

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE
CAMPUS II – AREIA-PB

JOSÉ LEONARDO DOS SANTOS GOMES

**DIVERSIDADE FUNCIONAL EM UMA COMUNIDADE DE FLORESTA
ÚMIDA: TESTANDO FATORES ABIÓTICOS LOCAIS COMO FILTROS
AMBIENTAIS**

AREIA-PB

2018

JOSÉ LEONARDO DOS SANTOS GOMES

**DIVERSIDADE FUNCIONAL EM UMA COMUNIDADE DE FLORESTA
ÚMIDA: TESTANDO FATORES ABIÓTICOS LOCAIS COMO FILTROS
AMBIENTAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Biodiversidade.

Orientador: Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque

Coorientadora: Dr.^a Lenyneves Duarte Alvino de Araújo

AREIA-PB

2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

G633d Gomes, José Leonardo dos Santos.

Diversidade funcional em uma comunidade de floresta úmida: testando fatores abióticos locais como filtros ambientais / José Leonardo dos Santos Gomes. - Areia, 2018.

42 f. : il.

Orientação: Manoel Bandeira de Albuquerque.

Coorientação: Lenyneves Duarte Alvino de Araújo.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Biodiversidade. 2. Fatores abióticos. 3. Diversidade funcional - Floresta úmida. I. Albuquerque, Manoel Bandeira de. II. Araújo, Lenyneves Duarte Alvino de. III. Título.

UFPB/BC

Dedico este trabalho a minha família e a todos e todas que de alguma forma contribuíram para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas ameaçados.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Manoel Bandeira de Albuquerque por ter me apoiado incondicionalmente desde primeiro instante, por ter sempre acreditado em mim.

Agradeço a minha coorientadora Lenyneves Duarte Alvino de Araújo por ter me provido de todos os recursos que precisei nas diversas etapas deste trabalho e também por ter me apresentado o fascinante mundo da ecologia vegetal e biologia floral;

À Pedro Gadelha pela generosidade em me acompanhar nas coletas no Parque Estadual da Mata do Pau do Ferro, digo de fato que sem seu apoio companheiro este trabalho não teria sido possível;

Aos meus camaradas Max e Ewerton pelas suas inestimáveis colaborações e ativa participação nos trabalhos de coleta.

À minha amada esposa Amanda pela compreensão, apoio e estímulo ao longo de todo este estudo, além das várias ajudas nos trabalhos de laboratório. Também por aceitar que eu tenha me dedicado tão intensamente a esse curso de mestrado e a esta dissertação;

Aos meus filhos Anthony, Alinne, Arthur e André por me ajudarem a sempre progredir e avançar;

Aos meus pais Barreto e Conceição pelo apoio total e irrestrito, e especialmente pela confiança inabalável em mim;

Meus profundos agradecimentos aos professores e discentes do PPGBIO pelos momentos de aprendizado.

Aos colegas do LABERV por terem pacientemente suportado minha espaçosa pesagem de folhas e por terem me auxiliado no preenchimento das planilhas.

Por fim aos companheiros do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba campus Areia pelo apoio e pela flexibilização da minha jornada de trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Localização do Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Nordeste, Brasil. (A) Distribuição dos remanescentes de floresta Atlântica no estado da Paraíba (cinza escuro), destacando os remanescentes de floresta de Brejo de Altitude na Paraíba. (B) Fragmentos de floresta de Brejo de Altitude, destacando as unidades amostrais (círculos escuros) no Parque Estadual Mata do Pau Ferro ($6^{\circ}58'12''$ S & $35^{\circ}42'15''$ W) (C). Mapa em ArcGis Desktop 10.1.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos funcionais utilizados no cálculo da diversidade funcional.

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos funcionais contínuos. Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Nordeste, Brasil. (ALT) Altura, BA (Área basal), SLA (Área foliar específica), LS (Tamanho Foliar) BWD (Densidade Básica da Madeira) e LDMC (Conteúdo de matéria Seca Foliar).

Tabela 3. Análise Stepwise. Modelo. F-statistic: 9.38, R^2 : 0.634, $p=2.995e-05$

Tabela 4. Coeficientes parciais de regressão múltipla do índice de diversidade, funcional (FD) e os preditores ambientais.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| Resumo Geral | 03 |
| Abstract | 04 |
| Introdução Geral | 05 |
| Referências | 06 |
| Resumo | 07 |
| Introdução | 08 |
| Material e métodos | 09 |
| Área de estudo | 09 |
| Desenho Amostral | 10 |
| Coleta de dados | 10 |
| Atributos funcionais | 10 |
| Variáveis Ambientais | 12 |
| Cálculo do índice de diversidade funcional | 13 |
| Análises estatísticas | 14 |
| Resultados | 14 |
| Discussão | 15 |
| Agradecimentos | 17 |
| Referências | 20 |
| Anexos | 30 |
| Considerações Finais | 32 |

RESUMO GERAL

Fatores abióticos podem atuar como filtros ambientais em nível local e influenciar o estabelecimento, a distribuição e a diversidade funcional nas comunidades de plantas em uma floresta úmida, com essa premissa o presente estudo foi realizado no Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Paraíba, Nordeste, Brasil. Foi calculada a diversidade funcional utilizando um índice baseado em dendrogramas e a partir de oito atributos funcionais: Área Foliar específica (SLA), Tamanho da Lâmina Foliar (SL), Densidade Básica da Madeira (BWD), Altura Máxima (H), Conteúdo de Matéria Seca Foliar (LDMC), Área basal (BA), Divisão do Limbo (LBD) e Deciduidade (DEC). foi testado o Índice Diversidade Funcional (FD) como variável dependente das seguintes variáveis preditoras: fertilidade do solo representada nesse estudo pelo teor de matéria orgânica e o valor de saturação das bases, química do solo representada pelos componentes PH, quantidade de fósforo (P), potássio(K), sódio (Na), Alumínio (Al) Cálcio (Ca), magnésio (Mg), Acidez Potencial ($H^+ + Al^{+3}$) soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e física do solo representado pelos descritores porosidade total e densidade, abertura de dossel, altitude, inclinação e distância da paisagem perturbada. Através de análises de regressões lineares múltiplas Stepwise selecionamos o melhor modelo utilizando o critério de AIC. Foram amostrados 870 indivíduos pertencentes a 31 espécies distribuídas em 18 famílias e a partir de seus atributos vegetativos a diversidade Funcional foi calculada, variando significativamente em função da altitude ($p < 0,001$), teor de Matéria Orgânica e Potássio ($p = 0,012926$) e física do solo ($p < 0,001$). Sendo assim, as variações locais na altitude e no solo atuaram como filtros, de forma que, na comunidade estudada, a diversidade funcional reduz nas áreas com maior concentração de matéria orgânica e aumenta nas áreas de maior altitude, de solos mais densos e porosos.

Palavras-chave: Atributos Funcionais; Atributos Vegetativos; Fertilidade do Solo; Filtragem Ambiental; Floresta Atlântica; Altitude; Variáveis Ambientais.

ABSTRACT

Abiotic factors can act as environmental filters at the local level and influence the establishment, distribution and functional diversity in plant communities in a rainforest, with this premise the present study was carried out at Mata do Pau Ferro State Park, Paraíba, Northeast, Brazil. The functional diversity was calculated using an index based on dendrograms and from eight functional attributes: Specific Foliar Area (SLA), Foliar Blade Size (SL), Basic Wood Density (BWD), Maximum Height (H), Material Content Dry Foliar (LDMC), Basal area (BA), Limbo Division (LBD) and Deciduity (DEC). (FD) as a dependent variable of the following predictive variables: soil fertility represented in this study by the organic matter content and the saturation value of the bases, soil chemistry represented by the components PH, amount of phosphorus (P), potassium (K), sodium (Na), Aluminum (Al), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Potential Acidity ($H^{++} Al + 3$) sum of bases (SB), cation exchange capacity soil physics represented by the descriptors total porosity and density, canopy opening, altitude, slope and distance of disturbed landscape. Through multiple linear regression analyzes Stepwise we selected the best model using the AIC criterion. 870 individuals belonging to 31 species distributed in 18 families and from their vegetative attributes, functional diversity was calculated, varying significantly as a function of altitude ($p < 0.001$), organic matter and potassium content ($p = 0.012926$) and soil physics ($p < 0.001$). Thus, local variations in altitude and soil acted as filters, so that, in the studied community, functional diversity reduces in areas with higher concentration of organic matter and increases in areas of higher altitude, more dense and porous soils.

Keywords: vegetative functional attributes; soil fertility; environmental filtration; Atlantic Forest; altitude; environmental variables.

INTRODUÇÃO GERAL

A abordagem funcional da biodiversidade sinalizou uma mudança na Ecologia das comunidades, quando os estudos passaram a se preocupar com a função ecológica das espécies e o quanto a perda dessas espécies pode afetar a funcionalidade dos ecossistemas, o que conseqüentemente, implica em perdas ambientais, sociais, econômicas e culturais (Diaz et al. 2007). Sendo assim, a abordagem funcional tem contribuído para uma compreensão mais completa dos processos que determinam a estrutura das comunidades. Medir a diversidade funcional significa medir a diversidade de atributos funcionais que influenciam os processos nas comunidades, um conceito relacionado a teoria de nicho ecológico (Hutchinson 1957) e baseado na relação entre organismos e comunidade, por meio de mecanismos como complementaridade no uso de recursos e facilitação (Tilman 2001; Petchey & Gaston 2002, 2006). Atributos como Área foliar específica (SLA), Tamanho da lâmina foliar (SL) estão relacionados a processos fisiológicos e ecossistêmicos como taxa de crescimento relativo, taxa fotossintética máxima, investimento em defesa estrutural, vida útil foliar e equilíbrio hídrico.

Compreender a diversidade funcional nas Florestas de Brejo de Altitude contribuirá para o entendimento da estrutura e dinâmica dessas comunidades, as quais possuem peculiaridades em função de sua condição biogeográfica, que promove uma constituição florística diferenciada, com espécies endêmicas e outras de ocorrência amazônica e da Floresta Atlântica do Sul (Barbosa 2004) e que ainda não foram estudadas. Além disso, essas áreas possuem histórico de fortes pressões antrópicas, tornando-se um dos ambientes mais ameaçados da Mata Atlântica (Ribeiro et al. 2009). A degradação dessas áreas gera uma urgente necessidade de compreendê-las, especialmente, sob os aspectos ecológicos e sociais.

A hipótese da filtragem ambiental (Weiher & Keddy 1995 1999) prediz que o ambiente atua como filtros, selecionando progressivamente, a partir do banco regional de espécies, aquelas com atributos funcionais que permitam o seu estabelecimento nas condições locais, inicialmente, pelos fatores ambientais em larga escala, como o clima, a altitude e temperatura, depois pelos fatores ambientais em escalas locais como propriedades do solo e inclinação, e por fim, pelas interações bióticas, determinando as abundâncias relativas das espécies.

Considerando isso, a presente dissertação teve como objetivo, testar se as variáveis ambientais locais de uma área de Floresta de Brejo de Altitude poderiam estar atuando como potenciais filtros, influenciando a diversidade funcional de plantas nessa área.

REFERÊNCIAS

Barbosa, M.R.V., M.F. Agra, E.V.S.B. Sampaio, J.P. Cunha & L.A. Andrade. (2004). Diversidade florística na Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba.

Ciencialuso, M. V., Silva, I. A. & Batalha, M. A. (2009) Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotrop.* 9, 0–11.

Diaz, S.; Lavorel, S.; De Bello, F.; Quétier, F.; Grigulis, K.; Robson, T. M. (2007) Incorporating Plant Functional Diversity Effects In Ecosystem Service Assessments. *Proceedings of the National Academy Of Science*, V.104, N. 52, P. 20684-20689.

Hutchinson, G. E. (1957) Populations studies - animal ecology and demography - concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, v. 22, p. 415–427,

Petchey, O.L. & Gaston, K.J. (2006) Functional Diversity: Back to Basics & Looking Forward. *Ecol. Lett.* 9(6):741-758.

Ribeiro, M.C., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F., Hirota, M.M. (2009) Brazilian Atlantic Forest: How Much Is Left & How Is The Remaining Forest Distributed? Implications for Conservation. *Biological Conservation* 142, 1141–1153.

Tilman, D. Functional diversity *Encyclopedia of Biodiversity*, (2001). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010459702009000300009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>

Weiher, E.; Keddy, P. A. (1995). Assembly rules, null models, and trait dispersion: new questions from old pattern. *Oikos*, v. 74, n. 1, p. 159–164,

Weiher, E.; Keddy, P. (1999) *Ecological assembly rules: perspectives, advances, retreats.* Cambridge: Cambridge University Press.

DIVERSIDADE FUNCIONAL EM UMA COMUNIDADE DE FLORESTA ÚMIDA: TESTANDO FATORES ABIÓTICOS LOCAIS COMO FILTROS AMBIENTAIS

José Leonardo S. Gomes¹, Lenyneves D. Alvino ², Manoel B. Albuquerque ³

¹Pós Graduação em Biodiversidade, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia 58397-000, Brasil

² Departamento de Ciências Biológicas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia 58397-000, Brasil

³ Departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia 58397-000, Brasil.

Resumo

As variáveis ambientais podem atuar como filtros, em diferentes escalas, influenciando o estabelecimento e a distribuição das espécies, e assim, direcionar a diversidade funcional nas comunidades, seguindo essa premissa o presente estudo testou se as variáveis ambientais locais de uma área de Floresta de Brejo de Altitude poderiam estar atuando como potenciais filtros, influenciando a diversidade funcional de plantas nessa área. O estudo de campo foi realizado no Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Paraíba, Nordeste, Brasil. Foi calculado a diversidade funcional utilizando um índice baseado em dendrogramas e a partir de oito atributos vegetativos funcionais. Testou-se a diversidade funcional como variável dependente das seguintes variáveis preditoras: fertilidade do solo representada nesse estudo pelo teor de matéria orgânica e o valor de saturação das bases, química do solo representada pelos componentes PH, quantidade de fósforo (P), potássio(K), sódio (Na), Alumínio (Al) Cálcio (Ca), magnésio (Mg), Acidez Potencial ($H^+ + Al^{+3}$) soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e física do solo representado pelos descritores porosidade total e densidade, abertura de dossel, altitude, inclinação e distância da paisagem perturbada. Os modelos foram testados a partir de uma análise Stewise e selecionamos o melhor modelo através do Critério de Akaike (AIC). A diversidade funcional variou significativamente em função da fertilidade, química e física do solo, da altitude. Dentre essas variáveis, a altitude, os componentes do solo e a distância da área perturbada representaram o melhor modelo. Foram amostrados 870 indivíduos pertencentes a 31 espécies distribuídas em 18 famílias e a partir de seus atributos vegetativos a diversidade Funcional foi calculada, variando significativamente em função da altitude ($p < 0,001$), teor de Matéria Orgânica e Potássio ($p = 0,012926$) e física do solo ($p < 0,001$). Concluiu-se que na floresta de Brejo de Altitude estudada, as variáveis ambientais

locais associadas aos componentes do solo e a altitude atuaram como filtros abióticos, direcionando a diversidade funcional de plantas nessa comunidade.

Palavras-chave: atributos funcionais; filtro ambiental; Mata Atlântica; variáveis ambientais.

Introdução

Fatores ambientais como o clima, tipos de solos, regimes de perturbação, alguns aspectos da composição atmosférica e interações bióticas são considerados como os principais filtros ambientais que influenciam fortemente quais espécies, com determinados atributos, podem se estabelecer nos diferentes ambientes, desde escalas regionais a escalas locais (Keddy 1992; Díaz; et al. 1998; Willig et al. 2003; Siefert 2012; Asefa et al. 2017). Assim, apenas as espécies que possuem atributos que lhes conferem capacidade de suportar tais condições estarão aptas a sobreviver em um determinado local (Díaz et al. 1998). Essas adaptações às características do ambiente podem levar a uma convergência de determinados atributos funcionais dentro da comunidade (Diaz & Cabido 2003). Por outro lado, espécies que utilizam um recurso de forma similar não devem coexistir com muita frequência, já que aquela que for competitivamente superior irá excluir a inferior quando os recursos estiverem limitados no ambiente (Weiher et al. 1998) e esse balanço contribui com a dinâmica das comunidades.

Estudos têm demonstrado que as respostas das espécies às variáveis ambientais são controladas por seus atributos funcionais (Díaz et al. 1998; Cornwell & Ackerly 2010; de Bello et al. 2013; Kazakou et al. 2016). Essas variáveis ambientais podem atuar como filtros e, conseqüentemente, influenciar o padrão de riqueza e abundância das espécies (Stein et al. 2014), bem como, os valores de diversidade funcional em diferentes escalas e comunidades (e.g. Petchey & Gaston 2002; Pausas & Verdú, 2008; Cornwell & Ackerly 2010). Por exemplo, a diversidade funcional foi fortemente correlacionada com a elevação e a posição da inclinação do terreno em um estudo realizado em uma floresta montanhosa no sudeste asiático (Zang et al. 2017). Ações antrópicas também têm sido relatadas como fatores que selecionam as espécies nas comunidades locais e influenciam a riqueza de espécies, os atributos funcionais e a diversidade funcional (Girão et al., 2007; Lopes et al., 2009; Mayfield et al. 2010; Tabarelli et al. 2010; Garcia et al. 2015).

A hipótese da filtragem ambiental (Keddy 1995; Weiher & Keddy 1999) prediz que o ambiente atua como filtros, selecionando progressivamente, a partir do banco regional de espécies, aquelas com atributos funcionais que permitam o seu estabelecimento nas condições locais, inicialmente, pelos fatores ambientais em larga escala, como o clima, a altitude e

temperatura, depois pelos fatores ambientais em escalas locais como propriedades do solo e inclinação, e por fim, pelas interações bióticas, determinando as abundâncias relativas das espécies.

A literatura indica que os filtros ambientais estruturam as assembleias em escalas regionais e que a exclusão competitiva estrutura as comunidades em escalas locais (Weiher & Keddy 1999; Pausas & Verdú 2008). No entanto, estudos vêm demonstrando que as comunidades podem ser resultado de ambos os processos (Loreau 2000; Shurin & Srivastava 2005), além de outros como dispersão e especiação. Por exemplo, já foi observado que padrões de diversidade funcional foram determinados por variáveis ambientais locais como abertura de dossel, topografia, fertilidade e composição do solo (Kraft et al 2008; Kraft et al. 2015).

No interior do Nordeste do Brasil ocorrem as florestas de Brejo de Altitude, essas florestas representam uma das fitofisionomias da Mata Atlântica e são caracterizadas por serem florestas úmidas serranas no domínio da Floresta Seca Caatinga (Andrade-Lima 1982). Essa condição biogeográfica pode proporcionar variações ambientais locais que devem influenciar a estrutura dessas comunidades. Considerando isso, o presente trabalho testou se as variáveis ambientais locais como altitude e fatores edáficos estariam atuando como potenciais filtros e influenciando a diversidade funcional de plantas em uma área de floresta de Brejo de Altitude.

Material e métodos

Área de estudo: o estudo foi realizado no Parque Estadual Mata do Pau Ferro, localizado no município de Areia/PB (6°58'12" S e 35°42'15" W), Nordeste do Brasil (Figura 1). A área encontra-se a uma altitude variável entre 400 e 650 m, temperatura média anual de 22° C, umidade relativa em torno de 85% e totais pluviométricos anuais em torno de 1400 mm (Mayo e Fevereiro 1982). Seguindo a classificação de Veloso et al. (1991), a vegetação da área é do tipo Floresta Ombrófila Aberta, a qual encontra-se localizada na Ecorregião do Planalto da Borborema e dentro do domínio da Caatinga. Essa configuração caracteriza essa área como floresta de Brejo de Altitude, uma das fitofisionomias da Mata Atlântica (Andrade-Lima 1982). O relevo é bastante acidentado, o microclima é úmido e os solos são profundos e medianamente férteis (Moreira 1989). Com 600 ha, o Parque Estadual Mata do Pau Ferro é um dos maiores fragmentos de Brejo de Altitude e destaca-se pela riqueza de espécies, na qual o número é bem maior do que a maioria das outras florestas já estudadas (Barbosa et al. 2004).

Desenho Amostral: foram montadas 30 parcelas permanentes (10 x 10 m), distribuídas aleatoriamente na área de estudo (Figura 1). As parcelas foram marcadas com o auxílio de Sistema de Posicionamento Global (GPS) para a localização das coordenadas.

Coleta de dados: Foram amostradas as espécies lenhosas do estrato arbustivo e arbóreo presentes nas unidades amostrais. A riqueza e a abundância de espécies foram registradas para todas as parcelas. Para cada espécie, foram coletadas folhas adultas e saudáveis ($n = 30$) de oito a dez indivíduos adultos ($CAP \geq 10\text{cm}$), de parcelas diferentes, as quais foram analisadas em laboratório para a coleta dos dados dos atributos. Durante as visitas de campo foram realizadas fotografias e coletados, sempre que possível, ramos férteis para identificação das espécies e confecção de exsicatas, as quais foram depositadas no Herbário Jaime Coelho de Moraes da Universidade Federal da Paraíba como espécimes-testemunho. Também foi utilizado binóculo (10 x 42) para visualização das espécies arbóreas, podão e tesoura de poda para a coleta das amostras. A metodologia de coleta e armazenamento das amostras seguiu o método proposto para cada atributo funcional, conforme a Tabela 1.

Atributos funcionais: As características selecionadas como atributos funcionais para a análise da diversidade funcional encontram-se resumidas na Tabela 1. A metodologia de mensuração dos atributos contínuos seguiu os protocolos de Cornelissen et al. (2003) e Smith (1954) e os atributos categóricos seguiram as classificações de Frankie *et al.* (1974) e Morellato et al. (1989; 2000).

a) Área foliar específica (*specific leaf area*, SLA).

Foram coletadas folhas jovens (presumivelmente maior produtividade fotossintetizante) completamente expandidas de plantas adultas, sem sintomas evidentes de patógeno ou de herbívora. Qualquer pecíolo ou raque (nervura central de uma folha composta) e todas as nervuras foram consideradas parte da folha para a medição da SLA padronizado. Foram recolhidas as seções de galhos inteiros com as folhas e estas foram removidas pouco antes da medição. Em campo, as amostras (galhos com folhas fixadas) foram enroladas em papel úmido e colocadas em sacos plásticos fechados, para que não houvesse desidratação das amostras. Cada folha (incluindo o pecíolo) foi cortada a partir da haste e suavemente seca antes da medição. A área projetada (como em uma foto) foi medida utilizando o ImageJ 1.5.0. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: taxa de crescimento relativo, taxa fotossintética máxima, investimento em defesa estrutural e vida útil foliar.

b) Tamanho da lâmina foliar (*size leaf*, SL)

O processo de coleta e armazenamento das folhas foi o mesmo ao relatado para área específica foliar. O tamanho da folha é bastante variável entre os indivíduos de uma espécie, e, portanto, foram coletadas 30 folhas, sendo três folhas aleatórias e bem iluminadas de cada um dos indivíduos. As lâminas foliares individuais (ou folíolos, no caso de folhas compostas) foram medidas. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: equilíbrio hídrico, captação de luz e trocas gasosas (Cornellissen et al. 2003).

c) Densidade Básica da Madeira (*Basic wood density*, BWD)

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de máximo teor de umidade, onde determinaremos a massa saturada e a massa seca do galho, aplicando a densidade da “substância da madeira” que é dada pela constante 1.53 g.cm^{-3} (Smith 1954; Foelkel et al. 1971). A densidade de galhos parece ser central em relação às defesas contra patógenos, herbívoros ou danos físicos por fatores abióticos. Foi medido a massa do galho fresco, posteriormente o galho foi colocado em estufa para secar a 60°C durante 72h e, em seguida, foi mensurada sua massa. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: longevidade, resistência a danos (Cornellissen et al. 2003).

d) Altura máxima (*height*, H)

A altura da planta foi quantificada pela distância mais curta entre o nível do solo da planta e o limite superior dos principais tecidos fotossintéticos, expresso em metros, através de um medidor de distância a laser (trena digital). A altura registrada correspondeu ao topo do dossel geral da planta, descontando quaisquer ramos excepcionais. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: potencial competitivo, crescimento entre perturbação, tolerância ao estresse ambiental, biomassa acima do solo, profundidade da raiz e espalhamento lateral (Cornellissen et al. 2003).

e) Conteúdo de matéria seca foliar (*leaf dry matter content*, LDMC)

As folhas foram cortadas a partir do ramo e suavemente secas com papel toalha para remover qualquer vestígio de água da superfície, em seguida foi medida a massa fresca saturada de cada folha. Após, cada amostra foi seca em estufa à 60°C durante 72h e, posteriormente, foi medida a sua respectiva massa seca. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: vida útil foliar, taxa de crescimento relativo, resistência a danos, conteúdo de água, e produtividade (Cornellissen et al. 2003).

f) Área basal (*basal área*, BA)

A área basal foi dada em metros quadrado a partir da superfície da secção transversal ao nível de 1,3m do solo (circunferência a nível do peito, CAP), obtido no indivíduo amostrado, através da fórmula $BA = \pi.d^2/4$. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem: potencial competitivo, taxa de crescimento relativo e resistência a danos (Cornellissen et al. 2003).

g) Divisão do Limbo (*leaf blade division*, LBD)

Os indivíduos foram classificados de acordo com a divisão do limbo foliar em: indivíduos com folhas simples, quando não havia divisão total do limbo, e indivíduos de folhas compostas, quando havia divisão total do limbo foliar. Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem equilíbrio hídrico, captação de luz e trocas gasosas (Morellato et al. 2000).

h) Decíduidade (Deciduity, DEC)

A longevidade foliar dos indivíduos em relação à sazonalidade foi classificada em: sempre verdes (quando as folhas permaneceram verdes durante as mudanças sazonais), semidecíduas (quando perderam parte das folhas durante as mudanças sazonais) e decíduas (quando perderam todas as folhas sazonalmente). Processos fisiológicos e ecossistêmicos relacionados a esse atributo incluem equilíbrio hídrico, captação de luz e trocas gasosas (Morellato et al. 2000).

Variáveis ambientais: Para cada parcela, registramos as seguintes variáveis ambientais: altitude, inclinação do terreno, física, fertilidade e química do solo, abertura de dossel e distância da parcela para a paisagem perturbada. A altitude foi registrada utilizando-se barômetro com altímetro digital, a inclinação através de inclinômetro digital e a distância da paisagem perturbada à parcela, utilizando-se um sistema de posicionamento global (GPS). Os dados de altitude foram mensurados de cada extremidade e de um ponto central da parcela, depois foi realizada uma média desses pontos. A inclinação do terreno foi realizada a partir da distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da parcela. A abertura de dossel foi realizada através da média do índice de cobertura foliar de cada extremidade e de um ponto central da parcela, através das fotografias hemisféricas dadas pelo Plant Canopy Imager modelo CI 110 com lente de 8 mm, olho de peixe CID Bio-Science, Inc. As amostras de solo foram coletadas recolhendo-se cinco subamostras com 10 cm de diâmetro e 25 cm de profundidade do solo, uma de cada extremidade da parcela e uma central. As subamostras

foram misturadas e do montante foi retirada uma amostra de 500 g (Silva 2009; Embrapa 2011). Selecionamos como descritores para determinar a física do solo: a densidade do solo e a porosidade total do solo. Como descritores da química do solo, selecionamos: PH, quantidade de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$), soma das bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC). Como descritores da fertilidade, utilizamos o teor de matéria orgânica (MO) e o valor de saturação de bases (V%). Este último é recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), para classificar a fertilidade dos solos em: solos eutróficos, com alta fertilidade ($V > 50\%$) e solos distróficos com média à baixa fertilidade ($V < 50\%$), dada pela seguinte fórmula:

$$V (\%) = 100 \times S / T$$

Onde:

$$S = Ca^{++} + Mg^{++} + K^+ + Na^+ - \text{Soma de cátions trocáveis (cmolc/kg)}$$

$$T = S + (H^+ + Al^{+++}) - \text{Capacidade de troca catiônica (cmolc/kg)}.$$

Para mais detalhes, ver Silva (2009) e Embrapa (2011).

As análises de física, química e fertilidade das amostras de solo foram realizadas no Laboratório de Física e Química do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba.

Cálculo da diversidade funcional: Para determinar a diversidade funcional foi utilizado o índice Functional Diversity (FD) proposto por Petchey & Gaston (2002; 2006). Esse índice é capaz de medir a extensão da complementariedade dos valores dos atributos funcionais entre espécies, não viola os critérios da taxa de monotonicidade e tem um elevado poder para detectar as regras de montagem, como similaridade limitante e filtragem ambiental, principalmente para comunidades com mais de 30 espécies (Petchey & Gaston 2002, 2006; Mouchet et al. 2010). Inicialmente, foi testado se os atributos contínuos apresentavam forte correlação entre si, para evitar a inclusão de atributos redundantes na análise (Petchey & Gaston 2002). O índice FD foi calculado através das seguintes etapas: (1) construiu-se uma matriz com espécies nas linhas, os atributos funcionais nas colunas e as médias dos valores dos atributos nas entradas; (2) depois, padronizaram-se os valores contínuos da matriz de atributos funcionais para média igual a zero e variância igual a um, convertendo-se a matriz de atributos funcionais em uma matriz de distância pelo método de Gower (Legendre & Legendre 1998), uma vez que os dados incluíram variáveis contínuas e categóricas; (3) para construir o dendrograma, foi realizado o agrupamento da matriz de distância pela média de grupos (UPGMA) como sugerido por Petchey & Gaston (2007); (4) depois, foi calculado o

comprimento total dos ramos do dendrograma necessários para conectar todas as espécies de uma dada parcela para inferir o valor da diversidade funcional. Para realizar o cálculo da FD, foram utilizados os pacotes ‘FD’, ‘cluster’ e ‘vegan’. Para testar se o dendrograma correspondeu à matriz de distância apropriadamente, calculou-se o coeficiente de correlação cofenética (Petchey & Gaston 2002, 2006). As análises foram realizadas no ambiente computacional R (version 3.2.1; R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>).

Análises estatísticas: Inicialmente, foi realizada a estatística descritiva de cada atributo funcional contínuo e a porcentagem dos atributos categóricos. Foi testado se as variáveis ambientais selecionadas apresentavam forte correlação entre si através de uma matriz de correlação, para evitar a inclusão de variáveis redundantes na análise. Foi realizada uma análise inicial de regressão linear múltipla (Jongman et al. 1995) dos valores do índice FD (variável-dependente) em função das variáveis ambientais selecionadas após o teste de correlação. Em seguida, foi realizada uma análise Stepwise utilizando o Critério de Informação de Akaike (“Akaike’s information criterion”, Johnson & Omland 2004) para selecionar o melhor modelo dentre as variáveis testadas. Utilizando-se as variáveis selecionadas no melhor modelo, realizou-se novamente a análise de regressão múltipla para verificar como esse conjunto de variáveis ambientais atuavam como preditoras da diversidade funcional. Foram testadas todas as premissas da análise, isto é, aquelas que os resíduos se distribuem normalmente, que os erros são independentes e que as variâncias foram homogêneas (Sheather 2009). Foram usados os pacotes “vegan” (Oksanen et al. 2012) e “Mass” para o ambiente computacional R (version 3.2.1; R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>).

Resultados

Foram amostrados 870 indivíduos pertencentes a 31 espécies em 18 famílias (Anexo 1). As famílias que apresentaram o maior número de espécies foram Fabaceae (04 espécies), Erythroxylaceae (03 espécies) e Sapindaceae (03 espécies). As espécies mais abundantes foram *Erythroxylum simonis*, com 309 indivíduos, registrada em 28 parcelas e representando 31% dos indivíduos amostrados, seguida por *Thyrsodium spruceanum*, com 57 indivíduos amostrados. A espécie com o menor número de indivíduos foi *Pterogyne nitens*, com apenas oito indivíduos presentes apenas em uma unidade amostral.

A comunidade apresentou predominância de espécies com folhas simples (55%), seguida de espécies com folhas compostas (42%) e folhas bicompostas (3%). Do total de espécies registradas, 67,7% são perenifólias, 19,3% são semidecíduas e 13% são decíduas. A estatística descritiva dos atributos contínuos pode ser observada na (Tabela 2).

Após o teste de correlação permaneceram as seguintes variáveis ambientais, com as seguintes amplitudes: inclinação (1.4° - 33°), altitude (502 m - 644 m), distância da paisagem perturbada (31.7 m - 600 m), abertura de dossel (1.10° - 2.25°), densidade do solo (0.93 g/cm^3 - 1.48 g/cm^3), porosidade total do solo (42 % - 64 %), fósforo (8.5 mg/cm^3 - 1.1 mg/cm^3), potássio (443.7 mg/cm^3 - 23.5 mg/cm^3), sódio (0.43 mg/cm^3 - 0.02 mg/cm^3), alumínio (2.25 mg/cm^3 - 0.00 mg/cm^3), cálcio (9.80 mg/cm^3 - 0.27 mg/cm^3), CTC (32.59 cmol.dm^3 - 4.94 cmol.dm^3), saturação de bases -V% (5.9% - 59.7%) e matéria orgânica (65.78 g.kg^{-1} - 12.02 g.kg^{-1}).

A correlação cofenética foi de 0.81, indicando que as estruturas das matrizes de distância foram preservadas nos dendrogramas. A análise de regressão múltipla inicial indicou que, pelo menos, três das variáveis ambientais estariam influenciando o valor do índice de diversidade funcional ($F=3.582$; $R^2=0.55$; $p=0.009$).

O melhor modelo (AIC= - 43.4) (Tabela 3), testado na regressão múltipla final, indicou que a diversidade funcional variou significativamente em função da altitude e da densidade e porosidade total do solo, do teor de potássio no solo, da saturação das bases e do teor de matéria orgânica, sugerindo que estas variáveis ambientais podem estar direcionando os valores de diversidade funcional na área estudada ($F= 9.38$; $R^2= 0.634$; $p<0,001$; Tabela 4). Os coeficientes parciais da altitude, da densidade, da porosidade e da quantidade de potássio do solo foram significativamente diferentes de zero, aumentando, das áreas mais baixas para as áreas mais elevadas, de solos variando do denso ao poroso com a presença de potássio, respectivamente. O coeficiente parcial da matéria orgânica foi significativamente diferente de zero, reduzindo das áreas com maior para menor teor de matéria orgânica. Apesar de variar significativamente pouco com a diversidade funcional, o coeficiente parcial da distância das parcelas para a paisagem perturbada indicou que a diversidade funcional tende a aumentar das áreas perturbadas para o interior do fragmento.

Discussão

Embora a variação altitudinal, na área estudada, seja de apenas 140 m, os resultados sugerem um aumento da diversidade funcional de plantas das áreas de menor para maior altitude. Isso pode estar associado a formação de microclimas diferenciados ao longo do gradiente dessa área, que em sua maior elevação, há condições microclimáticas que permitem

a presença de uma floresta úmida e à medida que reduz a altitude, essas condições tornam-se mais propícias a uma vegetação de floresta seca, na qual há uma maior convergência de espécies com atributos funcionais semelhantes, adaptados às condições ambientais, como por exemplo, a concentração de espécies semidecíduas e decíduas. O agrupamento de determinados atributos funcionais, como folhas perenes nas áreas mais elevadas, ocorre, provavelmente, pela predominância de espécies e indivíduos das famílias Anacardiaceae, Erythroxylaceae, Rubiaceae e Moraceae, nessas áreas, as quais são famílias comuns em florestas úmidas. A diversidade funcional local, medida a partir de atributos funcionais associados à morfofisiologia e ecologia das plantas, deve ser direcionada por variáveis ambientais associadas a altitude, composição e características do solo.

A altitude já foi registrada como uma variável ambiental capaz de filtrar espécies, de caracterizar tipos vegetacionais a níveis regional e local (Zhang et al. 2017) e determinar padrões de variação da diversidade, especialmente, ao longo de gradientes de altitude em montanhas (Austrheim 2002; Pavoine & Bonsall 2011; Perronne et al. 2014). De acordo com Zhang et al. (2013, 2017), comunidades florestais diferem em composição, diversidade, estrutura, função e ambiente das espécies de acordo com a altitude, uma vez que diferentes elevações apresentam diferentes condições ambientais.

Variações nos componentes químicos e físicos do solo são capazes de afetar padrões de diversidade nas comunidades de plantas e que essas variáveis podem estar associadas (Oliveira-Filho et al. 1997; Cielo-Filho et al. 2007). Por exemplo, em uma área de floresta montana no sudeste do Brasil, a altitude promoveu diferentes condições de umidade, química e física do solo nos diferentes habitats de uma floresta situada sobre terrenos acidentados ou montanhosos (Oliveira-Filho et al. 1997).

A densidade do solo influenciou positivamente a diversidade funcional, isso pode ter ocorrido devido a algumas espécies que podem, mesmo em solos mais densos, desenvolver o sistema radicular em função suas especificidades (Rosolem et al. 2002). Essas diferenças auxiliam na seleção de espécies capazes de crescer em condições adversas favorecendo assim o aumento da diversidade funcional.

A diversidade funcional na área estudada variou significativamente em relação a porosidade do solo, supostamente pelo fato da porosidade favorecer o crescimento da maioria das espécies em uma comunidade de plantas. Várias pesquisas mostraram que a baixa porosidade do solo é um dos fatores de estresse mais importantes, uma vez que pode controlar o crescimento das plantas (Materechera & Mloza- Banda, 1997; Zou et al., 2001). Os resultados também demonstraram que a diversidade funcional se relacionou significativamente com o teor de nitrogênio no solo, embora estudos tenham demonstrado que

altas concentrações de N levam a perda da diversidade de plantas (Bobbink et al., 1998; Gilliam, 2006; Kleijn et al. 2008), algumas espécies de rápido crescimento são adaptadas a alta disponibilidade desse componente (Suding et al. 2005), o que poderia levar a uma maior diversidade funcional.

Na área estudada, a relação negativa da matéria orgânica com a diversidade funcional pode estar associada à algumas características das florestas úmidas onde o acúmulo da matéria orgânica proporcionado pela enorme quantidade de serapilheira favorecem algumas espécies.

A coexistência de espécies é ampliada pela complementaridade funcional, quanto mais distintos os atributos das espécies, maior a diversidade (Petchey 2003)., como por exemplo, a predominância de espécies arbóreas, formando um contínuo de floresta, que limita a entrada de luz, os solos rasos, úmidos e cobertos por serrapilheira (Veloso et al. 1991; Ivanauskas & Assis 2012), que contribuem com uma elevada concentração de matéria orgânica e que podem tornar alguns locais mais instáveis, fazendo com que apenas algumas espécies vegetais consigam se estabelecer nessas áreas ou que haja uma convergência de espécies com atributos que se adaptem a essas condições locais, ou seja, um solo rico em matéria orgânica pode favorecer espécies dominantes e espécies com atributos funcionalmente similares como altura máxima, densidade básica da madeira e conteúdo de matéria seca foliar, reduzindo assim, a diversidade funcional (Silva et al. 2013).

Estudos realizados em Floresta Atlântica mostraram que, sob diferentes fontes de perturbação, os atributos funcionais de espécies tolerantes à sombra ocorriam com menor frequência (Oliveira et al. 2004; Santos et al. 2008). É preciso também levar em consideração que impactos humanos, em particular as áreas de baixa altitude, também influenciam negativamente a riqueza e a composição de comunidades (Lopes et al. 2012). Pode-se observar que a influência da perturbação antrópica sobre a diversidade funcional tem mostrado que as comunidades se reorganizam mantendo maior concentração de atributos relacionados à tolerância às novas condições ambientais, registrando diferenças significativas de atributos entre as unidades amostrais de fragmentos e interiores de floresta, ocorrendo a redução da diversidade funcional nos fragmentos.

Na área estudada constatou-se que fatores abióticos locais como altitude e aqueles associados aos componentes físico e químico do solo tais como densidade, porosidade, matéria orgânica, atuaram como filtros abióticos, influenciando a diversidade funcional nessa comunidade de floresta úmida.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), ao Instituto Federal da Paraíba (IFPB) e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade (PPGBio/CCA/UFPB) pelo suporte logístico e financeiro no desenvolvimento do trabalho. Aos docentes e discentes do PPGBio e aos colegas do Laboratório de Ecologia e Reprodução Vegetal (LABERV/DCB/CCA/UFPB) pelo suporte nas atividades laboratoriais e de campo. Agradecemos ao biólogo Pedro Gadelha Neto (UFPB) pelo auxílio nas atividades de campo e na identificação das espécies e ao Dr. Hélder Araújo (UFPB) pelo auxílio no ArcGis.

Referências Bibliográficas

Albert CH, De Bello F, Boulangé TI, Pellet G, Lavorel S, Thuiller, W (2012) On the importance of intraspecific variability for the quantification of functional diversity. *Oikos* 121: 116-126.

Allen SE (1989) 'Chemical Analysis of Ecological Material (2nd Edn). Blackwell: Oxford.

Andrade-Lima D (1982). Present-day forest refuges in Northeastern Brazil. Pp. 245-251, in: Prance, G.T. (Ed.). *Biological diversification in the tropics*. Columbia University Press, New York.

APG (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1–20

Asefa M, Cao M, Zhang G, Ci X, Li J, Yang J (2017) Environmental filtering structures tree functional traits combination and lineages across space in tropical tree assemblages. *Scientific Reports*.

Austrheim G (2002) Plant diversity patterns in semi-natural grasslands along an elevational gradient in southern Norway *Plant Ecology* Volume 161, Issue 2, 193 -205.

Batalha MA, Silva IA, Cianciaruso MV, França H, Carvalho HA (2011) Phylogeny, Traits, Environment, & Space In Cerrado Plant Communities At Emas National Park (Brazil). *Flora*.

Begon M, Harper JL, Townsend CR (1996). *Ecology: Individuals, Populations & Communities*. 3rd Ed. Blackwell Science, Oxford, UK.

Bobbink, R., Hornung, M., Roelofs, J.G.M., 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *J. Ecol.* 86, 717–738

Butterfield BJ, Suding KN (2013) Single-trait functional indices outperform multi-trait indices in linking environmental gradients & ecosystem services in a complex landscape. *Journal of Ecology*, 101: 9-17.

Cianciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009). Diversidades filogenética e funcional : novas abordagens para a Ecologia de comunidades Diversidades filogenética e funcional : novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotrop.* 9, 0–11

Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Díaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, Ter Steege H, Morgan HD, Van Der Heijden MGA, Pausas JG, Poorter, H (2003) Handbook Of Protocols For Standardised & Easy Measurement Of Plant Functional Traits Worldwide. *Australian Journal of Botany*, V. 51, P. 335-380.

Cornwell WK, Schwilk DW, Ackerly DD (2006) A Trait-Based Test for Habitat Filtering: Convex Hull Volume. *Ecology*, V. 87, P. 1465-1471

De Bello F, Price JN, Munkmuller T, Liira J, Zobel M, Thuiller, W, Gerhold P, Gotzenberguer L, Lavergne S, Leps J, Zoebel K, Partel M (2012) Functional Species Pool Framework to Test for Biotic Effects on Community Assembly. *Ecology*, 93, 2263–2273

Diaz S, Cabido M (2001). Vive La Différence: Plant Functional Diversity Matters to Ecosystem Processes. *Trends in Ecology & Evolution*, V. 16, N. 11, P. 646-655

Diaz S, Lavorel S, De Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson TM (2007) Incorporating Plant Functional Diversity Effects In Ecosystem Service Assessments. *Proceedings of the National Academy of Science*, V.104, N. 52, P. 20684-20689.

Diaz S, Lavorel S, Chapin FS III, Tecco PA, Gurvich DE, Grigulis K Functional Diversity – At the Crossroads between Ecosystem Functioning & Environmental Filters. In: Canadell JG,

Pataki D, Johnson JB, Omland KS (2004) Model Selection in Ecology & Evolution. *Trends Ecol. Evol.* 19: 101–108.

El Moujahid L, Le Roux X, Michalet S, Bellvert F, Weigelt A, Poly F (2017) Effect of plant diversity on the diversity of soil organic compounds. *PLoS ONE* 12(2): e0170494.

Embrapa (2011) Manual de métodos de análise do solo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro

Frankie GW, Baker HG, Opler PA (1974). Comparative Phenological Studies of Trees in Tropical Wet & Dry Forests in the Lowlands Of Costa Rica. *Journal of Ecology* 62:881-913.

Fetene M, Assefa Y, Gashaw M, Woldu Z, Beck E (2006). Diversity of afroalpine vegetation & ecology of treeline species in the Bale Mountains, Ethiopia, & the influence of free. In Spehn, E. M., Liberman, M. & Korner, C. ed. *Land Use Change & Mountain Biodiversity*, CRC PRESS, New York: 25-38,.

Garcia LC, Cianciaruso, MV, Ribeiro DB, dos Santos, FAM, Rodrigues RR (2015). Flower functional trait responses to restoration time. *Applied Vegetation Science* 18: 402–412

Gilliam, F.S., 2006. Response of the herbaceous layer of forest ecosystems to excess nitrogen deposition. *J. Ecol.* 94, 1176–1191.

Girão LC, Lopes AV, Tabarelli M, Bruna EM (2007). Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in a fragmented Atlantic forest landscape. *PloS One* 2: 1–12

Ivanauskas NM, De Assis MC (2012). Formações florestais brasileiras. In Martins, S.V. (ed.), *Ecologia de florestas tropicais do Brasil*, pp. 107–140. Editora UFV, Viçosa, MG.

Johnson J, Omland K (2004). Model selection in ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 101–108.

Jongman RHG, Ter Braak CJF, Van Tongeren OFR (1995). *Data Analysis in Community & Landscape Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge.

Kazakou E, Fried G, Richarte J, Gimenez O, Violle C, Metay A (2016). A plant trait-based response-and-effect framework to assess vineyard inter-row soil management. *Botany Letters*.

Kleijn, D., Bekker, R.M., Bobbink, R., De Graaf, M.C.C., Roelofs, J.G.M., 2008. Search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. *J. Appl. Ecol.* 45, 680–687

Kraft NJB, Valencia R, Ackerly DD (2008). Functional Traits & Niche-Based Tree Community Assembly in an Amazonian Forest. *Science*, V. 322, P. 580-582.

Kraft NJB. et al. (2015). Community assembly, coexistence, and the environmental filtering metaphor. *Functional Ecology*, v. 29, p. 592–599.

Keddy PA (1992). Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science*, v. 3, n. 2, p. 157–164.

Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes TDA (1997). Plant Functional Classifications: From General Groups to Specific Groups Based On Response to Disturbance. *Trends in Ecology & Evolution*, V. 12, N. 12, P. 474-478.

Legendre P, Legendre L (1998). *Numerical Ecology*. Elsevier, Amsterdam.

Loreau M, Hector A (2001) Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412: 72–76.

Loiola P, Scherer-Lorenzen M, Batalha M (2015). The role of environmental filters and functional traits in predicting the root biomass and productivity in savannas and tropical seasonal forests. *Forest Ecology and Management*. 342. 49-55. 10.1016/j.foreco.2015.01.014.

Lopes AV, Girão LC, Santos BA, Peres CA, Tabarelli M (2009). Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic forest fragments. *Biological Conservation* 142: 1154–1165.

Lopes SF, Schiavini IS, Vale V, Prado JA, Arantes CS (2012) Historical review of studies in seasonal semideciduous forests in Brazil: a perspective for conservation Braz. Geogr. J. Geosci. Humanit. Res. Medium Volume 2, Pages 21-40

Loreau M (2000). Biodiversity and ecosystem functioning: recent theoretical advances. Oikos.

Materechera, S.A.; Mloza-Banda, H.R. (1997) Soil penetration resistance, root growth and yield of maize as influenced by tillage system on ridges in Malawi. Soil and Tillage Research, v.41, p.13-24.

Mayfield MM et al. (2010) What does species richness tell us about functional trait diversity? Predictions and evidence for responses of species and functional trait diversity to land-use change. Global Ecology and Biogeography, v. 19, n. 4, p. 423–431,

Mayo SJ, Feveireiro, VPB (1982). Mata do Pau-Ferro: A Pilot Study of the Brejo Forest. Royal Botanic Gardens, Kew, London.

Moreira ER (1989). Mesorregiões e Microrregiões da Paraíba: Delimitação e Caracterização. Governo da Paraíba, João Pessoa.

Morellato LPC, Rodrigues RR, Leitão Filho HF, Joly CA (1989). Estudo Comparativo Da Fenologia de Espécies Arbóreas de Floresta de Altitude e Floresta Mesófila Semi-Decídua na Serra do Japí, Jundiá, São Paulo. Revista Brasileira de Botânica 12:85-98.

Morellato LPC, Talora DC, Takahasi A, Bencke CSC, Romera EC, Zipparro V (2000) Phenology of Atlantic Rain Forest Trees: A Comparative Study. Biotropica 32:811-823.

Mouchet MA, Villéger S, Mason NWH, Mouillot D (2010) Functional diversity measures: An overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. Functional Ecology 24: 867–876

Oksanen J, Blanchett FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Steven MHM, Wagner H (2012). *Vegan: Community Ecology Package*. R Package 2.0.3 Downloaded From [Http://Cran.R-Project.Org/Package=Vegan](http://Cran.R-Project.Org/Package=Vegan) On 9 May.

Oliveira Filho AT, Fontes MAL (2000). Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. *Biotropica* 32:793-810.

Oliveira Filho AT, Budke JC, Jarenkow JA, Eisenlohr PV, Neves DRM (2013). Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. *Journal of Plant Ecology*.

Pausas JG, Verdú M (2008). Fire Reduces Morphospace Occupation in Plant Communities. *Ecology* 89: 2181-2186.

Petchey OL, Gaston KJ (2002). Functional Diversity (FD), Species Richness & Community Composition. *Ecology Letters*, V. 5, P. 402-411.

Petchey OL, Hector A, Gaston KJ (2004). How Do Different Measures Of Functional Diversity Perform? *Ecology*, V. 85, N. 3, P. 847-857.

Petchey OL, Gaston KJ (2006). Functional Diversity: Back to Basics & Looking Forward. *Ecol. Lett.* 9(6):741-758.

Podani J, Schmera D (2006). On dendrogram-based measures of functional diversity. *Oikos*, 115, 179–185.

R Development Core Team. (2012). *R: a language & environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Ribeiro MC, Metzger, JP, Martensen, AC, Ponzoni F, Hirota MM (2009). Brazilian Atlantic Forest: How Much Is Left & How Is the Remaining Forest Distributed? Implications for Conservation. *Biological Conservation* 142, 1141–1153.

Rosolem CA Foloni JSS, Tiritan CS (2002) Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.*, 65:109-115, SAS Institut.

Sheather SA (2009). *Modern Approach to Regression With R*. Springer Science & Business Media.

Siefert A (2012). Incorporating intraspecific variation in tests of trait-based community assembly. *Oecologia* 170: 767–775.

Silva DM, Batalha MA, Cianciaruso MV (2013). Influence of fire history and soil properties on plant species richness and functional diversity in a neotropical savanna. *Acta Bot. Bras.* [online]., vol.27, n.3, pp.490-497

Spasojevic MJ, Copeland S, Suding KN (2014). Using functional diversity patterns to explore metacommunity dynamics: a framework for understanding local & regional influences on community structure. *Ecography*, 37: 939- 949.

Shurin JB, Srivastava D (2005). New perspectives on local and regional diversity: Beyond saturation. *Metacommunities: Spatial Dynamics and Ecological Communities*. 399-417.

Suding, K.N., Collins, S.L., Gough, L., et al., 2005. Functional- and abundance-based mechanisms explain diversity loss due to N fertilization. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 102, 4387–4392.

Tabarelli M. et al. (2010). Prospects for Biodiversity Conservation in the Atlantic Forest: Lessons from Aging Human-Modified Landscapes. *Biological Conservation*.

Tabarelli M (2001) Integridade e Ameaças aos Brejos da Paraíba e Pernambuco. In: Tabarelli, M. (Ed.) *Plano de Conservação dos Brejos de Paraíba e Pernambuco. Relatório Técnico Do Subprojeto Recuperação e Manejo dos Ecossistemas Naturais de Brejos de Altitude de Pernambuco e Paraíba*. Projeto Probio, Ministério Do Meio Ambiente. Recife. Pp. 82-91,.

Tilman D (2001) *Functional Diversity Encyclopedia of Biodiversity*.

Webb CO, Ackerly DD, Mcpeck MA, Donoghuer MJ (2002). Phylogenies & Community Ecology. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33, 475–505,.

Weiher E, Clarke P, Keddy PA (1998). Community assembly rules, morphological dispersion, of plant species the coexistence. *Oikos*, v. 81, n. 2, p. 309–322.

Willig MR, Kaufman DM, Stevens RD (2003). Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. / *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34:273-309.

Wright JP, Naeem S, Hector A, Lehman C, Reich PB, Schmid B, et al. (2006). Conventional functional classification schemes underestimate the relationship with ecosystem functioning. *Ecology Letters*. 9: 111–120

Zhang JT, Bai X, Shao D (2017). Functional Diversity And Its Attribute Factors In The Yunmeng Mountain National Forest Park In Beijing, China. CERNE.

Zou CB, et al. (2001) Effects of soil air-filled porosity, soil matric potential and soil strength on primary root growth of radiata pine seedlings. *Plant and Soil* 236(1):105-115.

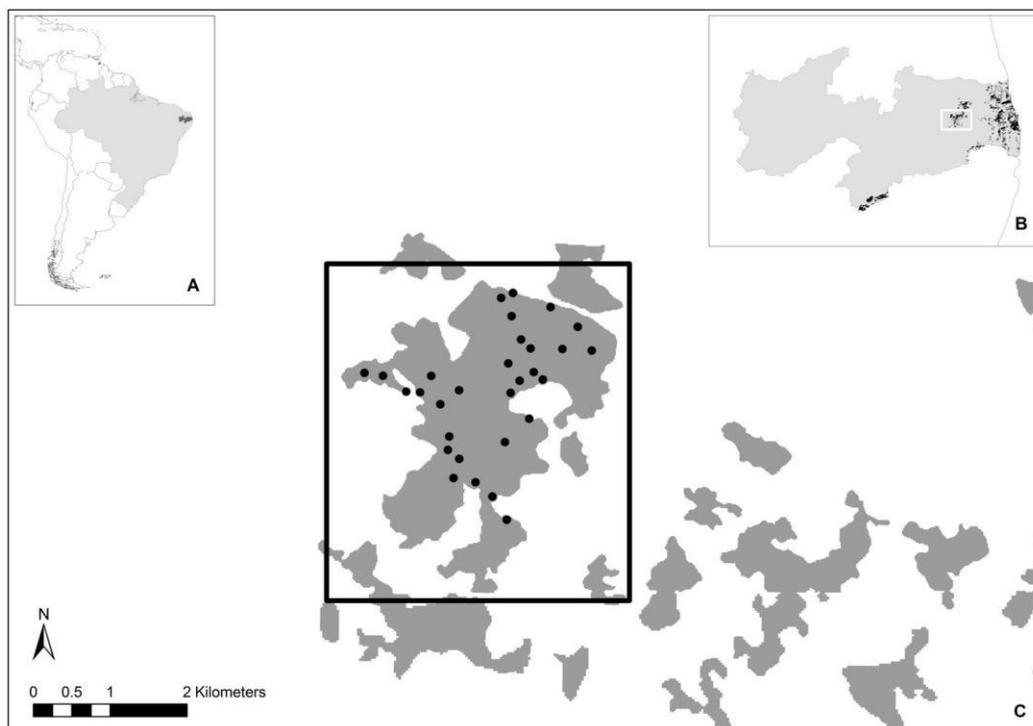


Fig. 1. Localização do Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Nordeste, Brasil. (A) Distribuição dos remanescentes de floresta Atlântica no estado da Paraíba (cinza escuro), destacando os remanescentes de floresta de Brejo de Altitude na Paraíba. (B) Fragmentos de floresta de Brejo de Altitude, destacando as unidades amostrais (círculos escuros) no Parque Estadual Mata do Pau Ferro ($6^{\circ}58'12''$ S & $35^{\circ}42'15''$ W) (C). Mapa em ArcGis Desktop 10.1.

Tabela 1. Atributos funcionais utilizados no cálculo da diversidade funcional.

| Atributos contínuos | | |
|---|---|---|
| Atributo | Descrição/ unidade | Amostras |
| Área foliar específica (SLA) ¹ | Área foliar dividida pela massa seca (cm ² .g ⁻¹) | 3 folhas/indivíduo |
| Tamanho da lâmina foliar (LS) ¹ | Área do limbo foliar (cm ²) | 3 folhas/indivíduo |
| Densidade básica da madeira (BWD) ² | TU (%) + 1/ 1,53 (g.cm ⁻³). | 1 seção com pelo menos 3 cm de diâmetro do ramo |
| Altura máxima (H) ¹ | Em metros | Medida única por indivíduo |
| Conteúdo de matéria seca foliar (LDMC) ¹ | Massa úmida em função da massa seca (mg.g ⁻¹) | 3 folhas/indivíduo |
| Área basal (BA) ¹ | Superfície da seção transversal ao nível do peito (cm ²) | Medida única por indivíduo |
| Atributos categóricos | | |
| Atributo | Descrição das classes | Amostras |
| Divisão do Limbo (LBD) ³ | Folhas simples: sem divisão total do limbo Folhas compostas: com divisão total do limbo em folíolos. | Observação de 10 indivíduos |
| Longevidade foliar (LP) ³ | Perenifólia, semidecídua e decídua | Observação de 10 indivíduos |

¹Cornelissen et al. (2003)²Smith (1954)³Morellato et al. (1989, 2000)³Frankie *et al.* (1974)

Tabela 2. Estatística descritiva dos atributos funcionais contínuos. Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Nordeste, Brasil. (ALT) Altura, AB (Área basal), SLA (Área foliar específica), LS (Tamanho foliar), BWD (Densidade básica da madeira) e LDMC (Conteúdo de matéria seca foliar).

| Estatística descritiva | ALT (m) | AB (cm ²) | SLA (cm ² .g ¹) | LS (cm ²) | DBM (g.cm ³) | LDMC (mg.g ¹) |
|------------------------|------------|--------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Mínimo | 3.98 | 16.35 | 79.84 | 6.90 | 2.37 | 0.28 |
| Máximo | 15.52 | 140.24 | 189.97 | 1811.03 | 4.02 | 0.91 |
| Amplitude Total | 11.54 | 138.60 | 110.13 | 1804.13 | 1.65 | 0.63 |
| Mediana | 7.60 | 123.09 | 120.45 | 63.61 | 3.06 | 0.46 |
| Média Aritmética | 7.78 | 32.29 | 124.37 | 190.57 | 3.09 | 0.45 |
| Variância | 6.65 | 16702 | 835.16 | 1288463 | 0.16 | 0.01 |
| Desvio Padrão | 2.58 | 4.086 | 28.90 | 358.95 | 0.40 | 0.11 |

Tabela 3. Modelos da análise stepwise dos valores de diversidade funcional em função das variáveis ambientais. Diversidade funcional (FD), Abertura de dossel (AD), Fertilidade do Solo (FS), Altitude (AL), Inclinação do Terreno (IN), Distância da Paisagem Perturbada (DPP), Densidade do Solo (DS), Porosidade (Po), Fósforo (P), Potássio (K), Sódio (Na), Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Matéria Orgânica (MO).

| Modelos | AIC |
|--|------------|
| FD + AD + FS + AL + IN + DPP + DS + Po + P + K + Na + Al + Ca + CTC + MO | -34.34 |
| FD + AD + AL + IN + DPP + DS + Po + P + K + Na + Al + Ca + CTC + MO | -36.33 |
| FD + AD + AL + IN + DPP + DS + Po + P + K + Al + Ca + CTC + MO | -38.19 |
| FD + AD + AL + DPP + DS + Po + P + K + Al + Ca + CTC + MO | -39.93 |
| FD + AL + DPP + DS + Po + P + K + Al + Ca + CTC + MO | - 41.61 |
| FD + AL + DPP + DS + Po + P + K + Ca + CTC + MO | - 42.30 |
| FD + AL + DPP + DS + Po + P + K + CTC + MO | - 43.18 |
| FD + AL + DPP + DS + Po + K + CTC + MO | - 43.39 |
| FD + AL + DPP + DS + Po + K + MO | - 43.40 |

Tabela 4. Coeficientes parciais da regressão múltipla final entre o índice de diversidade funcional (FD) e as variáveis ambientais selecionadas no melhor modelo. F-statistic: 9.38, R^2 : 0.634, $p < 0.001$

| Variáveis ambientais | FD | |
|----------------------------------|----------|----------|
| | <i>t</i> | <i>p</i> |
| Altitude | 6.789 | <0.001 |
| Densidade do solo | 4.304 | <0.001 |
| Distância da paisagem perturbada | 1.852 | 0.076873 |
| Porosidade do solo | 5.104 | <0.001 |
| Potássio (K) | 2.695 | 0.012926 |
| Matéria orgânica (MO) | - 4.025 | <0.001 |

ANEXOS

Tabela 1 Lista de espécies amostradas no Parque Estadual Mata do Pau Ferro, Nordeste, Brasil (6°58'12'' S, 35°42'15'' W). Identificadas de acordo com APG IV (2016).

FAMÍLIA/ESPÉCIES

ANACARDIACEAE

Tapirira guianensis Aubl

Thyrsodium spruceanum Aubl

APOCYNACEAE

Himatanthus bracteatus A. DC.

ARALIACEAE

Schefflera morototoni Aubl

BIGNONIACEAE

Handroanthus serratifolius (Vahl) S.Grose

BURSERACEAE

Protium heptaphyllum Aubl

ERYTHROXYLACEAE

Erythroxylum citrifolium A.St.-Hil.

Erythroxylum decidum A.St.-Hil

Erythroxylum pauferrense Plowman

Erythroxylum simonis Plowman

FABACEAE

Bowdichia virgilioides Kunt

Hymenaea courbaril L

Lonchocarpus araripense (Poir.) Kunth ex DC

Pterogyne nitens Tul.

LAURACEAE

Ocotea complicata (Meisn.) Mez

LECYTHIDACEAE

Eschweilera ovata (Cambess.) Miers

MALPIGHIACEAE

Byrsonima sericea DC

MALVACEAE

Erioteca macrophyla K.Schum

Luehea ochrophylla Mart

MORACEAE

Brosimum guianense Aubl

Sorocea hilarii Gaudich

MYRSINACEAE

Rapanea ferruginea Ruiz & Pav.

MYRTACEAE

Myrcia candoleana O.Berg

Psidium sp

NYCTAGINACEAE

Guapira sp

SAPINDACEAE

Allophylus laevigatus (Turcz.) Radlk

Cupania revoluta Rdlk

Talisia esculenta (A. St.-Hil.) Radlk

SIMAROUBACEAE

Simarouba amara Aubl.

RUBIACEAE

Guetarda viburnoides Cham. Schltdl.

Psychotria carthagensis Jacq.

Considerações Finais

Através desse estudo, foi observado que, na floresta tropical úmida estudada, as variáveis ambientais locais, altitude e aquelas associadas aos componentes do solo tais como densidade, porosidade, matéria orgânica, atuaram como filtros abióticos, direcionando a diversidade funcional de plantas nessa comunidade. Entender como as variáveis ambientais podem atuar como filtros, influenciando a dinâmica da estruturação das assembleias de plantas é um grande passo para compreensão da ecologia dessas comunidades.

Plant Ecology

Title Page

The title page should include:

- The name(s) of the author(s)
- A concise and informative title
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s)
- The e-mail address, and telephone number(s) of the corresponding author
- If available, the 16-digit ORCID of the author(s)

Abstract

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

Keywords

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

ADDITIONAL REMARK ABSTRACT

The abstract must not exceed 250 words and must include all of the following points:

- The explicit purpose of the study (clear aims and objectives)
- The location of the study
- A brief summary of the methodology used – including anything unusual
- Key results
- Main point/s of significance in terms of the field of plant ecology, including how it may be novel

TEXT

Text Formatting

Manuscripts should be submitted in Word.

- Use a normal, plain font (e.g., 10-point Times Roman) for text.
- Use italics for emphasis.
- Use the automatic page numbering function to number the pages.

- Do not use field functions.
- Use tab stops or other commands for indents, not the space bar.
- Use the table function, not spreadsheets, to make tables.
- Use the equation editor or MathType for equations.
- Save your file in docx format (Word 2007 or higher) or doc format (older Word versions).

Manuscripts with mathematical content can also be submitted in LaTeX.

Headings

Please use no more than three levels of displayed headings.

Abbreviations

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

Footnotes

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

Footnotes to the text are numbered consecutively; those to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data).

Footnotes to the title or the authors of the article are not given reference symbols.

Always use footnotes instead of endnotes.

Acknowledgments

Acknowledgments of people, grants, funds, etc. should be placed in a separate section on the title page. The names of funding organizations should be written in full.

ADDITIONAL REMARK TEXT

Text – double spaced, and line numbered using continuous line numbers throughout

Figures – one per page at end of manuscript, with a separate List of Captions prior to the figures.

Tables – one per page at end of manuscript (before Figures), captions included above each table.

REFERENCES

Citation

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

Negotiation research spans many disciplines (Thompson 1990).

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

This effect has been widely studied (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso and Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

Reference list

The list of references should only include works that are cited in the text and that have been published or accepted for publication. Personal communications and unpublished works should only be mentioned in the text. Do not use footnotes or endnotes as a substitute for a reference list. Reference list entries should be alphabetized by the last names of the first author of each work. Order multi-author publications of the same first author alphabetically with respect to second, third, etc. author. Publications of exactly the same author(s) must be ordered chronologically.

- Journal article

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

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

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

- Article by DOI

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

- Book

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

- Book chapter

Brown B, Aaron M (2001) The politics of nature. In: Smith J (ed) *The rise of modern*

genomics, 3rd edn. Wiley, New York, pp 230-257

- Online document

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

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

- Dissertation

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

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

ISSN LTWA

If you are unsure, please use the full journal title.

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

TABLES

- All tables are to be numbered using Arabic numerals.
- Tables should always be cited in text in consecutive numerical order.
- For each table, please supply a table caption (title) explaining the components of the table.
- Identify any previously published material by giving the original source in the form of a reference at the end of the table caption.
- Footnotes to tables should be indicated by superscript lower-case letters (or asterisks for significance values and other statistical data) and included beneath the table body.