>Annona montana</i> Macfad.	Arv
	<i>Annona pickelii</i> (Diels) H.Rainer	Arb
	<i>Annona salzmanii</i> A.DC.	Arv
	<i>Duguetia gardneriana</i> Mart.	Arv
	<i>Duguetia lanceolata</i> St. Hilaire	Arv
	<i>Duguetia surinamensis</i> R.E.Fr.	Arv
	<i>Guatteria pogonopus</i> Mart.	Arv
<i>Xylopia laevigata</i> (Mart.) R. E. Fr.	Arv	
Apocynaceae	<i>Allamanda blanchetii</i> A.DC.	Arb
	<i>Aspidosperma cuspa</i> (Kunth) S.F. Blake ex Pittier	Arb
	<i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T. Aiton	Arb
	<i>Cryptostegia madagascariensis</i> Bojer ex Decne	Arb
	<i>Geissospermum laeve</i> (Vell.) Miers	Arv
	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Arv
	<i>Himatanthus phagedaenicus</i> (Mart.) Woodson	Arv
<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Arv	
Aquifoliaceae	<i>Ilex</i> sp.	Arv/Arb
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	Arv
Asteraceae	<i>Vernonanthura brasiliiana</i> (L.) H.Rob.	Arb
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Arv
	<i>Jacaranda obovata</i> Cham.	Arv
	<i>Tabebuia elliptica</i> (DC.) Sandwith	Arv
Bixaceae	<i>Cochlospermum oricense</i> (Kunth) Steud.	Arv
	<i>Cordia bullata</i> var. <i>globosa</i> (Jacq.) Govaerts	Arv
Boraginaceae	<i>Cordia rufescens</i> A.DC.	Arb
	<i>Cordia superba</i> Cham.	Arb

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
	<i>Myriopus candidulus</i> (Miers) Feuillet	Arb
	<i>Varronia curassavica</i> Jacq.	Arb
	<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Arb
Burseraceae	<i>Protium bahianum</i> Daly	Arv
	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Arv
Cactaceae	<i>Cereus fernambucensis</i> Lem.	Arb
	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Arv
	<i>Pilosocereus</i> sp.	Arb
Cannabaceae	<i>Celtis iguanae</i> (Jacq.) Sarg.	Arb
	<i>Trema micranta</i> (L.) Blume	Arv
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Arb
	<i>Neocalyptrocalyx nectareus</i> (Vell.) Hutch.	Arv
Celastraceae	<i>Maytenus distichophylla</i> Mart. ex Reissek	Arv
	<i>Maytenus robusta</i> Reiss.	Arv
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	Arb
	<i>Couepia impressa</i> Prance	Arv
	<i>Couepia rufa</i> Ducke	Arv
	<i>Hirtella cilata</i> Mart. & Zucc	Arv
	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	Arv
	<i>Licania dealbata</i> Hook. f.	Arv
	<i>Licania gardneri</i> (Hook. f.) Fritsch	Arv
	<i>Licania hypoleuca</i> Benth.	Arv
	<i>Licania littoralis</i> Warm.	Arv
	<i>Licania nitida</i> Hook. f.	Arv
	<i>Licania octandra</i> (Hoffmanns. ex Roem. &Schult.) Kuntze	Arv
	<i>Licania rigida</i> Benth.	Arv
	<i>Licania</i> sp.	Arv
	<i>Trigonia nivea</i> Cambess.	Arb
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Arv
	<i>Clusia nemorosa</i> G.Mey.	Arv
	<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.	Arv
	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	Arv
	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Arv
	<i>Symphonia</i> sp.	Arv
Combretaceae	<i>Buchenavia tetraphylla</i> (Aubl.) R.A.Howard	Arv
	<i>Combretum glaucocarpum</i> Mart.	Arb
	<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Arb
	<i>Combretum mellifluum</i> Eichler	Arb
	<i>Conocarpus erectus</i> L.	Arb
	<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Arv
	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	Arv
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	Arv
Ebenaceae	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	Arb
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Arv

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
Ericaceae	<i>Gaylussacia brasiliensis</i> (Spreng.) Meisn.	Arv
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum columbinum</i> Mart.	Arb
	<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	Arv
	<i>Erythroxylum passerinum</i> Mart.	Arv
	<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	Arb
	<i>Erythroxylum vacciniifolium</i> Mart.	Arb
Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus urens</i> (L.) Arthur	Arb
	<i>Croton adipatus</i> Kunth	Arb
	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Arb
	<i>Croton jacobinensis</i> Baill.	Arb
	<i>Croton polyandrus</i> Spreng.	Arb
	<i>Croton sellowii</i> Baill.	Arb
	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Arb
	<i>Manihot dichotoma</i> Ule	Arv
	<i>Manihot pseudoglaziovii</i> Pax & K. Hoffmann	Arv
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	Arv
	<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers ex Benth.	Arv
	Fabaceae	<i>Abarema cochleata</i> (Willd.) Barneby & Grim
<i>Abarema cochliacarpus</i> (Gomes) Barneby & J.W. Grimes		Arv
<i>Abarema filamentosa</i> (Benth.) Pittier		Arv
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.		Arv
<i>Andira legalis</i> (Vell.) Toledo		Arv
<i>Andira nitida</i> Mart. ex Benth.		Arv
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr.		Arv
<i>Bauhinia acuruana</i> Moric		Arb
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.		Arb
<i>Bauhinia dubia</i> G. Don		Arb
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth		Arv
<i>Caesalpinia ferrea</i> C.Mart.		Arv
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.		Arv
<i>Calliandra</i> sp.		Arv/Arb
<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) DC.		Arv
<i>Chamaecrista ensiformis</i> (Vell.) H.S. Irwin & Barn.		Arb
<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J. W. Grimes		Arb
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.		Arv
<i>Copaifera luetzelburgii</i> Harms		Arv
<i>Copaifera martii</i> Hayne		Arv
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong.		Arv
<i>Erythrina amazonica</i> Krukoff		Arb
<i>Guilandina bonduc</i> L.		Arb
<i>Hymenaea coubaril</i> L.		Arv
<i>Hymenaea stignocarpa</i> L.		Arv
<i>Hymenolobium alagoanum</i> Ducke		Arb



<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
	<i>Inga capitata</i> Desv.	Arv
	<i>Inga edulis</i> Mart.	Arv
	<i>Inga flagelliformis</i> (Vell.) Mart.	Arv
	<i>Inga marginata</i> Willd.	Arv
	<i>Macrolobium latifolium</i> Vogel	Arb
	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	Arb
	<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart.	Arb
	<i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Arb
	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Arb
	<i>Neptunia</i> sp.	Arv/Arb
	<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	Arv
	<i>Peltogyne confertiflora</i> (Mart. ex Hayne) Benth.	Arv
	<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	Arb
	<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Arb
	<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W. Jobson	Arv
	<i>Pterocarpus violaceus</i> Vogel	Arv
	<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W. Grimes	Arv
	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	Arb
	<i>Senna gardneri</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arb
	<i>Senna georgica</i> H. S. Irwin & Barneby	Arb
	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Arb
	<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H. S. Irwin & Barneby	Arv
	<i>Senna trachypus</i> (Mart. ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arv
	<i>Swartzia pickelii</i> Killip ex Ducke	Arv
	<i>Tephrosia cinerea</i> (L.) Pers.	Arb
Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Arv
Humiriaceae	<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) J.St.-Hil.	Arv
	<i>Sacoglottis mattogrossensis</i> Malme	Arv
Hypericaceae	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.	Arv
Icacinaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Arv
Krameriaceae	<i>Krameria tomentosa</i> A. St. Hill.	Arb
Lamiaceae	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Arv
	<i>Vitex rufescens</i> A. Juss.	Arv
Lauraceae	<i>Cinnamomum</i> sp.	Arv/Arb
	<i>Nectandra</i> sp.	Arv/Arb
	<i>Ocotea duckei</i> Vattimo	Arv
	<i>Ocotea gardneri</i> (Meisn.) Mez	Arv
	<i>Ocotea glomerata</i> (Ness.) Mez.	Arv
	<i>Ocotea notata</i> (Nees & Mart.) Mez	Arv
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	Arv
	<i>Gustavia augusta</i> L.	Arb
Malpighiaceae	<i>Byrsonima bahiana</i> W.R. Anderson	Arv
	<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Arb
	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunt	Arb

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
	<i>Byrsonima cydoniifolia</i> A. Juss	Arb
	<i>Byrsonima gardneriana</i> A. Juss.	Arv
	<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	Arb
	<i>Byrsonima microphylla</i> A.Juss.	Arb
	<i>Byrsonima riparia</i> W.R. Anderson	Arv
	<i>Byrsonima sericea</i> DC.	Arv
	<i>Byrsonima vacciniifolia</i> A. Juss.	Arv
	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Arb
	<i>Stigmaphyllon paralias</i> A.Juss.	Arb
Malvaceae	<i>Ceiba glaziovii</i> (Kuntze) K. Schum.	Arv
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	Arv
	<i>Pachira glabra</i> Pasq.	Arv
	<i>Sterculia striata</i> A.St-Hil & Naudin	Arv
	<i>Waltheria cinerescens</i> A.St.-Hil.	Arv
Melastomataceae	<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Arv
	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Arv
	<i>Miconia amoena</i> Triana	Arv
	<i>Miconia holosericea</i> (L.) DC.	Arv
	<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Mouriri pusa</i> Gardner	Arv
	<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	Arv
Meliaceae	<i>Guarea</i> sp.	Arv
	<i>Trichilia hirta</i> L.	Arv
Monimiaceae	<i>Mollinedia</i> sp.	Arv/Arb
Moraceae	<i>Brosimum discolor</i> Schott	Arv
	<i>Ficus americana</i> Aubl.	Arv
	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & C.D. Bouché	Arv
	<i>Ficus guianensis</i> Desv. ex Ham.	Arv
	<i>Ficus nymphaeifolia</i> Mill.	Arv
	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	Arv
Myrsinaceae	<i>Cybianthus</i> sp.	Arv/Arb
	<i>Myrsine gardneriana</i> A.DC	Arv
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Arv
Myrtaceae	<i>Calycolpus legrandii</i> Mattos	Arb
	<i>Calyptranthes dardanoi</i> Mattos	Arv
	<i>Campomanesia aromatica</i> (Aubl.) Griseb.	Arv
	<i>Campomanesia dichotoma</i> (O. Berg) Mattos	Arv
	<i>Eugenia astringens</i> Cambess.	Arv
	<i>Eugenia excelsa</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia ferreiraeana</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia florida</i> DC.	Arb
	<i>Eugenia hirta</i> O. Berg	Arb
	<i>Eugenia ilhensis</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia ligustrina</i> (Sw.) Willd.	Arv

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	Arv
	<i>Eugenia stictopetala</i> DC.	Arb
	<i>Marlierea excoriata</i> Mart.	Arv
	<i>Marlierea parviflora</i> O. Berg	Arv
	<i>Marlierea regeliana</i> O. Berg.	Arv
	<i>Marlierea schottii</i> D.Legrand	Arv
	<i>Myrcia bergiana</i> O. Berg	Arv
	<i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.	Arb
	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	Arb
	<i>Myrcia hirtiflora</i> DC.	Arb
	<i>Myrcia jacobinensis</i> Mattos	Arv
	<i>Myrcia laroutteana</i> Cambess.	Arv
	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Arb
	<i>Myrcia ramuliflora</i> (O.Berg) N.Silveira	Arv
	<i>Myrcia rotundifolia</i> (O. Berg) Kiaersk	Arv
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Arv
	<i>Myrcia strigipes</i> Mart.	Arb
	<i>Myrcia sylvatica</i> (G. Mey.) DC.	Arv
	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Arv
	<i>Myrciaria cuspidata</i> O. Berg	Arv
	<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West ex Willd.) O. Berg	Arv
	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg.	Arv
	<i>Plinia edulis</i> (Vell.) Sobral.	Arv
	<i>Psidium brownianum</i> DC.	Arb
	<i>Psidium guineense</i> Sw.	Arb
	<i>Psidium nutans</i> O. Berg.	Arb
Nyctaginaceae	<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan	Arv
	<i>Guapira nitida</i> (Schmidt) Lundell	Arv
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Arv
	<i>Guapira pernambucensis</i> (Casar.) Lundell	Arv
	<i>Neea macrophylla</i> Poepp. & Endl.	Arv
	<i>Pisonia cordifolia</i> Mart.	Arv
Ochnaceae	<i>Ouratea crassa</i> Tiegh.	Arv
	<i>Ouratea cuspidata</i> Tiegh.	Arv
	<i>Ouratea fieldingiana</i> (Gardner) Engl.	Arv
	<i>Ouratea suaveolens</i> (A.St.-Hil.) Engl.	Arv
Olacaceae	<i>Heisteria ovata</i> Benth.	Arv
	<i>Ximenia americana</i> L.	Arv
Polygonaceae	<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.	Arb
	<i>Coccoloba laevis</i> Casar.	Arb
	<i>Coccoloba latifolia</i> Lam.	Arb
	<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	Arb
	<i>Coccoloba ramosissima</i> Wedd.	Arb
	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Arv

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Arv
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Arv
	<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	Arv
	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc	Arb
	<i>Chiococca nitida</i> Benth.	Arb
	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.	Arb
	<i>Duroia macrophylla</i> Huber	Arv
	<i>Faramea nitida</i> Benth.	Arb
	<i>Guettarda platypoda</i> DC.	Arv
	<i>Isertia spiciformis</i> DC.	Arb
	<i>Palicourea crocea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	Arb
	<i>Psychotria bahiensis</i> DC.	Arb
	<i>Psychotria hoffmannseggiana</i> (Willd. ex Schult.) Müll. Arg.	Arb
	<i>Salzmannia nitida</i> DC.	Arb
	<i>Tocoyena brasiliensis</i> Mart.	Arb
	<i>Tocoyena sellowiana</i> (Cham & Schltldl.) K. Schum.	Arb
Rutaceae	<i>Conchocarpus longifolius</i> (A.St.-Hil.) Kallunki & Pirani	Arb
	<i>Erythrochiton brasiliensis</i> Nees & Mart.	Arb
	<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart.	Arv
	<i>Pilocarpus pauciflorus</i> A. St.-Hil.	Arv
	<i>Pilocarpus spicatus</i> subsp. <i>longeracemosus</i> (Mart. ex Engl.) Kaastra	Arb
	<i>Zanthoxylum petiolare</i> A.St.-Hil. & Tul.	Arv
Salicaceae	<i>Casearia javitensis</i> Kunth	Arv
Sapindaceae	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	Arv
	<i>Cupania racemosa</i> (Vell.) Radlk.	Arv
	<i>Cupania rugosa</i> Radlk.	Arv
	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	Arv
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum splendens</i> Spreng.	Arv
	<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	Arv
	<i>Manilkara cavalcantei</i> Pires & W.A. Rodrigues ex T.D. Penn.	Arv
	<i>Manilkara decrescens</i> T.D.Penn.	Arv
	<i>Manilkara salzmanii</i> (A.DC.) H.J.Lam	Arv
	<i>Manilkara triflora</i> (Allemão) Monach.	Arv
	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D. Penn.	Arv
	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	Arv
	<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.	Arv
	<i>Pouteria grandiflora</i> (A. DC.) Baehni	Arv
	<i>Pouteria scytalophora</i> Eyma	Arv
	<i>Pradosia</i> sp.	Arv/Arb
	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A.DC.) Eyma	Arv
Schoepfiaceae	<i>Schoepfia</i> sp.	Arv/Arb
Simaroubaceae	<i>Simaba cedron</i> Planch.	Arv
	<i>Simaba cuneata</i> A. St. - Hil. & Tul.	Arv

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Hábito</b>
	<i>Simaba floribunda</i> A. St.-Hil. & Tul.	Arv
	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Arv
Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Arb
Solanaceae	<i>Cyphomandra fragrans</i> (Hook.) Sendtn.	Arb
	<i>Solanum crinitum</i> Lam	Arb
	<i>Solanum paludosum</i> Moric.	Arb
	<i>Solanum paniculatum</i> L.	Arb
	<i>Solanum rhytidoandrum</i> Sedtn.	Arb
	<i>Solanum stipulaceum</i> Roem. & Schult.	Arb
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Arv
	<i>Cecropia sp.</i>	Arv
Violaceae	<i>Rinorea bahiensis</i> (Moric.) Kuntze	Arv
Vochysiaceae	<i>Qualea cryptantha</i> (Spreng.) Warm.	Arb

**Apêndice 2.** Resultado da análise filogenética das comunidades florestais das restingas do nordeste brasileiro realizadas no programa Phylocom 4.2. Principais métricas observadas como resultado da análise: MPD (*Mean Phylogenetic Distance*) e MNTD (*Mean Nearest Phylogenetic Taxon Distance*), são as médias de parentesco filogenético observadas em cada comunidade vegetal de restinga. NRI (*Net Relatedness Index*) e NTI (*Nearest Taxon Index*) apresentam a distância filogenética média entre os táxons. MPD.rnd/MNTD.rnd é o modelo nulo gerado para cada comunidade. Métrica.rkLw = número de comunidades, que comparadas ao modelo nulo apresentaram agrupamento filogenético menor que o esperado ao acaso. Métrica.rkHi = número de comunidades mais aparentadas filogeneticamente, que o esperado ao acaso.

comunidades	ntaxa	MPD	MPD.rnd	MPD.sd	NRI	MPD.rkLw	MPD.rkHi	MNTD	MNTD.rnd	MNTD.sd	NTI	MNTD.rkLw	MNTD.rkHi	runs
cabelado_pb	30	102.5797	104.801	1.4413	1.5412	925	74	59.8332	66.0749	6.9584	0.897	814	185	999
caravelas_ba	33	107.089	104.7751	1.3105	-1.7657	9	990	81.8347	64.4753	6.5455	-2.6521	4	995	999
diogo_ba	31	105.6646	104.8636	1.3701	-0.5846	303	696	69.1335	65.458	6.7828	-0.5419	298	701	999
ilhagrande_pi	81	101.2025	104.8325	0.7231	5.0199	999	0	39.9976	50.2607	3.3906	3.0269	998	1	999
ipojuca_pe	82	105.1351	104.8073	0.7629	-0.4296	358	641	44.2215	50.1044	3.3383	1.7622	964	35	999
itubera_ba	51	106.4673	104.8362	0.9766	-1.6702	23	976	66.8145	57.3803	4.8296	-1.9534	28	971	999
luizcorreia_pi	49	104.6978	104.8709	1.0361	0.1671	608	391	56.6628	58.2614	5.0014	0.3196	620	379	999
marechaldeodoro_al	41	105.9911	104.827	1.1678	-0.9968	151	848	66.2218	60.9957	5.5717	-0.938	167	832	999
massarandupio_ba	30	104.8581	104.9143	1.3651	0.0412	575	424	62.3741	66.5043	6.9467	0.5946	718	281	999
parnaiba_pi	67	101.2777	104.8709	0.8208	4.3779	999	0	45.7768	52.9949	3.8844	1.8583	963	36	999
raposa_ma	25	104.3626	104.8715	1.664	0.3058	690	309	60.7748	69.2588	7.8883	1.0755	847	152	999
serragrande_ba	28	103.8805	104.8097	1.5022	0.6185	771	228	54.9944	66.9772	7.4617	1.6059	940	59	999
sirinhaem_pe	60	105.168	104.8795	0.8897	-0.3242	406	593	55.3523	54.8947	4.257	-0.1075	439	560	999
sjribamar_ma	18	105.9672	104.9064	1.9978	-0.531	333	666	69.3847	74.5862	9.6218	0.5406	696	303	999
tamandare_pe	54	105.7523	104.8972	0.9144	-0.9352	184	815	45.8565	56.8147	4.8887	2.2416	991	8	999
tibau_rn	77	105.0031	104.8623	0.7733	-0.1821	449	550	49.2869	51.252	3.6725	0.5351	707	292	999
trancoso_ba	52	104.4852	104.8387	1.0513	0.3363	670	329	52.7959	57.2895	4.7625	0.9435	819	180	999

## **Capítulo II**

A ser enviado para o periódico **Journal of Biogeography**

**Mudanças mediadas pela temperatura e pluviosidade na composição funcional de espécies arbustivo-arbórea ao longo da costa nordeste brasileira**

Tássia de Sousa Pinheiro, Julia Caram Sfair, Carmen Silvia Zickel

## **Mudanças mediadas por temperatura e pluviosidade na composição funcional de espécies arbustivo-arbórea ao longo da costa nordeste brasileira**

Tássia de Sousa Pinheiro<sup>1\*</sup>, Julia Caram Sfair<sup>2</sup>, Carmen Silvia Zickel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, CEP 52171-900, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Botânica, Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, s/n, CEP: 50670-901, Cidade Universitária, Recife, PE, Brasil.

<sup>3</sup>Departamento de Biologia, Botânica, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, CEP 52171-900 Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil.

\* Autor para correspondência: tassipinheiro@yahoo.com.br

### **Resumo**

As alterações de formas e funções que ocorrem ao longo de gradientes abióticos é amplamente reconhecida, porém não se tem informações de como esta relação ocorre dentro de um ecossistema caracterizado por restrições edáficas. Nosso objetivo foi investigar como a composição funcional de vegetação arbustivo-arbórea e a riqueza de espécies varia ao longo de um gradiente de pluviosidade e temperatura no nordeste do Brasil. Selecionamos como atributos: densidade da madeira, forma de vida, grupo ecológico, síndrome de polinização, atributos do fruto. Correlacionamos com as médias anuais de pluviosidade e temperatura com a média dos valores dos atributos funcionais. A correlação significativa entre as variáveis ambientais e os traços relacionados ao ‘grupo ecológico’ e ‘atributos reprodutivos’ sugerem que as comunidades vegetais de restinga são influenciadas por estes fatores que moldam sua organização ao longo do gradiente determinando conjuntos funcionalmente distintos em relação a disponibilidade de água.

**Palavras-chave:** comunidades vegetais, correlação ambiental, organização biológica, traços funcionais.



## Introdução

A partir da distribuição de plantas nos ecossistemas terrestres em escala global, é possível verificar uma imensa variação de formas e funções fortemente correlacionadas ao ambiente (Wright et al., 2004; Moles et al., 2014; Díaz et al. 2016), principalmente relacionadas às variações na precipitação e temperatura. Estes fatores são frequentemente utilizados como variáveis preditoras para identificar como as plantas, as comunidades e seus atributos funcionais são moldados em função de gradientes abióticos (Violle et al., 2007; Moles et al. 2014; Velázquez et al. 2015).

A relação entre precipitação e temperatura é amplamente reconhecida como preditores de riqueza e diversidade da comunidade vegetal (Gentry, 1982; Cinebell II et al., 1995; Clarke e Gaston, 2006). Ambos os fatores estão associados a respostas ecofisiológicas em termos de funcionamento dos ecossistemas (Moles et al., 2014). A escassez de água, por exemplo, afeta o crescimento vegetal, causa falhas na condução hídrica, levando a planta a morte, em casos extremos de seca, causando a diminuição das populações devido a consequente morte da planta (McDowell et al., 2011). Avaliações desse tipo apresentam respostas sobre a ocorrência e distribuição geográfica das espécies, seja por influência natural ou antrópica (Hille Ris Lambers et al. 2008; De Bello et al. 2010; Rosado et al., 2014).

Atributos associados à história de vida das espécies (tipo de dispersão, forma de vida, densidade da madeira) são traços importantes devido a sua ligação com a forma e função da planta nos ecossistemas, traduzidas no uso dos recursos (Green et al., 2008; Chave et al. 2009, Larjavaara & Muller-Landau 2010, Kraft et al. 2010). Esses traços podem variar em escala local resultantes de adaptações e plasticidade fenotípica, demonstrando processos que atuam ao longo de um gradiente latitudinal (Violle et al., 2014) filtrando espécies com diferentes aptidões entre as comunidades (Mayfield e Levine, 2010; May et al., 2013), evidenciando atributos funcionais associados a um habitat específico. Portanto essas avaliações são pertinentes a comunidade vegetal das restingas.

É consenso entre os pesquisadores que as restingas são ambientes naturalmente restritivos porque estão sob elevada intensidade luminosa, apresentam solo arenoso, salino e com baixa retenção hídrica (Henriques et al., 1984; Scarano, 2002). Mas apesar dessa característica ambiental e edáfica marcante, esse ecossistema apresenta variações fitofisionômicas associadas à disponibilidade de recurso (e.g., disponibilidade de água,

matéria orgânica), causando variação de altura no estrato superior da vegetação florestal, variando de cinco a 15m de altura, no sentido da menor para a maior disponibilidade de recurso (Silva, 1999). Promovendo, inclusive, variações na composição observadas em grandes escalas espaciais (dados no primeiro capítulo).

No sul da Bahia a altura da vegetação arbórea das restingas chega a ultrapassar 20m (e.g., Caravelas, Trancoso, Fig 1) (dados fitossociológicos e de composição do solo amostrados por Santos, 2013; e observação pessoal). Essas áreas também apresentam solo úmido, devido o adensamento das copas além de médias razoáveis de pluviosidade e temperatura. Em uma condição oposta estão as restingas do Piauí, que apresentam, fisionomia florestal e contexto abiótico completamente diferentes: árvores com até seis metros de altura, chuvas mal distribuídas e com menor média anual, altas temperaturas, ambiente semelhante ao semi-árido. Apesar de se conhecer bem a composição taxonômica de comunidades do litoral brasileiro (e.g., Henriques et al., 1984; Araujo e Lacerda, 1997; Scarano, 2002; Sampaio et al., 2005; Santos-Filho et al., 2013), não sabemos como os atributos são correlacionados ao longo do gradiente formado pela pluviosidade (assumimos como parâmetro de disponibilidade de água) e temperatura do ar.

Então, diante da provável relação entre a variação ambiental atrelada as diferentes fisionomias florestais das restingas, esperamos encontrar maior riqueza em áreas com maior disponibilidade de recurso (menor temperatura e maior pluviosidade), influenciando dissimilaridades taxonômicas entre áreas com contexto abiótico inverso. Esperamos encontrar um conjunto de caracteres funcionais diferentes, relacionados a maior e menor disponibilidade de recurso, em restingas menos e mais restritivas, respectivamente. Visto que as comunidades vegetais são sensíveis aos diferentes níveis de exposição a estes fatores (Wright et al., 2004; Poorter, 2009) e a relação temperatura e pluviosidade são comumente associadas a padrões de riqueza e diversidade (Moles et al., 2014).

Nesse trabalho, investigamos como a composição funcional de comunidades arbustivo-arbóreas e a riqueza de espécies varia ao longo de um gradiente de pluviosidade e temperatura na costa nordeste brasileira. Nossa hipótese é que em áreas com menor temperatura e maior pluviosidade, as comunidades apresentam (1) maior riqueza taxonômica de espécies; (2) maior dissimilaridade taxonômica entre áreas com condições abióticas opostas; (3) mais espécies de crescimento lento, dispersas por

animais e polinizadas por polinizadores grandes, e que (4) áreas com características ambientais semelhantes possuem composição taxonômica e funcional semelhantes.

## Material e métodos

### Área de estudo

As restingas são ecossistemas litorâneos e ocorrem ao longo da costa brasileira. A costa nordeste do Brasil (Fig. 1), que tem cerca de 3300 km de extensão, na qual foram amostradas 17 comunidades, desde o Maranhão (02°24'09"S; 44°01'19"W) até o sul da Bahia (17°39'82"S/39°09'46"W) (Fig. 1). Neste trabalho foram utilizados dados de pesquisas fitossociológicas, compilados de trabalhos prévios. Todas as áreas amostradas estão unidades de conservação e sofrem pouca perturbação antrópica. Em todas as comunidades foram realizadas amostragem do tipo ponto quadrante (Cottam e Curtis 1956) ao longo de cinco transectos paralelos e equidistantes entre si, totalizando uma amostragem 200 indivíduos por comunidade. Devido à falta de acesso aos dados de abundância das 17 áreas amostradas, consideramos apenas dados qualitativos (presença e ausência) nas análises estatísticas.

As 273 espécies utilizadas para análise de composição funcional das restingas da costa nordeste do Brasil, pertencem a 147 gêneros e 57 famílias. As famílias com maior número de espécies foi Fabaceae (23 gêneros e 42 espécies) e Myrtaceae (10 gêneros e 36 espécies). O gênero com maior número de espécies foi *Eugenia* (5 spp., Myrtaceae). As espécies mais frequentes foram *Manilkara salzmanii* (A.DC.) H.J.Lam e *Anacardium occidentale* L., presentes respectivamente em 11 e 10 comunidades, das 17 amostradas. Cerca de 44% das espécies ocorreram em apenas uma das comunidades.

Nesta escala de amostragem é possível verificar um gradiente formado pela pluviosidade média anual, que varia de 1200 mm a 2443 mm em média, e temperatura média anual, que varia de 23,8°C a 27,5°C em média. Os dados de pluviosidade e de temperatura médias anuais foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP (<http://www.inmet.gov.br>) e não estão correlacionados entre si ( $r = 0,46$ ,  $P = 0,64$ ). Apesar da correlação significativa entre distância geográfica e temperatura ( $r = 0,78$ ,  $P < 0,05$ ), precipitação não está correlacionada com a distância geográfica ( $r = 0,11$ ;  $P = 0,10$ ).

### *Atributos funcionais*

Foram selecionados os seguintes atributos funcionais relacionados ao uso de recurso e história de vida das espécies (Pérez-Harguindeguey et al. 2013; 2016): (A) densidade da madeira – a baixa densidade da madeira está relacionada um crescimento rápido da planta e à capacidade de acumular água no tronco. Já a maior densidade da madeira confere maior resistência biótica e a perturbação mecânica, maior resistência à perda de água (Chave et al. 2009; Kraft et al., 2010). Os valores de densidade da madeira para cada espécie foram obtidos por meio de dados da literatura (Lorenzi 1998a, 1998b, 2009; Paula e Costa 2011). Quando não foi possível encontrar o valor para a espécie, consideramos a média do gênero (veja Sfair et al. 2016 para abordagem semelhante) (B) Forma de vida (árvore/ arbusto) conferidas *on line* em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> bem como observações dos autores dos trabalhos fitossiológicos. (C) Grupo ecológico (segundo a classificação de Leitão Filho, 1993) como simplificação do conceito de tipos funcionais de plantas, que relaciona a ocorrência da planta com o tipo de ambiente (Díaz e Cabido, 1997) – espécies pioneiras, ocorrem com maior frequência em ambientes perturbados ou que possuem dossel menos denso, maior incidência de luz e calor (Carreño-Rocabado et al., 2012), as espécies secundárias em um nível intermediário de cobertura do dossel, e as secundárias tardias em habitats sombreados com microclima ameno (Leitão Filho, 1993). (D) Síndrome de polinização (anemofilia/ cantarofilia/ DPI/ falenofilia/ melitofilia/ ornitofilia/ quiropterofilia); Classes de tamanho do (E) fruto e da (F) semente (Tabarelli e Peres, 2002, seguem a mesma escala de tamanho para classificar frutos e sementes. Os autores consideram quatro classes de tamanho, nós adaptamos e consideramos os dois tamanhos menores como “p” (frutos e sementes com até 1,5 cm, foram considerados pequenos), e diásporos com tamanho a partir de 1,6 cm foram considerados grandes); (G) Síndrome de dispersão do diásporo (biótico/ abiótico) baseado nas características do diásporo (Van der Pijl, 1982) e o (H) tipo de fruto (carnoso/ seco). Áreas em estádios sucessionais tardios tendem a ter espécies com frutos maiores, carnosos e dispersão biótica (Tabarelli, Peres 2002; Santos et al. 2008). O contrário tende a ocorrer em áreas em estágio de regeneração inicial: as espécies destes ambientes comumente apresentam frutos e sementes menores, caracteristicamente dispersas por pequenos vertebrados e aves ou pelo vento (dispersão abiótica) (Tabarelli, Peres, 2002).

### *Análises estatísticas*

Utilizamos um modelo linear generalizado (GLM) com distribuição de Poisson para determinar se a relação entre a riqueza de espécies das comunidades é influenciada pela temperatura e pluviosidade. Calculamos também dissimilaridade taxonômica entre as áreas amostradas por meio da distância de Sørensen. A dissimilaridade funcional de Sørensen foi calculada por meio do índice proposto por Ricotta et al. (2016). O índice varia de zero, quando duas áreas são funcionalmente similares, a um, quando são completamente dissimilares. As vantagens desse índice é que ele não utiliza a distância funcional média ou mínima em seu cálculo, como outros (por exemplo, Pavoine & Ricotta 2014) e é usado exclusivamente para dados binários (Ricotta et al. 2016). Adicionalmente, realizamos um teste correlação de matrizes de Mantel entre dissimilaridade taxonômica e funcional. A dissimilaridade funcional e taxonômica também foi correlacionada por meio do mesmo teste com a distância geográfica, distância euclidiana de temperatura e precipitação das áreas de estudo.

Para analisar a média ponderada da composição funcional (community weighted mean, CWM) consideramos a presença e ausência das espécies nas comunidades vegetais amostradas (Garnier et al. 2004). Para atributos contínuos, como a densidade da madeira, o CWM é uma média do valor do atributo na comunidade, calculado a partir das densidades das espécies que a compõem. Para atributos categóricos, calculamos a proporção de espécies que apresentam o atributo (ver Pla et al. 2012 para detalhes do cálculo). O CWM de cada atributo foi relacionado com a pluviosidade e a temperatura média anual das comunidades por meio de GLM com distribuição gaussiana (no caso da variável resposta CWM da densidade da madeira) binomial (no caso, para as demais variáveis).

As análises foram realizadas por meio dos pacote Vegan (<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>) e FD (ver <http://www.elaliberte.info/publications>) no ambiente de programação R (R Core Team, 2016. <https://www.R-project.org/>).

### **Resultados**

A riqueza das áreas amostradas não é influenciada pela pluviosidade ( $t= 0,46$ ;  $p= 0,64$ ) e temperatura médias anuais ( $t= 0,63$ ;  $p= 0,53$ ). Analisando a composição florística entre as áreas percebemos que as comunidades do Piauí são mais similares e mais distantes dos demais agrupamentos formados (Figura 2). Apesar de no mesmo

grupo encontrarem-se áreas geograficamente distantes com composição taxonômica mais similar, como: Cabedelo (restinga 7) junto com Ituberá e Trancoso (restingas 14 e 16), e Tibau do Sul (restinga 6) com áreas do norte da Bahia (restingas 12 e 13) (Figura 1 e 2), os agrupamentos taxonômicos se mantiveram entre áreas próximas (Figura 2). A dissimilaridade taxonômica está correlacionada significativamente com a distância geográfica ( $r = 0,68$ ;  $P < 0,05$ ) e com a temperatura ( $r = 0,78$ ,  $P < 0,05$ ), mas não com a pluviosidade ( $r = 0,11$ ;  $P = 0,08$ ). De forma semelhante, a similaridade funcional também está correlacionada com a distância geográfica ( $r = 0,51$ ;  $P < 0,05$ ) e temperatura ( $r = 0,39$ ;  $P < 0,05$ ), mas não com a pluviosidade ( $r = 0,03$ ;  $P = 0,36$ ). A dissimilaridade taxonômica está correlacionada significativamente com a dissimilaridade funcional ( $r = 0,81$ ;  $P < 0,05$ ).

Quanto aos atributos selecionados para determinar o CWM, as restingas apresentaram densidade da madeira em média  $0,63 \text{ g/m}^3 \pm 0,06$ . As árvores representaram 72% de composição, seguida da dispersão biótica (71%). Os demais atributos representaram menos de 50% na composição funcional das restingas nordestinas (Tabela 2).

Em áreas com maiores temperaturas médias anuais, há maior proporção de espécies pioneiras ( $r = 4,03$ ;  $p = 0,001$ ) com frutos menores ( $r = 2,48$ ;  $p = 0,02$ ), e menor proporção de espécies polinizadas por besouros ( $r = -2,85$ ;  $p = 0,01$ ) e aves ( $r = -3,73$ ;  $p = 0,002$ ). Já áreas com maior pluviosidade média anual, há maior proporção de espécies secundárias ( $r = 2,42$ ;  $p = 0,02$ ), polinizadas por mariposas ( $r = 2,36$ ;  $p = 0,03$ ) e morcegos ( $r = 2,36$ ;  $p = 0,03$ ), e com menor tamanho de fruto ( $r = 2,69$ ;  $p = 0,01$ ).

## **Discussão**

Nossos resultados indicam que há um efeito sinérgico entre temperatura, distância geográfica, dissimilaridade taxonômica e funcional. De maneira geral, áreas mais próximas possuem temperaturas mais similares, bem como maiores similaridades taxonômica e funcional. Além disso, apesar da riqueza de espécies não mudou ao longo do gradiente de pluviosidade e de temperatura no litoral nordeste do Brasil, há mudanças na composição taxonômica e funcional da comunidade de plantas arbustivo-arbóreas. De maneira geral, áreas com maiores temperaturas apresentam maior proporção de espécies pioneiras, com frutos menores e menor proporção de espécies com síndromes de polinização especializada (polinizadas por besouros e aves). Apesar

da precipitação não estar relacionada com diferenças na dissimilaridade taxonômica e funcional, em áreas com maior pluviosidade, há maior proporção de espécies secundárias de fruto pequeno, mas com polinização especializada (mariposa e morcego). Esses resultados indicam que a composição funcional local pode variar de acordo com variações na disponibilidade de recurso (água) para as plantas.

A composição funcional apresentada em maior proporção associada a ambientes com maiores temperaturas médias, se complementam em suas explicações. Espécies classificadas como pioneiras ocorreram principalmente em ambientes que têm médias anuais de temperatura mais elevada porque funcionalmente elas apresentam tolerância a maior incidência de luz, conseqüentemente maior temperatura (Maciel et al., 2003; Lima et al., 2015). No microclima gerado por essas condições ambientais, espécies pioneiras apresentam adensamento de suas populações semelhante ao que ocorre quando expostas a ambientes perturbados (e.g., clareias e bordas) demonstrando maior tolerância às condições microclimáticas desses locais (Leitão-Filho, 1993; Díaz e Cabido, 1997; Maciel et al., 2003, Lima et al., 2015).

Com relação aos frutos pequenos, espécies de primeira ocupação tendem a apresentar maior produção de frutos/ sementes, estimuladas pelas condições ideais para seu desenvolvimento e estas condições não incluem disponibilidade abundante de água (Lima et al., 2015). Conseqüentemente os frutos dessas espécies, ainda que carnosos, apresentam menor teor de polpa, portanto, menor tamanho (Zama et al., 2012). A correlação negativa com espécies polinizadas por besouros e aves, pode indicar que estas espécies sejam polinizadas por uma diversidade maior de polinizadores, indicando uma relação generalista, visto que espécie que apresentam período reprodutivo paraticamente contínuo, como as pioneiras, e com recurso hídrico reduzido, investem mais na quantidade de flores que no tamanho delas, dada a necessidade de garantir o maior sucesso reprodutivo (Oliveira-Filho e Fontes, 2000).

As comunidades que apresentam altas temperaturas e baixa média de pluviosidade são as restingas localizadas no Piauí e Maranhão. Esse contexto abiótico tem uma associação interessante com a geomorfologia dessa parte do litoral brasileiro. De acordo com Villwock et. al (2005) parte da Costa Nordeste esteve mais seca e foi bastante retrabalhada pelo vento durante o Quaternário brasileiro. Essa descrição coincide com o observado atualmente nas restingas localizadas no Maranhão, Piauí e norte da Bahia, que são áreas com maiores temperaturas, presença de dunas (Maranhão

e Piauí), solo exposto em alguns pontos e vegetação agrupada assemelhando-se a moitas no interior da floresta (Piauí e norte da Bahia, observação pessoal).

As espécies secundárias apresentam crescimento lento, devido ao investimento de carbono no desenvolvimento do caule, processo que envolve maior consumo de energia (Chave et al., 2009; Kraft et al., 2010) por isso estão significativamente associadas a ambientes com maior pluviosidade. Além disso, espécies secundárias tendem a ocorrer posterior ao processo de colonização primária, mediante eventos de perturbação (Maciel et al., 2003; Falster & Westoby, 2005). Isto pode ser relacionado ao fato de que após a colonização inicial, as condições microclimáticas, principalmente relacionadas a temperatura e dessecação do solo (Lima et al., 2015) se tornam mais amenas, evidenciando a validade dos efeitos combinados da temperatura e pluviosidade (como condicionante de disponibilidade hídrica) sobre a modelagem funcional das comunidades vegetais (Bartlett et al., 2012).

O litoral da Bahia representa bem o efeito combinado da pluviosidade e temperatura sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois mesmo não apresentando exatamente as maiores médias anuais de pluviosidade, as menores médias de temperatura observadas nas restingas localizadas ao sul do estado, contribuem para um microclima favorável ao crescimento e desenvolvimento da planta (Bartlett et al., 2012; Bartholomeus et al., 2011). Este litoral apresenta uma divisão geomorfológica marcante que caracteriza o litoral ao norte de Salvador (capital do estado) mais seco, e ao sul da capital baiana as restingas localizadas em Ituberá, Serra Grande, Trancoso e Caravelas, apresentam temperaturas mais baixas e alta pluviosidade. A vegetação nessas áreas apresentam copas mais densas, árvores de grande com média de altura em torno dos 20 metros (Santos, 2013) que parecem responder as condições mais ‘favoráveis’ ao seu desenvolvimento. Condição exatamente oposta à observada no litoral piauiense, que devido a suas restrições hídricas, ressaltando a evapotranspiração intensa também relacionada ao efeito conjunto da pluviosidade e temperatura, apresenta indivíduos arbóreos menores, que não ultrapassam os seis metros de altura (dados fitossociológicos apresentados em Santos-Filho et al., 2013).

A polinização por mariposas e morcegos também apresentou correlação significativa com áreas com maiores médias anuais de pluviosidade. Além das restingas do sul da Bahia, essa condição abiótica também é observada em áreas que apresentam médias pluviométricas maiores que 2000 mm (Tabela 1). Anatomicamente mariposas e



morcegos consumidores de nectar têm aparelho bucal adaptado à busca e consumo do recurso floral (Martins e Gribel, 2007). São relatadas visitas destes polinizadores a flores maiores (Rech et al., 2014), envolvendo portanto, maior disponibilidade de recurso (água) para obtenção de energia e formação das estruturas reprodutivas.

Diante das relações planta-ambiente apresentadas nos nossos resultados, concluímos que as diferentes estratégias utilizadas pelas plantas relacionadas ao uso do recurso apresentam informações relevantes em relação à organização das comunidades e ecossistemas em função das variações ambientais. Pois mesmo em um ecossistema caracteristicamente restritivo quanto a aspectos edáficos, como as restingas, foi possível evidenciar um conjunto respostas ecofisiológicas da vegetação arbustiva-arbórea em função da heterogeneidade ambiental ao longo de um gradiente abiótico, acrescentando conclusões qualitativas sobre as relações funcionais das espécies, indo além das comparações taxonômicas para estabelecer parâmetros de riqueza das comunidades, que neste caso, não variou ao longo do gradiente.

## **Referências**

- Almeida-Cortez, J.S. Dispersão e banco de sementes. In: Ferreira, A.G.; Borghetti, F. (Org.). Germinação: do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. 323p.
- Bartholomeus, R.P., Witte, J.-P.M., van Bodegom, P.M., van Dam, J.C. & Aerts, R. 2011. Climate change threatens endangered plant species by stronger and interacting water-related stresses. *Journal of Geophysical Research* 116: G04023.
- Bartlett, M.K., Scoffoni, C. & Sack, L. 2012. The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. *Ecology Letters* 15: 393–405.
- Carreño-Rocabado, G.; Peña-Claros, M.; Bongers, F.; Alarcón, A.; Licona, J.C. and Poorter, L. (2012) Effects of disturbance intensity on species and functional diversity in a tropical Forest. *Journal of Ecology* 2012, 100, 1453–1463. doi: 10.1111/j.1365-2745.2012.02015.x

Chave J et al. (2009) Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12:351-366. PMID:19243406. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>

Clarke, A. & Gaston, K.J. 2006. Climate, energy and diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 273: 2257–2266.

Clinebell II, R.R., Phillips, O.L., Gentry, A.H., Stark, N. & Zuuring, H. 1995. Prediction of neotropical tree and liana species richness from soil and climatic data. *Biol. Conserv.* 4:56-90.

Craine JM. (2005) Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. *J Ecol* 93:1041-1052.

De Bello F et al., 2010. Towards an assessment of multiple ecosystem processes and services via functional traits. *Biodiversity and Conservation*, 19:2873-2893. <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-010-9850-9>

Díaz, S. e Cabido, M. (1997) Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *J. Veg. Sci.* 8: 463-474

Ellenberg H, Müller-Dombois D. 1967. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. *Berichte des geobotanischen Institutes der ETH. Stiftung Rübel* 37, 56–73.

Funk, J. L., Larson, J. E., Ames, G. M., Butterfield, B. J., Cavender-Bares, J., Firm, J.; ... Wright, J. (2016). Revisiting the Holy Grail: using plant functional traits to understand ecological processes. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*. <https://doi.org/10.1111/brv.12275>

Garnier E et al., 2004. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85:2630-2637. <http://dx.doi.org/10.1890/03-0799>

Green JL, Bohannan BJ, Whitaker RJ. 2008. Microbial biogeography: From taxonomy to traits. *Science* 320(5879): 1039–1043.

Grime JP, et al. 1997. Integrated screening validates primary axes of specialisation in plants. *Oikos* 79:259–281

Gentry, A.H. 1982. Neotropical floristic diversity: phytogeographical connections between Central and South America, pleistocene climatic fluctuations, or an accident of the andean orogeny? *Ann. Missouri. Bot. Gard.* 69:557-593.

Kraft NJB et al., 2010. The relationship between wood density and mortality in a global tropical forest data set. *New Phytologist*, 188:1124-1136. PMID:21058950. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03444.x>

Kremen et al., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, (2007) 10: 299–314. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x

Laliberté, E., and P. Legendre (2010) A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91:299-305.

Laliberté, E., Legendre, P., and B. Shipley. (2014). FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-12.

Lambers H, Chapin III FS & Pons TL, 2008. *Plant Physiological Ecology*. Springer. <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>

Leitão-Filho, H.F. *Ecologia da mata atlântica em Cubatão*. São Paulo: UNESP/UNICAMP, 1993. 184 p.

Martins, R.L. e GRIBEL, R. 2007. Polinização de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Caryocaraceae) uma árvore emergente da Amazônia Central. *Revista Brasil. Bot.*, V.30, n.1, p.37-45.

Mason NWH, Richardson SJ, Peltzer DA, Bello F, Wardle DA, Allen RB. 2012. Changes in coexistence mechanisms along a long-term soil chronosequence revealed by functional trait diversity. *J Ecol* 100:678–689.

May, F., Giladi, I., Ristowa, M., Zivd, Y. & Jeltsch, F. (2013) Plant functional traits and community assembly along interacting gradients of productivity and fragmentation. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 15: 304–318.

Mayfield, M.M. & Levine, J.M. (2010) Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities. *Ecology Letters* 13: 1085–1093.

McDowell NG, Beerling DJ, Breshears DD, Fisher RA, Raffa KF, Stitt M. 2011. The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends Ecol. Evol.* 26:523–532.

Mokany, K. A. M., Homson, J. O. J. T., Ynch, A. J. A. J. L., & Ordan, G. R. J. J. (2015). Linking changes in community composition and function under climate change. *Ecological Applications*, 25(8), 2132–2141. <https://doi.org/10.1890/14-2384.1.sm>

Moles, A. T., Perkins, S. E., Laffan, S. W., Flores-Moreno, H., Awasthy, M., Tindall, M. L., ... Bonser, S. P. (2014). Which is a better predictor of plant traits: temperature or precipitation? *Journal of Vegetation Science*, 25(5), 1167–1180. <https://doi.org/10.1111/jvs.12190>

Moro, M. F.; Martins, F. R. Métodos de levantamento do componente arbóreo-arbustivo. In: Felfili, J. M.; Eisenlohr, P. V.; Melo, M. M. R. F.; Andrade, L. A.; Meira-

Neto, J. A. A. Fitossociologia no Brasil – Métodos e estudos de casos. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. p. 175-208.

Mouchet MA, Vileger S, Mason NWH, Mouillot D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. *Funct Ecol* 24:867–876.

Oliveira-Filho, A.T. & Fontes, M.A. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic forests in Southeastern Brazil, and the influence of climate. *Biotropica* 32: 793-810.

Pavoine, S., and C. Ricotta. 2014. Functional and phylogenetic similarity among communities D. Orme (Ed.). *Methods Ecol. Evol.* 5: 666–675.

Pérez-Harguindeguy N., et al., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 61, 167-234. <http://dx.doi.org/10.1071/BT12225>.

Pérez-Harguindeguy N., et al., 2016. *Corrigendum to*: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 64, 715-716. [http://dx.doi.org/10.1071/BT12225\\_CO](http://dx.doi.org/10.1071/BT12225_CO)

Poorter H et al., 2009. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytol* 182:565–588.

R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ratter et al., 1997. The brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80: 223-230.

Raunkiaer, C. 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford, Clarendon.

Ricotta, C., Podani, J. & Pavoine S. 2016. A family of functional dissimilarity measures for presence and absence data. *Ecology and Evolution* 6(15):5383-5389.

Rosado B.H.P et al., 2013. Going back to basics: Importance of ecophysiology when choosing functional traits for studying communities and ecosystems. *Natureza & Conservação* 11(1):15-22.

Rosado BHP & de Mattos EA, 2010. Interspecific variation of functional traits in a CAM-tree dominated sandy coastal plain. *Journal of Vegetation Science*, 21:43-54. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1654-1103.2009.01119.x>

Santos BA et al. 2008. Drastic erosion in functional attributes of tree assemblages in Atlantic forest fragments of northeastern Brazil. *Biological Conservation* 141, 249-260.

Santos, VJ. 2013. Restingas do estado da Bahia: riqueza, diversidade e estrutura. Tese (Doutorado em Botânica). - Univ. Federal Rural de Pernambuco, Depto. De Biologia, Recife, 145p.

Santos-Filho, FS et al. 2013. Do edaphic aspects alter in the structures in the Brazilian restinga? - *Acta bot. bras.* 27: 613-623.

Sfair, J. C., Rosado, B. H. P., & Tabarelli, M. (2016). The effects of environmental constraints on plant community organization depend on which traits are measured. *Journal of Vegetation Science*, 27(6), 1264–1274. <https://doi.org/10.1111/jvs.12453>

Suding KN et al., 2008. Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology*, 14:1125-1140. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01557.x>

Tabarelli M, Peres CA, 2002. Abiotic and vertebrate seed dispersal in the Brazilian Atlantic forest: implications for forest regeneration. *Biological Conservation* 106, 165–176

van de Pol, M., Bailey, L. D., McLean, N., Rijsdijk, L., Lawson, C. R., & Brouwer, L. (2016). Identifying the best climatic predictors in ecology and evolution. *Methods in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12590>

van der Pijl, 1982. *Principles of Dispersal in Higher Plants*, second ed Springer, Berlin.

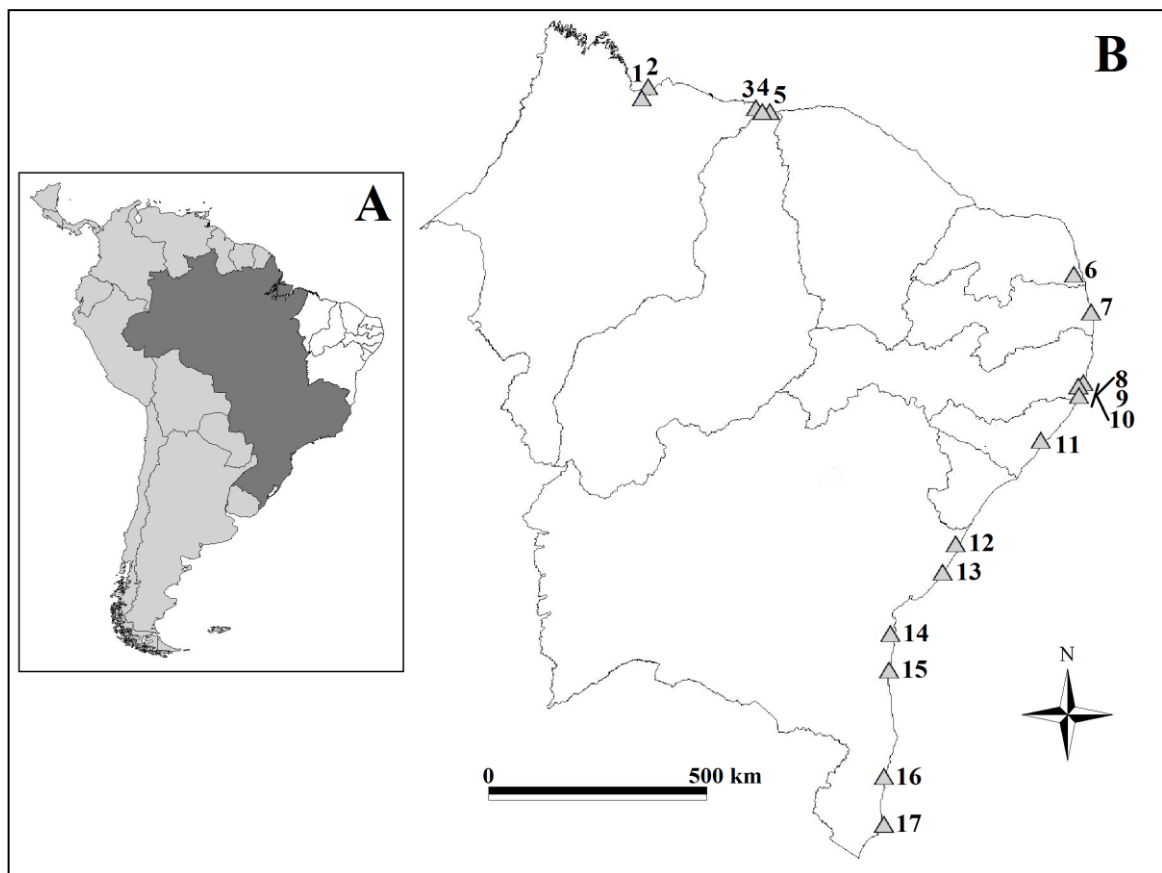
Velázquez, E., Paine, C. E. T., May, F., & Wiegand, T. (2015). Linking trait similarity to interspecific spatial associations in a moist tropical forest. *Journal of Vegetation Science*, 26, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/jvs.12313>

Violle C, et al. (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116 (5):882–892.

Violle, C., Reich, P. B., Pacala, S. W., Enquist, B. J., & Kattge, J. (2014). The emergence and promise of functional biogeography. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(38), 13690–13696. <https://doi.org/10.1073/pnas.1415442111>

Wright IJ et al., 2004. The world wide leaf economics spectrum. *Nature*, 428:821-827. PMID:15103368. <http://dx.doi.org/10.1038/nature02403>

Zama, M. Y., Bovolenta, Y. R., Carvalho, E. S., Rodrigues, D. R., Araujo, C. G., Sorace, M. A. F., Luz, D. E., 2012. Florística e síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas no Parque Estadual Mata São Francisco, PR, Brasil. *Rev. Hoehnea* 39(3): 369-378.

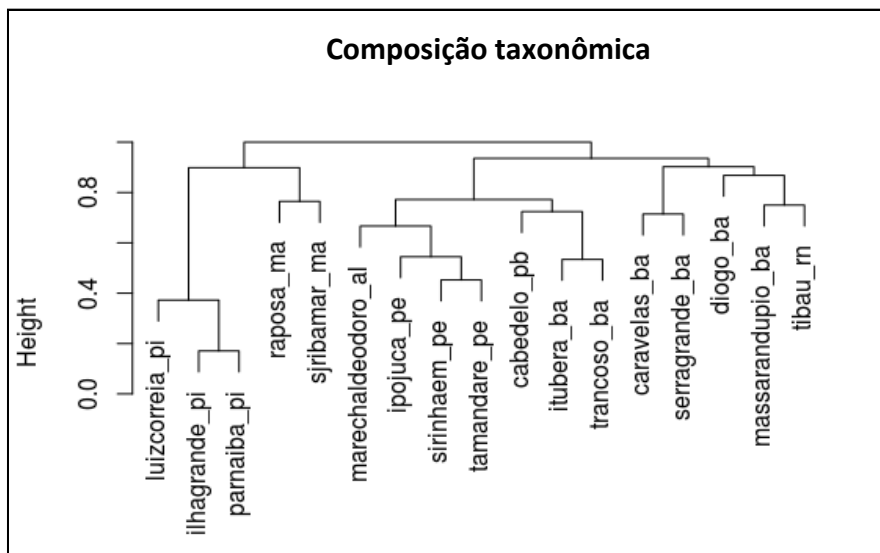


**Figura 1.** América Latina e Brasil, com destaque para a Região Nordeste (A). Distribuição espacial das 17 áreas de restinga amostradas ao longo da costa nordeste (B), as comunidades amostradas estão identificadas pelos nomes dos municípios onde estão localizadas. No estado do Maranhão: Raposa (1) e São José do Ribamar (2); no Piauí: Ilha Grande (3), Paraníba (4) e Luiz Correia (5); no Rio Grande do Norte: Tibau do Sul (6); no Paraíba: Cabedelo (7); em Pernambuco: Ipojuca (8), Sirinhaém (9), Tamandaré (10); em Alagoas: Marechal Deodoro (11); no estado da Bahia: Massarandupió (12), Diogo (13), Ituberá (14), Serra Grande (15), Trancoso (16) e Caravelas (17).



**Tabela 1.** Restingas amostradas e respectivos valores médios dos fatores abióticos. A classificação climática seguiu a proposta de Köppen-Geiger (1948). Dados médios de precipitação em milímetros (P) e temperatura em graus Celsius (T). Estados brasileiros: AL (Alagoas), BA (Bahia), MA (Maranhão), PB (Paraíba), PE (Pernambuco), PI (Piauí) e RN (Rio Grande do Norte).

<b>Restingas</b>	<b>Coordenada (geográfica)</b>	<b>Clima</b>	<b>P (mm)</b>	<b>T °C</b>
Raposa -MA	02°24'09"S / 44°01'19"W	Aw	1.861	27,1
São José de Ribamar - MA	02°38'47"S / 44°09'05"W	Aw	2.000	27,5
Ilha Grande - PI	02°50'84"S / 41°47'39"W	Aw	1.223	27,5
Parnaíba -PI	02°55'48"S / 41°40'67"W	Aw	1.223	27,5
Luiz Correia - PI	02°55'89"S / 41°30'49"W	Aw	1.223	27,5
Tibau do Sul - RN	06°17'30"S / 35°12'30"W	As'	2.075	25,9
Cabedelo - PB	07°03'47" S / 34°51'14"W	As'	2.141	25,6
Ipojuca - PE	08°31'48"S / 35°01'05"W	As'	2.443	24,8
Sirinhaém - PE	08°35'21"S / 35°6'55"W	As'	2.443	24,7
Tamandaré - PE	08°47'20"S / 35°06'45"W	As'	2.443	23,8
Marechal Deodoro - AL	09°42'36"S / 35°53'42"W	As'	2.183	25
Massarandupió - BA	10°27'42"S / 40°11'14"W	As'	1.200	25
Diogo - BA	12°26'28"S / 37°56'02"W	As'	1.200	25
Ituberá - BA	13°42'44"S / 39°00'26"W	Af	1.700	24
Serra Grande - BA	14°27'49"S / 39°02'06"W	Af	1.700	24
Trancoso - BA	16°39'53"S / 39°08'34"W	Af	1.767	24
Caravelas - BA	17°39'82"S / 39°09'46"W	Af	1.600	24



**Figura 2.** Agrupamento formado com base composição florística vs. distância geográfica entre as restingas amostradas.

**Tabela 2.** Proporção da composição dos atributos funcionais nas restingas, neste caso, ponderada pela presença de espécies nas comunidades vegetais amostradas. DM (densidade da madeira), DPI (polinização adaptada a diversos pequenos insetos). CWM (community weighted mean)  $\pm$  DP (desvio padrão).

<b>Atributos funcionais</b>	<b>CWM <math>\pm</math> DP</b>
DM	0.63 $\pm$ 0,06
árvore	0.72 $\pm$ 0,07
pioneira	0.42 $\pm$ 0,13
secundária	0.47 $\pm$ 0,13
climax	0.06 $\pm$ 0,04
anemófila	0.02 $\pm$ 0,02
cantarófila	0.03 $\pm$ 0,04
DPI	0.15 $\pm$ 0,07
falenófila	0.03 $\pm$ 0,02
melitófila	0.41 $\pm$ 0,09
ornitófila	0.04 $\pm$ 0,04
quierepterófila	0.05 $\pm$ 0,01
fruto p (0-1,5 cm)	0.48 $\pm$ 0,02
semente p (0-1,5 cm)	0.36 $\pm$ 0,08
dispersão biótica	0.71 $\pm$ 0,10

**Apêndice 1.** Lista de espécies utilizadas para análise de composição funcional (CWM) das comunidades florestais das restingas localizadas ao longo da costa nordeste do Brasil. Dados obtidos após compilação de levantamentos fitossociológicos realizados entre os anos de 2003 e 2015. Nome das espécies de acordo com a classificação botânica do APG III (2009), conferidos na base de dados botânicos *The Plant List* (<http://www.theplantlist.org/>), *Missouri Botanical Garden* (<http://www.tropicos.org/>) e no Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Hábito das espécies conferido no site <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>.

<b>Família</b>	<b>Espécies</b>	<b>Hábito</b>
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Arv
	<i>Astronium concinnum</i> Schott ex Spreng.	Arv
	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Arv
	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Thyrsodium spruceanum</i> Benth.	Arv
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Arv
	<i>Annona montana</i> Macfad.	Arv
	<i>Annona pickelii</i> (Diels) H.Rainer	Arb
	<i>Annona salzmanii</i> A.DC.	Arv
	<i>Duguetia gardneriana</i> Mart.	Arv
	<i>Duguetia lanceolata</i> St. Hilaire	Arv
	<i>Guatteria pogonopus</i> Mart.	Arv
<i>Xylopia laevigata</i> (Mart.) R. E. Fr.	Arv	
Apocynaceae	<i>Allamanda blanchetii</i> A.DC.	Arb
	<i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T. Aiton	Arb
	<i>Cryptostegia madagascariensis</i> Bojer ex Decne	Arb
	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Arv
	<i>Himatanthus phagedaenicus</i> (Mart.) Woodson	Arv
	<i>Tabernaemontana laeta</i> Mart.	Arv
	<i>Aspidosperma cuspa</i> (Kunth) S.F. Blake ex Pittier	Arb
Araliaceae	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin	Arv
Bignoniaceae	<i>Jacaranda obovata</i> Cham.	Arv
	<i>Tabebuia elliptica</i> (DC.) Sandwith	Arv
Boraginaceae	<i>Varronia leucocephala</i> (Moric.) J.S.Mill.	Arb
	<i>Cordia rufescens</i> A.DC.	Arb
	<i>Cordia superba</i> Cham.	Arb
	<i>Tournefortia candidula</i> (Miers) I.M. Johnst.	Arb
Bursereaceae	<i>Protium bahianum</i> Daly	Arv
	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Arv
Cactaceae	<i>Cereus fernambucensis</i> Lem.	Arb
	<i>Cereus jamacaru</i> DC.	Arv
Cannabaceae	<i>Celtis iguanae</i> (Jacq.) Sarg.	Arb
	<i>Capparis nectaria</i> Vell.	Arb
Capparaceae	<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Arv

Celastraceae	<i>Maytenus distichophyla</i> Mart. ex Reissek	Arv	
	<i>Maytenus robusta</i> Reiss.	Arv	
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	Arb	
	<i>Couepia impressa</i> Prance	Arv	
	<i>Couepia rufa</i> Ducke	Arv	
	<i>Hirtella cilata</i> Mart. & Zucc	Arv	
	<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	Arv	
	<i>Licania dealbata</i> Hook. f.	Arv	
	<i>Licania gardneri</i> (Hook. f.) Fritsch	Arv	
	<i>Licania hypoleuca</i> Benth.	Arv	
	<i>Licania littoralis</i> Warm.	Arv	
	<i>Licania nitida</i> Hook. f.	Arv	
Clusiaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Arv	
	<i>Clusia nemorosa</i> G.Mey.	Arv	
	<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.	Arv	
	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Arv	
	Combretaceae	<i>Buchenavia tetraphylla</i> (Aubl.) R.A.Howard	Arv
		<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Arb
<i>Combretum mellifluum</i> Eichler		Arb	
<i>Conocarpus erectus</i> L.		Arb	
<i>Thiloa glaucocarpa</i> (Mart.) Eichler		Arb	
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	Arv	
	<i>Davilla flexuosa</i> A. St.-Hil.	Arb	
	<i>Doliocarpus sellowianus</i> Eichler	Arb	
Ebenaceae	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	Arb	
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	Arv	
Ericaceae	<i>Gaylussacia brasiliensis</i> (Spreng.) Meisn.	Arb	
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	Arv	
	<i>Erythroxylum passerinum</i> Mart.	Arv	
Euphorbiaceae	<i>Croton adipatus</i> Kunth	Arb	
	<i>Croton blanchetianus</i> Baill.	Arb	
	<i>Croton jacobinensis</i> Baill.	Arb	
	<i>Croton polyandrus</i> Spreng.	Arb	
	<i>Croton sellowii</i> Baill.	Arb	
	<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Arb	
	<i>Manihot dichotoma</i> Ule	Arv	
	<i>Manihot pseudoglaziovii</i> Pax & K. Hoffmann	Arv	
	<i>Manihot tristis</i> Müll. Arg.	Arv	
	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	Arv	
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	Arv		
Fabaceae	<i>Hymenaea stignocarpa</i> L.	Arv	

<i>Senna gardneri</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arb
<i>Senna trachypus</i> (Mart. ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arv
<i>Abarema filamentosa</i> (Benth.) Pittier	Arv
<i>Andira aff legalis</i> (Vell.) Toledo	Arv
<i>Andira fraxinifolia</i> Benth.	Arv
<i>Andira nitida</i> Mart. ex Benth.	Arv
<i>Bauhinia acuruana</i> Moric	Arb
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Arb
<i>Bauhinia dubia</i> G. Don	Arb
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Arv
<i>Caesalpinia ferrea</i> C.Mart.	Arv
<i>Caesalpinia pyramidalis</i> Tul.	Arv
<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) DC.	Arv
<i>Chamaecrista ensiformis</i> (Vell.) H.S. Irwin & Barn.	Arb
<i>Chloroleucon acacioides</i> (Ducke) Barneby & J. W. Grimes	Arb
<i>Copaifera luetzelburgii</i> Harms	Arv
<i>Copaifera martii</i> Hayne	Arv
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong.	Arv
<i>Hymenaea coubaril</i> L.	Arv
<i>Hymenolobium alagoanum</i> Ducke	Arb
<i>Inga capitata</i> Desv.	Arv
<i>Inga flagelliformis</i> (Vell.) Mart.	Arv
<i>Inga marginata</i> Willd.	Arv
<i>Macrolobium latifolium</i> Vogel	Arb
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.	Arb
<i>Mimosa invisita</i> Mart. ex Colla	Sub
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart.	Arb
<i>Mimosa somnians</i> Humb. & Bonpl. ex Willd.	Arb
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Arb
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	Arv
<i>Peltogyne confertiflora</i> (Mart. ex Hayne) Benth.	Arv
<i>Periandra mediterranea</i> (Vell.) Taub.	Arv
<i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W.Jobson	Arv
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Arb
<i>Poincianella pyramidalis</i> var. <i>diversifolia</i> (Benth.) L.P. Queiroz	Arv
<i>Pterocarpus violaceus</i> Vogel	Arv
<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W.Grimes	Arv
<i>Senna gardneri</i> (Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arb
<i>Senna georgica</i> H. S. Irwin & Barneby	Arb
<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Arb
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H. S. Irwin & Barneby	Arv
<i>Senna trachypus</i> (Mart. ex Benth.) H.S. Irwin & Barneby	Arv
<i>Swartzia pickelii</i> Killip ex Ducke	Arv

Goupiaceae	<i>Goupia glabra</i> Aubl.	Arv
Humiriaceae	<i>Humiria balsamifera</i> (Aubl.) J.St.-Hil.	Arv
	<i>Sacoglottis mattogrossensis</i> Malme	Arv
Hypericaceae	<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	Arv
	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Pers.	Arv
Icacinaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	Arv
Lamiaceae	<i>Vitex cymosa</i> Bertero ex Spreng.	Arv
	<i>Vitex rufescens</i> A. Juss.	Arv
Lauraceae	<i>Ocotea fasciculata</i> (Nees) Mez	Arv
	<i>Ocotea gardneri</i> (Meisn.) Mez	Arv
	<i>Ocotea notata</i> (Nees & Mart.) Mez	Arv
Lecythidaceae	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambess.) Miers	Arv
Malpighiaceae	<i>Byrsonima bahiana</i> W.R.Anderson	Arv
	<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Arb
	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunt	Arb
	<i>Byrsonima cydoniifolia</i> A. Juss	Arb
	<i>Byrsonima gardneriana</i> A. Juss.	Arv
	<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	Arb
	<i>Byrsonima microphylla</i> A.Juss.	Arb
	<i>Byrsonima riparia</i> W.R. Anderson	Arv
	<i>Byrsonima sericea</i> DC.	Arv
	<i>Byrsonima vaccinifolia</i> A. Juss.	Arv
	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	Arb
	<i>Stigmaphyllon paralias</i> A.Juss.	Arb
Malvaceae	<i>Pachira glabra</i> Pasq.	Arv
	<i>Ceiba glaziovii</i> (Kuntze) K. Schum.	Arv
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam	Arv
	<i>Waltheria cinerescens</i> A.St.-Hil.	Arv
	<i>Sterculia striata</i> A.St-Hil & Naudin	Arv
Marcgraviaceae	<i>Schwartzia brasiliensis</i> (Choisy) Bedell ex Gir.-Cañas	Arb
Melastomataceae	<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Arv
	<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Arv
	<i>Miconia amoena</i> Triana	Arv
	<i>Miconia holosericea</i> (L.) DC.	Arv
	<i>Mouriri guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Mouriri pusa</i> Gardner	Arv
Meliaceae	<i>Trichilia hirta</i> L.	Arv
Moraceae	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	Arv
	<i>Ficus americana</i> Aubl.	Arv
	<i>Ficus americana</i> subsp. <i>guianensis</i> (Desv. ex Ham.) C.C. Berg	Arv
	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & C.D. Bouché	Arv
	<i>Ficus nymphaeifolia</i> Mill.	Arv
	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	Arv

Myrsinaceae	<i>Myrsine gardneriana</i> A. DC.	Arv
	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Arv
Myrtaceae	<i>Plinia edulis</i> (Vell.) Sobral.	Arb
	<i>Calycolpus legrandii</i> Mattos	Arb
	<i>Calyptranthes dardanoi</i> Mattos	Arv
	<i>Campomanesia aromatica</i> (Aubl.) Griseb.	Arv
	<i>Campomanesia dichotoma</i> (O. Berg) Mattos	Arv
	<i>Eugenia biflora</i> (L.) DC.	Arb
	<i>Eugenia excelsa</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia astringens</i> Cambess.	Arv
	<i>Eugenia excelsa</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia florida</i> DC.	Arb
	<i>Eugenia hirta</i> O. Berg	Arb
	<i>Eugenia ligustrina</i> (Sw.) Willd.	Arv
	<i>Eugenia ilhensis</i> O. Berg	Arv
	<i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.	Arv
	<i>Eugenia stictopetala</i> DC.	Arb
	<i>Marlierea aff excoriata</i> Mart.	Arv
	<i>Marlierea cf. schottii</i> D.Legrand	Arv
	<i>Marlierea excoriata</i> Mart.	Arv
	<i>Marlierea regeliana</i> O. Berg.	Arv
	<i>Myrcia bergiana</i> O. Berg	Arv
	<i>Myrcia bracteata</i> (Rich.) DC.	Arb
	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	Arb
	<i>Myrcia jacobinensis</i> Mattos	Arv
	<i>Myrcia laruotteana</i> Cambess.	Arv
	<i>Myrcia multiflora</i> (Lam.) DC.	Arb
	<i>Myrcia ramuliflora</i> (O.Berg) N.Silveira	Arv
	<i>Myrcia rotundifolia</i> (O. Berg) Kiaersk	Arv
	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Arv
	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Arv
	<i>Myrciaria cuspidata</i> O. Berg	Arv
	<i>Myrciaria floribunda</i> (H. West ex Willd.) O. Berg	Arv
	<i>Myrciaria tenella</i> (DC.) O. Berg.	Arv
<i>Psidium brownianum</i> DC.	Arb	
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Arb	
<i>Psidium nutans</i> O. Berg.	Arb	
<i>Syzygium thumra</i> subsp. <i>punctifolium</i> (Ridl.) Chantar. & J. Parn.	Arv	
Nyctaginaceae	<i>Guapira pernambucensis</i> (Casar.) Lundell	Arv
	<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan	Arv
	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Arv
	<i>Neea macrophylla</i> Poepp. & Endl.	Arv
Ochnaceae	<i>Ouratea cuspidata</i> Tiegh.	Arv



	<i>Ouratea fieldingiana</i> (Gardner) Engl.	Arv
	<i>Ouratea hexasperma</i> (A. St.-Hil.) Baill.	Arv
	<i>Ouratea suaveolens</i> (A.St.-Hil.) Engl.	Arv
Olacaceae	<i>Dulacia guianensis</i> (Engl.) Kuntze	Arv
	<i>Schoepfia brasiliensis</i> A. DC.	Arv
	<i>Ximenia americana</i> L.	Arv
Polygonaceae	<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.	Arb
	<i>Coccoloba declinata</i> (Vell.) Mart.	Arb
	<i>Coccoloba laevis</i> Casar.	Arb
	<i>Coccoloba latifolia</i> Lam.	Arb
	<i>Coccoloba ramosissima</i> Wedd.	Arb
	<i>Coccoloba scandens</i> Casar.	Arb
	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Arb
Rhamnaceae	<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Arv
Rubiaceae	<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich.	Arv
	<i>Bathysa australis</i> (A.St.-Hil.) K.Schum.	Arv
	<i>Chiococca alba</i> (L.) Hitchc	Arb
	<i>Chomelia obtusa</i> Cham. & Schldtl.	Arb
	<i>Cordia myrciifolia</i> (K. Schum.) C.H. Perss. & Delprete	Arb
	<i>Coutarea hexandra</i> (Jacq.) K. Schum.	Arb
	<i>Guettarda angelica</i> Mart. ex Müll. Arg.	Arv
	<i>Guettarda platypoda</i> DC.	Arv
	<i>Guettarda spruceana</i> Müll. Arg.	Arv
	<i>Psychotria bahiensis</i> DC.	Arb
	<i>Psychotria hoffmannseggiana</i> (Willd. ex Schult.) Müll. Arg.	Arb
	<i>Salzmannia nitida</i> DC.	Arb
	<i>Tocoyena aff. sellowiana</i> (Cham & Schldtl.) K. Schum.	Arb
	<i>Tocoyena brasiliensis</i> Mart.	Arb
	<i>Tocoyena sellowiana</i> (Cham & Schldtl.) K. Schum.	Arb
Rutaceae	<i>Conchocarpus longifolius</i> (A.St.-Hil.) Kallunki & Pirani	Arb
	<i>Erythrochiton brasiliensis</i> Nees & Mart.	Arb
	<i>Esenbeckia grandiflora</i> Mart.	Arv
	<i>Pilocarpus pauciflorus</i> A. St.-Hil.	Arv
	<i>Pilocarpus spicatus</i> subsp. <i>longeracemosus</i> (Mart. ex Engl.) Kaastra	Arb
	<i>Zanthoxylum petiolare</i> A.St.-Hil. & Tul.	Arv
Salicaceae	<i>Casearia javitensis</i> Kunth	Arv
Sapindaceae	<i>Cupania racemosa</i> (Vell.) Radlk.	Arv
	<i>Cupania rugosa</i> Radlk.	Arv
	<i>Matayba camptoneura</i> Radlk.	Arv
	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	Arv
	<i>Pseudima frutescens</i> (Aubl.) Radlk.	Arv
Sapotaceae	<i>Pouteria bangii</i> (Rusby) T.D. Penn.	Arv

	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	Arv
	<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.	Arv
	<i>Chrysophyllum splendens</i> Spreng.	Arv
	<i>Manilkara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	Arv
	<i>Manilkara cavalcantei</i> Pires & W.A. Rodrigues ex T.D. Penn.	Arv
	<i>Manilkara decrescens</i> T.D. Penn.	Arv
	<i>Manilkara salzmanii</i> (A. DC.) H.J. Lam	Arv
	<i>Manilkara triflora</i> (Allemão) Monach.	Arv
	<i>Pouteria grandiflora</i> (A. DC.) Baehni	Arv
	<i>Sarcaulus brasiliensis</i> (A. DC.) Eyma	Arv
Schoepfiaceae	<i>Schoepfia brasiliensis</i> A. DC.	Arv
Simaroubaceae	<i>Simaba cedron</i> Planch.	Arv
	<i>Simaba cuneata</i> A. St. - Hil. & Tul.	Arv
	<i>Simaba floribunda</i> A. St.-Hil. & Tul.	Arv
	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Arv
Siparunaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Arb
Solanaceae	<i>Cyphomandra fragrans</i> (Hook.) Sendtn.	Arb
	<i>Solanum crinitum</i> Lam	Arb
	<i>Solanum depauperatum</i> Dunal	Arb
	<i>Solanum paludosum</i> Moric.	Arb
	<i>Solanum paniculatum</i> L.	Arb
	<i>Solanum rhytidoandrum</i> Sedtn.	Arb
	<i>Solanum stipulaceum</i> Roem. & Schult.	Arb
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Arv
Violaceae	<i>Rinorea bahiensis</i> (Moric.) Kuntze	Arv

**Apêndice 2.** Média ponderada de cada atributo (community weighted mean, CWM) por comunidade. Média = média do atributo nas restingas da costa nordeste do Brasil. Desv.pd. = desvio padrão da média do atributo nas restingas. Densidade da madeira (DM g/m<sup>3</sup>); 91 Grupo ecológico: pioneira (pio), secundária (sec), secundária tardia (sect); Síndromes de polinização: anemofilia (anemo), cantarofilia (cantaro), diversos pequenos insetos (dpi), falenofilia (faleno), melitofilia (melito), ornitofilia (ornito), quiropterofilia (quiropt); Atributos do fruto: fruto pequeno (FP), semente pequena (SP), dispersão biótica (DB).

Restingas	DM	FV	Grupo ecológico			Síndromes de polinização							Atributos do fruto		
	g/m <sup>3</sup>	árvore	pio	sec	sect	anemo	cantaro	dpi	faleno	melito	ornito	quiropt	FP	SP	DB
cabedelo_pb	0.74	0.86	0.27	0.64	0.05	0.00	0.00	0.09	0.05	0.41	0.09	0.09	0.50	0.36	0.59
caravelas_ba	0.63	0.74	0.43	0.39	0.09	0.04	0.04	0.17	0.04	0.26	0.09	0.04	0.57	0.43	0.83
diogo_ba	0.57	0.71	0.36	0.46	0.11	0.04	0.04	0.25	0.00	0.46	0.04	0.00	0.36	0.32	0.71
ilhagrande_pi	0.58	0.61	0.66	0.22	0.06	0.04	0.01	0.06	0.01	0.45	0.00	0.04	0.37	0.30	0.43
ipojuca_pe	0.59	0.72	0.35	0.59	0.04	0.04	0.06	0.13	0.06	0.44	0.01	0.06	0.46	0.39	0.77
itubera_ba	0.72	0.76	0.32	0.59	0.03	0.00	0.05	0.14	0.05	0.35	0.08	0.05	0.51	0.30	0.70
luizcorreia_pi	0.57	0.67	0.63	0.24	0.07	0.02	0.02	0.09	0.02	0.43	0.00	0.04	0.30	0.26	0.46
marechaldeodoro_al	0.61	0.68	0.32	0.55	0.08	0.00	0.03	0.13	0.03	0.47	0.03	0.08	0.53	0.39	0.68
massarandupio_ba	0.71	0.84	0.36	0.56	0.04	0.00	0.04	0.20	0.04	0.56	0.04	0.04	0.52	0.48	0.88
parnaiba_pi	0.56	0.61	0.66	0.23	0.04	0.05	0.02	0.07	0.02	0.45	0.00	0.04	0.41	0.23	0.43
raposa_ma	0.56	0.73	0.50	0.41	0.05	0.00	0.00	0.18	0.05	0.32	0.00	0.05	0.55	0.32	0.82
serragrande_ba	0.68	0.84	0.32	0.53	0.11	0.05	0.16	0.11	0.00	0.21	0.11	0.05	0.42	0.53	0.63
sirinhaem_pe	0.59	0.67	0.40	0.56	0.02	0.04	0.00	0.12	0.06	0.46	0.08	0.06	0.58	0.31	0.77
sjribamar_ma	0.60	0.75	0.42	0.42	0.17	0.00	0.00	0.33	0.00	0.42	0.00	0.00	0.50	0.58	1.00
tamandare_pe	0.62	0.70	0.47	0.44	0.02	0.02	0.02	0.16	0.07	0.47	0.05	0.07	0.58	0.26	0.86
tibau_rn	0.61	0.65	0.44	0.49	0.02	0.02	0.02	0.13	0.03	0.52	0.00	0.06	0.43	0.25	0.75
trancoso_ba	0.69	0.75	0.22	0.67	0.06	0.03	0.06	0.14	0.00	0.31	0.11	0.03	0.61	0.33	0.78
<b>Média</b>	<b>0.63</b>	<b>0.72</b>	<b>0.42</b>	<b>0.47</b>	<b>0.06</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.15</b>	<b>0.03</b>	<b>0.41</b>	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.48</b>	<b>0.36</b>	<b>0.71</b>
<b>Desv.pd</b>	<b>0.06</b>	<b>0.07</b>	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.04</b>	<b>0.07</b>	<b>0.02</b>	<b>0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>0.02</b>	<b>0.08</b>	<b>0.10</b>	<b>0.16</b>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das características e particularidades específicas de cada ecossistema, a influência de fatores abióticos prevalece como fator determinante de modificações na estrutura das comunidades vegetais. No caso das restingas, reconhecidas por suas características edáficas marcantes (e.g., solo salino, baixa retenção hídrica e de nutrientes), o efeito dos fatores pluviosidade e temperatura, em amostras ao longo de um gradiente regional, foi capaz de determinar modificações estruturais tanto nas relações filogenéticas, quanto em nos grupos funcionais.

## Anexos da tese

---

### Normas para publicação dos artigos:

**Diversity and Distribution** © John Wiley & Sons Ltd

**Edited By:** Janet Franklin

**Impact Factor:** 4.566

ISI Journal Citation Reports © Ranking: 2015: 5/49 (Biodiversity Conservation);  
21/150 (Ecology)

**Online ISSN:** 1472-4642

**Associated Title(s):** Global Ecology and Biogeography, Journal of Biogeography

### Author Guidelines

*Diversity and Distributions* publishes papers that deal with conservation biogeography which is defined as "the application of biogeographical principles, theories, and analyses to problems regarding biodiversity conservation" (Whittaker *et al.* 2005; *Diversity and Distributions*, 16, 313-320). Authors considering submitting a paper to *Diversity and Distributions* are encouraged to read THIS EDITORIAL for details on topics that are appropriate for the journal.

### Requirements for Submission

1. Manuscripts submitted to *Diversity and Distributions* must not be under consideration for publication elsewhere.
2. The corresponding author must ensure that for each the first and final rounds of submission each author named on the manuscript has approved the final version and consented to being named as an author on the manuscript, exactly as submitted to the Journal.
3. All manuscripts submitted to the journal will be scanned using software designed to detect plagiarism. Where plagiarism is found, the submission may be rejected and/or authors' institutions may be notified.
4. Authors must disclose any conflict of interest that might be perceived as affecting the objectivity of conclusions, even if the conflict is only apparent. Corresponding authors will be asked to confirm whether or not a conflict of interest exists as part of the submission process.
5. All submissions must be concisely and clearly written in grammatically correct English.

*Diversity and Distributions* has five main categories of articles:

1. **Biodiversions.** These are editorial items solicited directly by the Editor. Unsolicited material will not normally be considered. If you have an idea for such a

contribution (up to 2000 words), please contact the Editor, who will provide you with the necessary guidance for submission.

**2. Biodiversity Viewpoints.** This section contains short essays (usually up to 3000 words) considering biodiversity from a particular disciplinary, regional, political, or other standpoint. If you would like to contribute such an essay, please contact the Editor outlining the distinctive character of your proposed essay, its length, the number of references, and the character of any illustrations to be used. These require a 150-word unstructured abstract.

**3. Biodiversity Research and Reviews** This is the core section of the journal and presents research or review articles up to 5000 words in length, but preferably shorter (the word limit refers to text from the start of the introduction to the end of the acknowledgements - i.e. excluding the title, abstract, references, figure captions, and tables). The Editor reserves the right to publish long tables and appendices on the journal's website, rather than in the printed version. Such a decision will only be taken after consultation with the author. A short running title should be provided. The manuscript must include an abstract of no more than 300 words structured under the headings: Aim, Location, Methods, Results, Main conclusions, and ending with a list of 6-10 keywords or phrases, arranged in alphabetical order. Three different weights of headings are available: authors should indicate the relative importance of a heading by the use of ringed capital letters. i.e. (A) for main headings; (B) for secondary headings; and, (C) for tertiary headings. A biosketch entry should be included after the references section (see below).

**4. Biodiversity Letters.** This section presents short items (normally less than 1000 words) of general news interest with respect to biodiversity, conferences or events, computer hardware and software developments, films and videos, the law, and political debates. Brief letters to the editor are also most welcome. Lively titles are encouraged, and material should be as topical as possible. Longer letters (up to 2500 words in total) prompted by papers previously published in this or occasionally other journals are also encouraged. Such longer communications should include a one-paragraph abstract (150 word maximum), and a list of 6-10 keywords.

#### **Pre-submission English Language editing**

Only papers written in English will be accepted. The journal cannot provide detailed editing of manuscripts to correct English. Where necessary, authors should have their manuscripts checked by a native English speaker before submitting their work.

Authors for whom English is a second language may choose to have their manuscript professionally edited before submission to improve the English. A list of independent suppliers of editing services can be found at [http://authorservices.wiley.com/bauthor/english\\_language.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/english_language.asp) Japanese authors can also find a list of local English improvement services at <http://www.wiley.co.jp/journals/editcontribute.html>.

## **Manuscript preparation and submission**

*Diversity and Distributions* requires online submission of manuscripts at <http://mc.manuscriptcentral.com/ddi>. Submission online is an intuitive, step-by-step process. By submitting online, you will benefit from quicker peer-review, web-based manuscript tracking, online reviewing and faster response. You will need your manuscript and figures in a digital format. When submitting, authors should upload a single file that contains all text (including a short running title, references, tables, figure captions and appendices) and figures which should be in the same document, at the end of the document and NOT embedded in the main text.

A PDF file will be automatically created for reviewing purposes. Full instructions and support for authors can be found at the Site. To use the Site you will need a user ID and password. Go to the Journal's submission homepage (<http://mc.manuscriptcentral.com/ddi>) and click 'Create a new account' if you have not registered before, or click 'Check for existing account' if you have submitted online or reviewed online before for the Journal (or if you have forgotten your details). If you at any time experience difficulty with your online submission, please contact the Editorial Office at [ddioffice@wiley.com](mailto:ddioffice@wiley.com)

You will need to approve the PDF that is created to complete the submission process. Please check the PDF carefully, especially tables and figures as these are sometimes distorted in conversion to PDF.

Please note that if we notice any formatting errors in the submitted PDF, the paper will be declined immediately.

Contributing authors are requested to submit, at the time of submission of their manuscripts, a list of at least five (and ideally TEN) persons that they consider well qualified to review the submitted work (e-mail addresses must be included). The list of suggested referees should NOT include any current nor recent collaborators in work that is closely related to the topic of the submitted paper, or any persons within the same organization as any of the authors of the submitted work.

## **Guidelines for Cover Submissions**

If you would like to send suggestions for artwork related to your manuscript to be considered to appear on the cover of the journal, please follow these general guidelines. All enquiries should be directed to the Editorial Office at [ddioffice@wiley.com](mailto:ddioffice@wiley.com)

## **Formatting your Manuscript**

The essential points of *Diversity and Distribution's* format are summarized below. Please consult a recent volume of the journal for details and examples.

1. *General* - Please use line numbering.
2. *Title page* - *DDI* papers should begin with a title page that includes:
  - the title

- the names of all authors
- the postal addresses and email addresses of the authors
- a list of 6-10 keywords
- a short running-title
- the name of corresponding author
- the number of words in the Abstract
- the number of words in main body of the paper, from the Introduction through the Biosketch (see below)
- the number of references

**3. Sections** - The sections of the paper should be presented in the following order: Introduction, Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, List of brief titles of items in the supplementary material, Biosketch, References, Appendices containing references to data sources (see below), Tables, Figure Legends, Figures, Supporting Information (i.e., appendices to be published online).

**4. A Biosketch** should be included: a short (30-100 words for one author, or up to 150 words for three authors) description of the research interests of the author(s). For papers with >3 authors, a biosketch should either focus on first author, or should be a general statement of the focus of the research team. Links to authors' web pages may be provided.

**5. Citations to data sources** - Some studies (e.g., meta-analyses) use data drawn from multiple published sources. If these sources are not otherwise cited in the main text, they should be listed in one or more appendices with titles similar to the following: "Appendix 1 – Data sources". These data appendices will be printed in the main paper (so that citation indexing services will capture them), but in a reduce font. The main text should cite Appendix 1 (e.g. "A list of the data sources is found in Appendix 1.").

**6. Figures and tables** - Every figure and table must have a legend that makes the display piece understandable without reference to the main text. All acronyms and abbreviations used in the display piece must be defined in its legend. A casual browser of the literature should be able to easily grasp the point of the display piece. It is often worthwhile to add a sentence summarizing what conclusions the reader should draw from the display piece.

**7.** The correct nomenclatural authorities for all taxa must be given on the first appearance in the text, in Tables, and in the captions to Figures, unless a general reference to a standard source is provided at an appropriate place in the manuscript. Genus names should not be abbreviated in figure captions and table headings.

### **Conflict of Interest**

Authors must disclose any conflict of interest that might be perceived as affecting the objectivity of conclusions, even if the conflict is only apparent. *Diversity and Distributions* is a member of and subscribes to the principles of the Committee on Publication Ethics.



### **Abbreviations and units**

SI units (metre, kilogram, etc.) are essential. Statistics and measurements should be given in figures, i.e. 10mm, except where the number begins the paragraph. When the number does not refer to a unit of measurement, it is spelt out, except where the number is greater than 10. A list of preferred abbreviations and naming conventions is available [here](#).

### **Tables**

Tables must be positioned on separate sheets, numbered consecutively (Table 1, Table 2, etc.) and grouped together after the References. 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.

### **Methods**

Please ensure that this section is entitled 'METHODS', and not 'MATERIALS AND METHODS'.

### **Figures, Illustrations and Maps**

All illustrations (including photographs) are classified as figures and should be numbered consecutively (Fig. 1, Fig. 2, etc.), and grouped together after the Tables – they should NOT be embedded in the text.

**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. Prepare figures such that, after reduction to print size, all lettering and symbols will be clear and easily read, and such that each figure makes effective use of space. Font size in figures should be 8 pt. To check this, fix the image size (for example, in Illustrator) to the required column width, and check the font size. 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).

Charges apply for the reproduction of **colour figures in the hard copy of the journal**. So, if your paper contains colour figures, the Colour Work Agreement form ([available here](#)), which outlines the charges, must be completed by the corresponding author and sent to Wiley Blackwell at acceptance. If using a limited colour palette we ask that authors avoid using red with green as this is a common colour-blindness combination.

**If you are not prepared to pay for colour in print, figures will be produced in colour in electronic versions of the paper, but black and white in the print copy.** For the convenience of readers, we ask that you design your colour artwork so that it can be understood as best as possible in greyscale. Note that the same figure file must be used for both the print and online versions (we do not accept differing colour and black-and-white versions of the same figure). Authors must complete the Colour Work Agreement form even if they opt for colour online/black and white in print. Articles received by Wiley Blackwell with colour work will not be published until the form has been received. Please send a scanned copy of the form to our production editor (jbi@wiley.com) for information and, if paying for colour, post the hard copy of the form to: Customer Services (OPI), John Wiley & Sons Ltd, European Distribution Centre, New Era Estate, Oldlands Way, Bognor Regis, West Sussex, PO22 9NQ.

### **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):

-----  
**Supporting Information**

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

**Appendix S1** {Insert short legend to online Appendix S1 }

**Figure S1** {Insert short legend to online Figure S1 }

**Table S1** {Insert short legend to online Table S1 }

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 re-organized 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.

-----  
 For reasons of space, only **short titles** to Supporting Information should be given in this section; full titles (if different) can be given with the Supporting Information itself; full titles can include a fuller description of content, definition of abbreviations, etc. 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. Authors should therefore prepare Supporting Information with the same rigour as their main paper, including adherence to journal style (e.g. formatting of references).** Supporting Information can be provided as separate files or as one combined file. Authors are discouraged from supplying very large files or files in non-standard file formats, both of which may reduce their use to the readership. Files should be prepared without line numbers or wide line spacing, and with all track-change edits accepted. Further information on Supporting Information is available [here](#).

At proof correction stage authors will be given access to their Supporting Information (via the web) and should check it for accuracy and updates. If changes are required corrected versions of the files received with the proof must be emailed to the Production Editor, with a brief description of the changes made. Supporting Information **must be checked alongside the main proof** and corrections for both returned to the Production Editor at the same time.

**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. For papers with 4 or more authors, biosketch details should be supplied for the first author only; alternatively, a general statement of the focus of the research team (a link to a group web page is encouraged) 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.

## References

We recommend the use of a tool such as EndNote for reference management and formatting. Click [here](#) to download the most up to date EndNote reference style for *Diversity and Distributions*. References should be made by giving the author's name with the year of publication in parentheses. When reference is made to a work by three authors or more, only the first name and *et al.* should be given in the citation. All authors' names should be listed in the reference itself. If several papers by the same author and from the same year are cited, a, b, c, etc., should be inserted after the year of publication. References must be listed in alphabetical order at the end of the paper in the following standard form:

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.

Please note that titles of journals should be written 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 imperative that you follow the above format for your references. ANY deviation from the required format WILL result in the paper being RETURNED TO THE AUTHOR FOR CORRECTION.

## Data Accessibility

Authors who wish to provide a consolidated statement of how other readers can access the data used in their paper may wish to refer to outside data repositories where they have deposited their data, e.g. Dryad, Pangaea, or others. If so, this

statement should be included after the Supporting Information section and before the Biosketch entry. A typical entry might read as follows:

#### **DATA ACCESSIBILITY**

All topographic and environmental GIS layers, the habitat suitability model and BTM results generated for this study are available as raster grids from the Pangaea database: <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.808540>.

#### **Copyright Transfer Agreement**

If your paper is accepted, the author identified as the formal corresponding author for the paper will receive an email prompting them to login into Author Services; where via the Wiley Author Licensing Service (WALS) they will be able to complete the license agreement on behalf of all authors on the paper.

*For authors signing the copyright transfer agreement*

If the OnlineOpen option is not selected the corresponding author will be presented with the copyright transfer agreement (CTA) to sign. The terms and conditions of the CTA can be previewed in the samples associated with the Copyright FAQs below:

CTA Terms and Conditions:

[http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs\\_copyright.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs_copyright.asp).

*For authors choosing OnlineOpen*

If the OnlineOpen option is selected the corresponding author will have a choice of the following Creative Commons License Open Access Agreements (OAA):

Creative Commons Attribution License OAA

Creative Commons Attribution Non-Commercial License OAA

Creative Commons Attribution Non-Commercial -NoDerivs License OAA

To preview the terms and conditions of these open access agreements please visit the Copyright FAQs hosted on Wiley Author Services [http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs\\_copyright.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs_copyright.asp) and visit <http://www.wileyopenaccess.com/details/content/12f25db4c87/Copyright-License.html>.

If you select the OnlineOpen option and your research is funded by The Wellcome Trust and members of the Research Councils UK (RCUK) you will be given the opportunity to publish your article under a CC-BY license supporting you in complying with Wellcome Trust and Research Councils UK requirements. For more information on this policy and the Journal's compliant self-archiving policy please visit: <http://www.wiley.com/go/funderstatement>.

**Referrals to the Open Access Journal "Ecology and Evolution"**

*Diversity and Distributions* works together with Wiley's Open Access Journal, Ecology and Evolution, to enable rapid publication of good quality research that is unable to be accepted for publication by our journal. Authors will be offered the option of having the paper, along with any related reviews, automatically transferred for consideration by the Editor of *Ecology and Evolution*. Authors will not need to reformat or rewrite their manuscript at this stage, and publication decisions will be made a short time after the transfer takes place. The Editor of *Ecology and Evolution* will accept submissions that report well-conducted research which reaches the standard acceptable for publication. Accepted papers can be published rapidly: typically within 15 days of acceptance. *Ecology and Evolution* is a Wiley Open Access journal and article publication fees apply. More information can be found here.

### **Proofs**

The corresponding author will receive an email alert to download an PDF file of the proof. Acrobat Reader will be required in order to read this file. This software can be downloaded (free of charge) from the following Web site:

<http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>

This will enable the file to be opened, read on screen, and printed out in order for any corrections to be added. Further instructions will be sent with the proof. Proofs will be posted if no e-mail address is available. **The proofs should be returned to the Production Editor within two weeks of receipt.** 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 of your article will be available via Author Services only. Please therefore sign up for Author Services if you would like to access your article PDF offprint and enjoy the many other benefits the service offers. This free access replaces any free paper copies, and you will not be sent a PDF. You may also nominate up to 10 colleagues for free access. All accesses from Author Services count towards the usage of your article. Additional paper copies may be purchased and should be ordered when proofs are returned. Offprints are normally sent out about 3 weeks after publication.

### **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 *Diversity and Distributions*. 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.

**Policy on molecular sequences**

It is a condition of publication that papers using new molecular sequences must place the sequences in an appropriate database (e.g. GenBank). Relevant accession numbers should be provided in the final manuscript. Accession numbers are required for all sequences used in analyses, including existing sequences in databases.

**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.

**Journal of Biogeography** © John Wiley & Sons Ltd

**Edited By:** Peter Linder

**Impact Factor:** 3.997

**ISI Journal Citation Reports © Ranking:** 2015: 5/49 (Geography Physical);  
26/150 (Ecology)

**Online ISSN:** 1365-2699

**Associated Title(s):** Diversity and Distributions, Global Ecology and  
Biogeography

### **Instructions for Authors**

#### **Scope of the Journal**

Papers dealing with all aspects of spatial, ecological and historical biogeography are considered for publication in the *Journal of Biogeography*. The mission of the Journal is to contribute to the growth and societal relevance of the discipline of biogeography through its role in the dissemination of biogeographical research. To that end, the editorial policy is that the Journal seeks to be representative of the discipline of biogeography, to be global in scope, and to be inclusive of major traditions and viewpoints in the discipline. Authors are particularly encouraged to submit concise, clearly written papers focused on precisely framed questions or hypotheses of broad interest to the wide international readership of the Journal, in addition we also publish review and opinion papers. The challenge in biogeography, is to extract general relationships from complex natural data. This often requires carefully designed studies of multiple species, which incorporate contextual information on, for example, the past or present biology of the taxa and/or the environments in which they occur. Papers that are primarily descriptive and are focussed only on the taxon being studied should be submitted to a more specialized journal.

#### **Requirements for submission**

1. Manuscripts submitted to *Journal of Biogeography* must not be under consideration for publication elsewhere.



2. The corresponding author must ensure that for each the first and final rounds of submission each author named on the manuscript has approved the final version and consented to being named as an author on the manuscript, exactly as submitted to the Journal.

3. All manuscripts submitted to the journal will be scanned using software designed to detect plagiarism. Where plagiarism is found, the submission may be rejected and/or authors' institutions may be notified.

4. Authors must disclose any conflict of interest that might be perceived as affecting the objectivity of conclusions, even if the conflict is only apparent.

5. All submissions must be concisely and clearly written in grammatically correct English - we use UK spellings following the Oxford English Dictionary. Manuscripts written in poor English may not be sent out to review.

### **Article types and guidelines for layout**

The Journal publishes articles under the following main headers: 1) **Perspectives**, 2) **Commentaries**, 3) **Original Articles**, 4) **Methodological Applications**, 5) **Syntheses**, and 6) **Correspondence**. All submissions are subject to peer review.

**1) Perspectives.** The Perspectives section is intended for stimulating and reflective essays providing personal perspectives on key research fields and issues within biogeography. When published, Perspectives should be of no more than eight printed pages (main text maximum 5000 words; word count including abstract, main text and references 7000 words maximum but note that shorter articles are encouraged), and they should include a short, single-paragraph abstract, and a set of 6–10 keywords.

Manuscripts should be presented in the following order: title page, giving the article type: Perspectives, article title, author names, author research addresses, corresponding author's name, address and e-mail, and short running head (maximum of 8 words); a single-paragraph abstract of up to 250 words; 6–10 keywords; main text; references (using the standard referencing system of the journal); tables with their legends above; list of figure legends; and embedded figures. A biosketch (see below) may be included after the references providing the overall paper length limit is not exceeded. The word count, inclusive of abstract, main text and references, should be stated on p1 of the manuscript. . For an example of a Perspectives paper, [click here](#).

**2) Commentaries.** Commentary submissions should provide readily intelligible comment on the latest original research in biogeography. The prose style should be light, and the article should be written with the minimum of technical language and jargon, so as to be understandable to a general audience or an undergraduate taking

an introductory course in biogeography. Contributions will be subject to rapid peer review. Commentaries should occupy a maximum of two pages of the journal, and should have a maximum of 10 references. No biosketch is included for commentaries. Manuscripts should be presented in the following order: title page, giving the article type: Commentary, article title (maximum of 10 words); main text (if headers are used within the text, keep them to a minimum); author names; author research addresses; correspondence author's name, address and e-mail; and the references (using the standard referencing system of the journal). The overall word count, inclusive of all of the above (i.e. text, title, author details, references), should be stated on p1 of the manuscript and should not exceed 1600 words. Should you wish to include a small figure or other illustration, this can be accommodated by a reduction in the number of words on a pro rata basis. For an example of a Commentary, [click here](#)

**3) Original Articles.** Original Articles, which are the standard research papers, present new biogeographic research resulting from comprehensive analysis of a question in biogeography. Standard research papers are classed as Original Articles. Authors should prepare their manuscript so that, when published, the article will comprise not more than 10 to 12 published pages. A single page of the journal can carry one of the following: (1) the article title, author list, abstract, and keywords; (2) about 1000 words of text (including subheadings); (3) about 30 references. For a typical Original Article, in which illustrative material (Tables and Figures) occupies about 3 pages of the journal when printed at final journal sizing, the text, inclusive of abstract and reference list, should not exceed 7000 words. The word count, inclusive of abstract, main text and references, should be stated on p1 of the manuscript.

Manuscripts should be presented in the following order: title page, giving the article type: Original Article, the article title, author names, author research addresses, correspondence author's name, address and e-mail, and short running head (maximum of 8 words); a structured abstract (as detailed below); 6–10 keywords (in alphabetical order); main text; references (using the standard referencing system of the journal); biosketch (see below); tables with their legends above; list of figure legends; and embedded figures. The main headers for Original Articles should normally be Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References.

*Structured abstracts.* Abstracts should be of no more than 300 words, presented as a series of factual statements under the following headings: Aim, Location, Methods, Results, and Main conclusions. The Aim should give a clear statement of the principal research question(s) or hypotheses, the Methods should give details of materials/sampling/methods of analysis, and the Main conclusions should give the main take-home message.

*Biosketch/Biosketches.* A short Biosketch/Biosketches entry (30-100 words for one author/150 words total for the first three authors, respectively) describing the research interests of the author(s) should be provided. For papers with four or more authors, biosketch details should be supplied for the first author only and/or a general statement of the focus of the research team (which may include a link to a group web page) plus, in all cases, a statement of author contributions, 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. For an example of a Original Article, click here.

**4) Methodological Applications.** Methodological Applications are structured as in Original Articles, but the main focus is to present or investigate a new method, rather than to explore a biogeographical problem. Papers in this section are expected to apply new methods to the analysis of biogeographic data and discuss the potential of those methods for advancing the study of the field. For an example of a Methodological Application, click here.

**5) Syntheses.** Papers that have the character of a theoretical synthesis or review, even if incorporating an element of original analysis within them, should use the article type Synthesis. Guidelines are as for Original Articles but submissions to the Synthesis section may be of up to 10,000 words, or exceptionally more. Authors of synthesis papers are encouraged to discuss their planned paper with one of the Chief Editors, especially if the length will exceed 10,000 words providing such length is fully justified. In all cases, the word count, inclusive of abstract, main text and references, should be stated on p1 of the manuscript. For an example of a Synthesis paper, click here.

**6) Correspondence.** The Journal welcomes short items of correspondence prompted by papers previously published in this or occasionally in other journals. The text should not normally exceed 2500 words, inclusive of a short one-paragraph abstract (up to 150 words), and a list of 6–10 keywords. No biosketch is necessary for Correspondence papers. The word count, inclusive of abstract, main text and references, should be stated on p1 of the manuscript. For an example of a Correspondence paper, click here.

### **Pre-submission English language editing**

Authors for whom English is a second language may choose to have their manuscript professionally edited before submission to improve the English. A list of independent suppliers of editing services can be found at [http://authorservices.wiley.com/bauthor/english\\_language.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/english_language.asp) Japanese authors can also find a list of local English improvement services at <http://www.wiley.co.jp/journals/editcontribute.html>.

## **Submission**

Submission to the *Journal of Biogeography* is via an online submission process at <http://mc.manuscriptcentral.com/jbi>. It is strongly recommended that before submission authors download and then complete our Author Checklist, which is intended to assist authors in preparing a potentially successful submission. It is available from the ScholarOne Manuscripts site, where it can be found in the tab 'Instructions and Forms' at the top right hand corner of the main screen.

When submitting, authors should upload a single word file (.doc, .docx or .rtf) containing in sequence the text, tables with legends above, list of figure legends, and embedded figures. If the paper has Supporting Information (for online publication only), this material should be uploaded as separate editable files or, preferably, as one combined file, with embedded figures if applicable. LaTeX users do not have to translate their manuscripts into MSWord, but may upload them as PDF files. Any explanatory notes, companion papers etc. for the attention of reviewers should be uploaded under 'Comments to reviewers'. Once the files have been uploaded, the system automatically creates a single PDF file for review purposes, combining the files designated as being for review. An optional cover letter for the editor may be uploaded separately.

Full instructions and support for authors can be found on the ScholarOne Manuscripts site. To use the site you will need a user ID and password. Go to the Journal's submission homepage (<http://mc.manuscriptcentral.com/jbi>) and click 'New user' if you have not registered as an author before. If you require technical assistance with ScholarOne Manuscripts, you will find details of how to contact ScholarOne Support directly by clicking the GET HELP NOW link that appears at the top of every ScholarOne Manuscripts page. Alternatively, please contact the Editorial Office by e-mail.

## **The text**

Manuscripts should bear the title of the contribution, names of the authors and complete addresses of the place(s) where the work was carried out. The full postal and e-mail address of the author who will receive correspondence and check the proofs should also be included, as well as the present address of any author if different from the place where the work was carried out. The title page should state the word count for the abstract and also for the main body of the text (inclusive of the abstract and references).

Manuscripts should be formatted as A4 with ample margins and double line spacing with continuous line numbers. All pages should be numbered in the top right hand corner. A range of three different headings levels may be used and authors should indicate the level of each heading by formatting them as bold–

capital, bold–lower case or italics–lower case for main, second and third level heading, respectively.

The correct nomenclatural authorities for the main study species must be given only on their first mention in the main body of text, or reference must be made to an appropriate nomenclatural source reference covering the taxa mentioned in the paper. Where specific equipment or software is mentioned, please give the manufacturer/company's name, town and country. *Journal of Biogeography* is a member of and subscribes to the principles of the Committee on Publication Ethics.

### **Abbreviations and units**

SI units (m, km<sup>2</sup>, 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 or equal to 10 (e.g. 25 samples).

### **Computer programs**

All software programs should be written in small caps, followed by the version number (e.g. MRBAYES 3.1.0). Packages in R should be in quotations (e.g. ``vegan``) and the relevant reference provided.

### **Tables**

Tables should be cited consecutively in the text and included in the file at the end of the paper with the legends above. They should be editable and constructed using 'tabs' (not spaces or software options). Captions should be explicit and informative and should 'stand alone' from the main text, giving the study organism and study location and 'n' values where applicable. Column headings should be brief, with units of measurement in parentheses. All abbreviations should be defined.

### **Figures**

Prepare figures such that, after reduction to print size, all lettering and symbols will be clear and easily read, and such that each figure makes effective use of space. Font size in figures should be 8 pt. To check this, fix the image size in Illustrator to the required column width, and check the font size. Possible figure sizes: single column = 79mm, 2/3rd column = 110mm, double column = 168mm, maximum height of figure = 230mm. If using colour please see the section on **Colour figures**, below.

For review purposes, figures should be embedded at the end of the text file. All illustrations (including photographs and maps) are classified as figures and they should be numbered consecutively as first cited in the text. Panels should be labelled (a), (b), (c), etc. rather than (A), (B), (C) etc. and referred to in the text as, for example, Fig. 1a. Figure legends should be listed at the end of the paper before the embedded figures. Legends should be explicit and informative and should 'stand alone' from the main text, giving the study organism and study location where applicable. All abbreviations should be defined.

Bar scales for maps and photographs are preferred to numerical scales and must be given on all such items. 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; use 'km' or 'kilometres', not 'kilometers'. Maps should include adequate geo-referencing information.

If and when your paper is accepted for publication, the editorial office will request you to upload your figures as separate files in the format(s) specified below. When supplying these files, use the following naming convention: manuscript number, figure number and then the appropriate file extension e.g. 'JBI-08-0500\_Fig1.tif'.

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) in .eps or .pdf format, 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. 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. 600–800 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. Note that .tif files are downsampled for online publication and so authors should preferentially opt for vector graphic formats for line and combination figures (full resolution .tif files are used for print publication). Colour figures should be saved in CYMK rather than RGB. Full artwork guidelines are given here.

### **Guidelines for Cover Submissions**

If you would like to send suggestions for artwork related to your manuscript to be considered to appear on the cover of the journal, **please follow these general guidelines.**

## References

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. Please add the person's initials, surname and institute for personal communications.

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 & Schoener, 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 & Schoener, 1983a,b; Bush & Rivera, 1998, 2003; Collins, 1998, 2002; Whittaker et al., 2007).

In the list, references should be sorted alphabetically by first author, then by number of authors (one, two, three or more), then chronologically within the one-author group, alphabetically within the two-author group, and chronologically within the = three-author group. For multi-authored works with more than 20 authors, list only the first three authors followed by et al. Page extents of single-volume works are not required. Titles of journals should be given in full. Titles of papers and books should not be capitalized, except for proper names and the first word of the title. Check the Journal for reference style. Some examples are given below:

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.

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

Guo, Q. (1994) *Dynamic desert Puccinellia maritima plant community ecology: changes in space and time*. PhD Thesis, University of New Mexico, Albuquerque.

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.

StatSoft Inc. (2003) *STATISTICA (data analysis software system), version 6.1*. StatSoft, Inc., Tulsa, OK.

Click [here](#) to download the most up-to-date EndNote reference style for *Journal of Biogeography*.

Citations to data sources: Some studies (e.g., meta-analyses) use data drawn from multiple published sources. If these sources are not otherwise cited in the main text, they should be listed in one or more appendices with titles similar to the following: "Appendix 1 – Data sources". These data appendices will be printed in the main paper (so that citation indexing services will capture them), but in a reduced font. These appendices should be cited in the main text (e.g. "A list of the data sources is found in Appendix 1.").

### **Appendices and Supporting Information**

Additional materials and results (including supporting tables and figures) that are necessary but do not need to be included in the main paper must be compiled into Appendices, which will be provided to readers as online Supporting Information. Such supporting information should be referred to in the text as, for example, 'see Appendix S1 in Supporting Information'; subsequent mention should be in the form 'see Appendix S2'. Figures and tables in the Supporting Information must be numbered consecutively by Appendix number and figure number: e.g. the first figure in Appendix 1 as Fig. S1.1, the first in Appendix 2 as Fig. S2.2 (if there is only one figure in Appendix 1). All appendices, figures and tables must be cited in the text. Authors should then include a 'Supporting Information' section immediately after their References section (i.e. before the Biosketch entry), which should be in the following form:

-----  
**Supporting Information**

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

**Appendix S1** Short title here.

**Appendix S2** Short title here.

-----

For reasons of space, only short titles to Supporting Information should be given in this section (maximum 5 words); full titles should be given with the Supporting Information itself and should include a fuller description of content, definition of abbreviations, etc. Each Appendix should be headed with the authors, title of the paper, and "Journal of Biogeography".



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. Authors should therefore prepare Supporting Information with the same rigour as their main paper, including adherence to journal style (e.g. formatting of references, figure captions, headings).** Sources cited only in the Supporting Information should be listed in a reference section within the supplementary files and not with the main paper. Supporting Information can be provided as separate editable files or, preferably, as one combined file. Authors are discouraged from supplying very large files or files in non-standard file formats, both of which may reduce their use to the readership. At the point a paper is accepted, these files should be prepared without line numbers or wide line spacing, and with all track-change edits accepted.

At proof correction stage authors will be given access to their Supporting Information (via the web) and should check it for accuracy and updates. If changes are required, corrected versions of the files that were received with the proof must be emailed to the Production Editor, with a brief description of the changes made. Supporting Information **must be checked alongside the main proof** and corrections for both returned to the Production Editor at the same time.

### **Data Accessibility**

All data and vouchers used in a paper must be published or deposited on a publicly open depository (e.g. Genbank, Dryad, Figshare, etc), unless cogent reasons can be given why this should not be the case. Authors should provide a consolidated statement of how other readers can access the data used in their paper in a statement after the Supporting Information section and before the Biosketch entry. A typical entry might read as follows:

#### **DATA ACCESSIBILITY**

All topographic and environmental GIS layers, the habitat suitability model and BTM results generated for this study are available as raster grids from the Pangaea database: <http://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.808540>.

### **Copyright, OnlineOpen and colour figure charges**

*Journal of Biogeography* operates two publication models: (1) our standard model for which no page charges apply; and (2) a pay-to-publish OnlineOpen model. Publication is conditional on authors completing and returning an Copyright Transfer Agreement Form or the online Open Access form (see links above),

respectively. In addition, all papers including colour artwork are subject to charges (see 'Colour figures' below). The relevant forms must be completed and returned to the Production Editor on acceptance: papers will not be sent for typesetting until then.

### **Copyright Transfer Agreement Form**

If your paper is accepted, the author identified as the formal corresponding author for the paper will receive an email prompting them to login into Author Services; where via the Wiley Author Licensing Service (WALS) they will be able to complete the license agreement on behalf of all authors on the paper.

### **For authors signing the copyright transfer agreement**

If the OnlineOpen option is not selected the corresponding author will be presented with the copyright transfer agreement (CTA) to sign. The terms and conditions of the CTA can be previewed in the samples associated with the Copyright FAQs below:

CTA Terms and Conditions [http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs\\_copyright.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs_copyright.asp)

### **For authors choosing OnlineOpen**

If the OnlineOpen option is selected the corresponding author will have a choice of the following Creative Commons License Open Access Agreements (OAA):  
**Creative Commons Attribution License OAA**

**Creative Commons Attribution Non-Commercial License OAA**

**Creative Commons Attribution Non-Commercial -NoDerivs License OAA**

To preview the terms and conditions of these open access agreements please visit the Copyright FAQs hosted on Wiley Author Services [http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs\\_copyright.asp](http://authorservices.wiley.com/bauthor/faqs_copyright.asp) and visit

<http://www.wileyopenaccess.com/details/content/12f25db4c87/Copyright-License.html>.

If you select the OnlineOpen option and your research is funded by The Wellcome Trust and members of the Research Councils UK (RCUK) you will be given the opportunity to publish your article under a CC-BY license supporting you in

complying with Wellcome Trust and Research Councils UK requirements. For more information on this policy and the Journal's compliant self-archiving policy please visit: <http://www.wiley.com/go/funderstatement>.

### **Colour figures**

Charges apply for the reproduction of colour figures in the hard copy of the journal. So, if your paper contains colour figures, the Colour Work Agreement form (available [here](#)), which outlines the charges, must be completed by the corresponding author and sent to Wiley Blackwell at acceptance. If using a limited colour palette we ask that authors avoid using red with green as this is a common colour-blindness combination. If you are not prepared to pay for colour in print, figures will be produced in colour in electronic versions of the paper, but black and white in the print copy. For the convenience of readers, we ask that you design your colour artwork so that it can be understood as best as possible in greyscale. Note that the same figure file must be used for both the print and online versions (we do not accept differing colour and black-and-white versions of the same figure). Authors must complete the Colour Work Agreement form even if they opt for colour online/black and white in print. Articles received by Wiley Blackwell with colour work will not be published until the form has been received. Please send a scanned copy of the form to our production editor ([jbi@wiley.com](mailto:jbi@wiley.com)) for information and, if paying for colour, post the hard copy of the form to: Customer Services (OPI), John Wiley & Sons Ltd, European Distribution Centre, New Era Estate, Oldlands Way, Bognor Regis, West Sussex, PO22 9NQ.

### **Referrals to the Open Access Journal "Ecology and Evolution" and "Geo: Geography and Environment"**

This journal works together with Wiley's Open Access journals, *Ecology and Evolution* and *Geo: Geography and Environment*, to enable rapid publication of good quality research that we are unable to accept for publication. Authors may be offered the option of having their paper, along with any related reviews, automatically transferred for consideration by the Editors of *Ecology and Evolution* or *Geo: Geography and Environment*. Authors will not need to reformat or rewrite their manuscript at this stage, and publication decisions will be made a short time after the transfer takes place. The Editors of *Ecology and Evolution* and *Geo: Geography and Environment* will accept submissions that report well-conducted research and which reach the standard acceptable for publication. Accepted papers can be published rapidly, typically within 15 days of acceptance. *Ecology and Evolution* and *Geo: Geography and Environment* are Wiley Open Access journals and article publication fees apply. More information can be found [here](#).

### **Archive policy**

Please note that unless specifically requested, the Publisher will dispose of all electronic material submitted 2 months after publication.

### **Proofs**

PDF proofs will be sent to the corresponding author by e-mail and they should be **returned to the Production Editor within two weeks of receipt**. Where this is not possible authors should e-mail the Production Editor (jbi@wiley.com) to advise of the delay. We strongly encourage corresponding authors to circulate their proof (including supporting information) for checking to all co-authors. 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 of your article will be available via Author Services only. Please therefore sign up for Author Services if you would like to access your article PDF offprint and enjoy the many other benefits the service offers.