



PARTIÇÃO DA VARIAÇÃO FLORÍSTICO-ESTRUTURAL DO COMPONENTE ARBÓREO EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALUVIAL NO SUL DO BRASIL

PARTITIONING OF FLORISTIC-STRUCTURAL VARIATION OF THE TREE COMPONENT IN AN ALLUVIAL ARAUCARIA FOREST IN SOUTHERN BRAZIL

Rodineli Loebens¹ Ana Carolina da Silva² Pedro Higuchi² Álvaro Luiz Mafra³ Jéssica Oneda da Silva⁴ Didiane Ana Gonçalves⁵ Karine Souza⁴ Aline Pereira Cruz¹ Luiz Carlos Rodrigues Júnior⁵ Angélica Dalla Rosa⁵ Carla Luciane Lima⁴ Fernando Buzzi Júnior⁵

RESUMO

Objetivou-se avaliar a influência da estruturação espacial e de variáveis ambientais sobre a organização florístico-estrutural do componente arbóreo em uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial no sul do Brasil. Para isso, foram alocadas 48 parcelas de 200 m² no remanescente amostrado, localizado em Lages-SC. Todos os indivíduos dentro das parcelas com diâmetro na altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm foram identificados. Foram mensuradas variáveis ambientais e espaciais em cada parcela. Os dados foram analisados por meio de Correlograma de Mantel, Particionamento da Variância, Análises de Redundância, análise de Coordenadas Principais de Matrizes Vizinhas e testes de correlação. Foram amostrados 1.462 indivíduos pertencentes a 66 espécies. Conjuntamente, as variáveis ambientais e espaciais explicaram 24,13% da variação total, sendo que a maior parte (15,22%) se encontrou espacialmente estruturada. Dentre as variáveis ambientais, a topografia (desnível máximo) e a fertilidade do solo (soma de bases e P) foram significativas. Conclui-se que o componente arbóreo está organizado na forma de um gradiente florístico-estrutural. Ainda, os resultados sugerem que o regime de inundação do rio e a presença de zonas de maior encharcamento do solo foram relevantes na definição de micro-hábitat, que influenciaram na distribuição das espécies.

Palavras-chave: Floresta com Araucária; influência espacial; caracterização ambiental.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of spatial structure and environmental variables on floristic-structural organization of the tree component, in an Alluvial Araucaria Forest, in southern Brazil. To do so, 48 200 m² sampling units were allocated in the study area, located in the municipality of Lages, SC state. All trees within the sampling units, with diameter at breast height (dbh) equal to or greater than 5 cm were identified. The environmental and spatial variables were measured in each sampling unit. The data were analyzed through Mantel Correlogram, Variation Partitioning, Redundancy Analysis, analysis of Principal Coordinates of Neighbor Matrices and correlation tests. A total of 1,462 individuals, belong

1 Biólogo, MSc., Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC), Brasil. rhodineli@hotmail.com / a.line_cruz@yahoo.com.br

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC), Brasil. carol_sil4@yahoo.com.br / higuchip@gmail.com

3 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Solos e Recursos Naturais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC), Brasil. alvaro.mafra@udesc.br

4 Engenheira Florestal, MSc., Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC), Brasil. jessica.oneda@hotmail.com / karisouza@hotmail.com / carla_engflorestal@yahoo.com.br

5 Acadêmico de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luiz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC), Brasil. didi_ana15@hotmail.com / luiz.crj@hotmail.com / angelica.dalla.rosa@hotmail.com / fernandobuzziunior@gmail.com

Recebido para publicação em 13/06/2015 e aceito em 11/03/2017

to 66 species, were sampled. Together, the environmental and spatial variables explained 24.13% of total variation, with the largest part (15.22%) being spatially structured. The significant environmental variables were topography (maximum elevation difference) and fertility (bases sum and P). It is possible to conclude that the tree component is organized as a floristic-structural gradient. Furthermore, the results suggest that the inundation regime and the presence of flood prone areas were relevant for micro-habitat definitions, that influenced the distribution of species.

Keywords: Araucaria Forest; space influence; environmental characterization.

INTRODUÇÃO

As florestas aluviais são essenciais para a manutenção dos recursos hídricos, proteção de cursos de água, além de servirem como corredores ecológicos e *habitat* para a flora e a fauna (BARRELLA et al., 2000). Porém, apesar de sua importância, estas áreas têm sido degradadas, em função de ocuparem posições geográficas adequadas para o desenvolvimento de atividades antrópicas. Neste sentido, estudos que tenham como foco o fornecimento de informações para a definição de estratégias de conservação e restauração são importantes.

Estudos realizados em escalas regionais têm demonstrado que a composição florística destas áreas é influenciada pelo clima, vegetações do entorno e regime de inundação (e.g. SILVA et al., 2007; GIEHL et al., 2011). Em escalas locais, tem sido observado que o componente arbóreo em florestas aluviais apresenta variações florísticas-estruturais em função da heterogeneidade ambiental, com destaque para a importância de distúrbios em pequenas escalas provocados pelo regime de inundação e alagamentos (e.g. BARDDAL et al., 2004; CARVALHO et al., 2009; SILVA et al., 2009; TEIXEIRA; ASSIS, 2009). Porém, poucos estudos têm sido realizados nestes ambientes com o propósito de investigar o quanto deste processo é determinado por fatores que são espacialmente estruturados (e.g. GIEHL; JARENKOW, 2008; BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA FILHO, 2010; GIEHL et al., 2011). Este é um aspecto relevante, pois, na natureza, a estruturação espacial representa um importante elemento de comunidades biológicas (SOININEN, 2016), podendo ser gerada por vários fatores e processos ecológicos.

De acordo com Jones et al. (2008), a dispersão, interações bióticas e dinâmica de clareiras podem produzir uma estruturação espacial mais evidente em pequenas escalas espaciais, enquanto que variações topográficas e edáficas podem criar uma estruturação em diferentes escalas, dependendo da geologia e geomorfologia. Segundo os autores, a composição florística pode apresentar dois tipos de estruturação espacial: estrutura autógena, que é independente da variação ambiental, e exógena, quando as espécies respondem às variáveis ambientais espacialmente estruturadas. Contudo, estudos com esta abordagem realizados em diferentes fitofisionomias no Brasil (e.g. CARVALHO et al., 2007; GONZAGA et al., 2008; MACHADO et al., 2008; BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA FILHO, 2010) demonstram que não existe um consenso sobre quais fatores, endógenos ou exógenos, sobressaem em termos de influência sobre o componente arbóreo. Ainda, é importante destacar a influência do ambiente que não se apresenta espacialmente estruturado, uma vez que pode representar a existência de importantes nichos ecológicos e filtros ambientais no ecossistema.

Considerando a importância de variáveis ambientais e de fatores ecológicos espacialmente estruturados sobre a distribuição de espécies arbóreas, estudos que quantifiquem a influência de variáveis espaciais e ambientais em ecossistemas florestais aluviais são importantes, pois permitem um maior entendimento sobre os processos determinantes da organização florístico-estrutural em função dos regimes de inundações. Dentre as fitofisionomias que merecem destaque para esses estudos, está a Floresta Ombrófila Mista (FOM), pelo fato desta ter um perfil florístico ímpar no Brasil, caracterizado pela presença de elementos com diferentes origens fitogeográficas e história evolutiva (DUARTE et al., 2014; OLIVEIRA FILHO et al., 2015), o que a torna prioritária para conservação. Assim, o presente estudo teve como objetivos: i) quantificar o percentual da variação florístico-estrutural explicada por variáveis ambientais e espaciais; e ii) identificar quais variáveis ambientais influenciam na organização do componente arbóreo em uma FOM Aluvial, no sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

A floresta estudada é um fragmento classificado, segundo o IBGE (2012), como Floresta Ombrófila Mista Aluvial, e está localizada em Lages-SC, na localidade de Pedras Brancas. Lages está inserida na Bacia do Rio Uruguai, subdivisão das Bacias do Rio Canoas e Pelotas, sendo a área estudada localizada nas margens do Rio Caveiras, tributário do Rio Canoas. De acordo com a estação meteorológica convencional de Lages do INMET, para o período de 1985 a 2014, a precipitação anual média foi de 1.651 mm, a temperatura média mínima foi de 11,9°C e a temperatura média máxima foi de 22,1°C. O clima predominante é do tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por invernos rigorosos, com geadas frequentes e verões amenos, com chuvas bem distribuídas no ano. As coordenadas centrais do fragmento são 27°50'47.95''S e 50°13'32.26''O. Este possui aproximadamente 63 ha e altitude média de 937 m. Esse fragmento passou, durante o Ciclo da Araucária (especialmente nas décadas de 1950 a 1960), por cortes seletivos, encontrando-se, atualmente, em estágio sucessional avançado.

O remanescente foi amostrado com a alocação de 48 parcelas de 10 x 20 m cada (Figura 1), que totalizaram 0,96 ha. As unidades amostrais foram dispostas de forma estratificada, contemplando a borda do fragmento adjacente ao rio, interior do fragmento e a borda adjacente à matriz campestre. Entre as parcelas havia também variações topográficas, pois, na borda adjacente à matriz campestre, há áreas mais planas e mais declivosas. Assim, a maior parte das parcelas foi alocada junto ao dique marginal (parcelas adjacentes ao rio com solos classificados como Neossolos Flúvicos ou Cambissolos Húmicos) e em uma bacia de inundação após o dique (parcelas de interior e borda adjacente ao campo com solos classificados como Gleissolos Háplicos ou Cambissolos Húmicos), ambos ambientes sujeitos a alagamentos. A menor parte das parcelas foi alocada junto a uma encosta (parcelas com solos do tipo Neossolos Litólicos e algumas de Cambissolos Húmicos, como as parcelas 45 e 46), ambiente não sujeito à inundação.

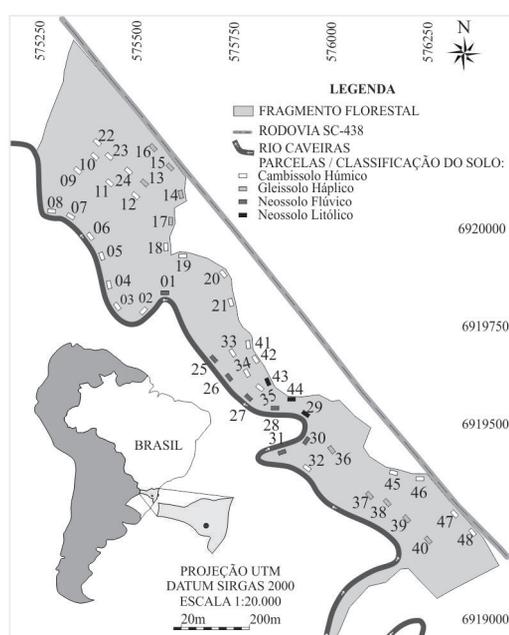


FIGURA 1: Fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial estudado em Lages-SC, com respectivas unidades amostrais alocadas.

FIGURE 1: Studied fragment of Alluvial Araucaria Forest in the municipality of Lages, SC state, with their allocated sampling units.

Para amostragem da composição florístico-estrutural, foram identificados e quantificados todos os indivíduos arbóreos vivos dentro das parcelas com DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do solo) igual ou superior a 5,0 cm. Indivíduos com bifurcações foram amostrados quando a raiz da soma

dos quadrados dos DAPs foi maior ou igual a 5,0 cm. As identificações foram realizadas por literatura especializada e especialistas, e as famílias foram classificadas segundo o APG IV (ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, 2016).

As coordenadas espaciais (latitude e longitude) foram obtidas por um GPS, com uma leitura no centro de cada parcela. As variáveis ambientais coletadas em cada parcela foram: variáveis edáficas (nível freático nos solos e composição química e física dos solos), topográficas (cota, desnível máximo e declividade), cobertura do dossel e impacto ambiental. O nível freático dos solos foi determinado a cada dois meses, durante um ano. Para isso, foram instalados poços de observação no centro de cada parcela, com 1 m de profundidade, de acordo com a metodologia utilizada por Barddal et al. (2004) e Silva, Higuchi e Van Den Berg (2010). Foram calculados, por parcela, o nível freático médio no período de um ano e o nível freático no mês de maior nível. As propriedades físico-químicas dos solos foram obtidas por parcela, em amostras compostas oriundas de nove coletas sistemáticas em cada parcela, no perfil de 0 a 20 cm do solo. As análises dos solos foram realizadas na Universidade do Estado de Santa Catarina, sendo quantificados o pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), sódio (Na), teores de areia, silte e argila, e calculados a CTC efetiva, a saturação por Al (%), a saturação por bases V (%) e o índice H+Al. Para realização do levantamento topográfico, foram utilizados uma trena, uma bússola, um clinômetro e um GPS. Foram definidas três variáveis topográficas (OLIVEIRA FILHO et al., 1994a): cota média, desnível máximo e declividade média. A cota média foi calculada pela média das cotas dos quatro vértices de cada parcela, o desnível máximo foi a diferença entre a maior e menor cota e a declividade média foi a média das declividades dos quatro lados. A luminosidade foi avaliada por meio da cobertura do dossel, quantificada utilizando-se um densiômetro esférico côncavo (LEMMON, 1956). Foram realizadas quatro leituras no centro de cada parcela nas direções leste, oeste, norte e sul, e calculada a média das leituras por parcela. A avaliação dos impactos ambientais foi realizada por meio de observações de presença de trilhas, impactos causados pelo gado e do corte seletivo de árvores dentro das parcelas, conforme metodologia utilizada por Silva et al. (2009). Foram atribuídas notas de 0 a 5, sendo 0 para a ausência e 5 para o nível máximo de impacto.

Com o propósito de reduzir a assimetria dos dados, as matrizes de vegetação e de variáveis ambientais passaram por transformações. Para a matriz vegetal, após a remoção das espécies com menos de 10 indivíduos, foi utilizada a transformação logarítmica [$\log(n) + 1$], conforme sugerido por Anderson, Ellingsen e Mcardle (2006). Para a matriz das variáveis ambientais, foi realizada uma transformação para que as variáveis assumissem média centrada em zero e variância máxima de um, segundo Wildi (2013).

Para testar a existência de autocorrelação espacial da organização florístico-estrutural entre as unidades amostrais, foi utilizado um Correlograma de Mantel (MANTEL, 1967; LEGENDRE; LEGENDRE, 2012), tendo como variáveis a distância florístico-estrutural, determinada por meio do índice de Bray-Curtis, e a distância espacial entre as parcelas. Assim, para cada classe de distância espacial entre parcelas, foi determinado o valor de correlação de Mantel, indicando a existência de associação positiva ou negativa entre as matrizes de distância florística-estrutural e espacial. Foi realizado um teste de permutação ($n = 999$), com correção de Holm, para testar a existência de estruturação espacial significativa ($p < 0,05$).

A proporção da variação da composição florístico-estrutural (matriz 1 - vegetal) explicada pelas variáveis ambientais (matriz 2) e espaciais (matriz 3) foi determinada pela técnica de particionamento da variação (BORCARD; LEGENDRE; DRAPEAU, 1992), sendo as proporções explicadas representadas, posteriormente, por meio de um diagrama de Venn. As variáveis espaciais foram extraídas por meio da análise de Coordenadas Principais de Matrizes Vizinhas (PCNM) (BORCARD; LEGENDRE, 2002), a partir das coordenadas espaciais das unidades amostrais. A PCNM produz a decomposição espectral das relações espaciais entre todas as parcelas amostrais, gerando variáveis que representam diferentes estruturas espaciais, de maior (primeiros autovetores gerados pela PCNM) a menor escalas (últimos autovetores gerados pela PCNM) (BORCARD et al., 2004). Para o particionamento da variação, as variáveis ambientais e espaciais com influência significativa ($p < 0,05$) sobre o componente arbóreo foram previamente selecionadas, a partir da realização de duas Análises de Redundância (RDAs) de forma separada (matriz vegetal x matriz ambiental e matriz vegetal x espacial) e a utilização do método de *stepwise* automático de construção de modelos para ordenações multivariadas. As significâncias dos eixos das RDAs foram verificadas por meio de testes de permutação ($n = 999$). Foram realizados testes

de correlação, entre os eixos significativos da RDA ambiental e RDA espacial, para verificar a existência de associação entre os gradientes ambientais e espaciais. Para verificar a espacialização dos gradientes ambientais e espaciais identificados, os *scores* das unidades amostrais nos eixos da RDAs foram plotados por meio de um mapa de bolhas, em função das coordenadas espaciais. As análises foram realizadas por meio da linguagem de programação estatística R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015), junto com o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2015).

RESULTADOS

Foram amostrados 1.462 indivíduos pertencentes a 66 espécies, sendo as 15 mais abundantes: *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B. Sm. & Downs (388 indivíduos), *Eugenia uniflora* L. (154), *Allophylus edulis* (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk. (136), *Calyptanthes concinna* DC. (85), *Blepharocalyx salicifolius* (Kunth) O.Berg (82), *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (80), *Casearia decandra* Jacq. (60), *Prunus myrtifolia* (L.) Urb. (38), *Campomanesia xanthocarpa* O.Berg (38), *Annona rugulosa* (Schltdl.) H.Rainer (26), *Ocotea pulchella* (Nees) Mez (24), *Symplocos uniflora* (Pohl) Benth. (24), *Banara tomentosa* (A. Gray) Benth. (23), *Jacaranda puberula* Cham. (22) e *Myrcia selloi* (Spreng.) N. Silveira (21), *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, característica da FOM, apresentou somente 17 indivíduos.

No correlograma de Mantel (Figura 2), é possível observar que a organização florístico-estrutural do componente arbóreo ocorreu de forma espacialmente estruturada, com autocorrelação espacial positiva e significativa em pequena escala espacial (< 200 m) e autocorrelação espacial negativa e significativa em maiores distâncias (em torno de 600 m). Dessa forma, as unidades amostrais localizadas até 200 m apresentaram elevada similaridade florístico-estrutural entre elas, enquanto que as unidades amostrais em distâncias de aproximadamente 600 m, o componente arbóreo apresentou elevada dissimilaridade.

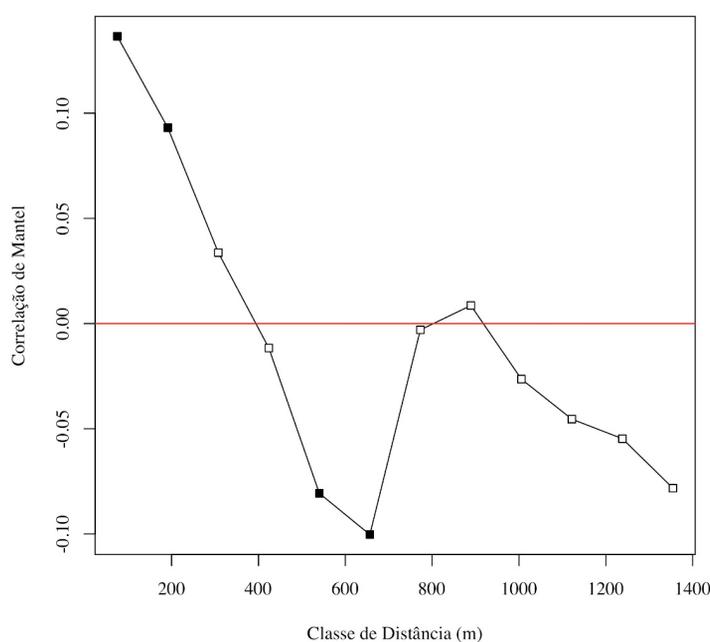


FIGURA 2: Correlograma de Mantel para a similaridade florístico-estrutural do componente arbóreo de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Lages-SC, determinado por meio do índice de Bray-Curtis, em função da distância espacial entre as parcelas. Símbolos fechados indicam significância de 0,05 por meio do teste de permutação ($n = 999$), com correção de Holm.

FIGURE 2: Mantel correlogram for floristic-structural similarity of tree component in an Alluvial Araucaria Forest, in Lages, SC state, determined by Bray-Curtis Index, in function of sampling unit spatial distance. Filled symbols indicate 0.05 significance by permutation test ($n = 999$) with Holm correction.

Das variáveis ambientais mensuradas, três (desnível máximo, saturação por bases e P) foram significativas ($p < 0,05$) pelo método stepwise, assim como três variáveis espaciais, representando a estruturação do componente arbóreo em maior (PCNM1) e menores escalas espaciais (PCNM11 e PCNM22). Juntas, estas variáveis explicaram 24,13% da organização florístico-estrutural observada (Figura 3). Assim, a maior parte organização florística-estrutural (75,87%), representando o resíduo da ordenação multivariada, não foi explicada. Dentre o percentual explicado, a maior parte desta variação foi determinada por variáveis puramente espaciais, ou seja, 9,69%, dos 15,22% da matriz espacial. Do total de variação explicada pelas variáveis ambientais (14,44%), 5,53% foi representada por gradientes ambientais espacialmente estruturados, demonstrando a importância da estruturação espacial sobre a organização florístico-estrutural, também evidenciado no Correlograma de Mantel.

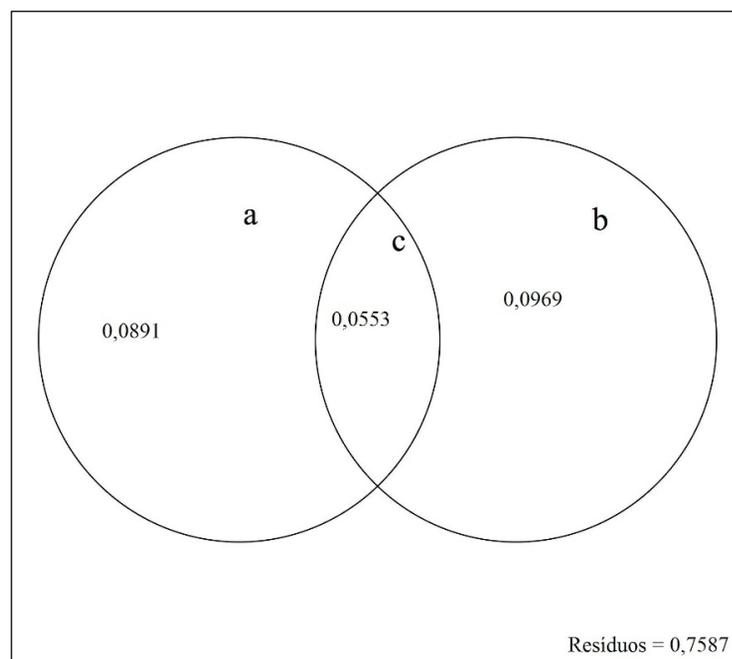


FIGURA 3: Diagrama de Venn da partição da variação da organização florístico-estrutural do componente arbóreo de uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Lages-SC. [a] Variação explicada puramente pelas variáveis ambientais; [b] variação explicada puramente pelas variáveis espaciais e [c] variação explicada de forma compartilhada pelas variáveis ambientais e espaciais.

FIGURE 3: Venn diagram of variation partition of floristic-structural organization of tree component in an Alluvial Araucaria Forest, in Lages, SC state. [a] Variation explained exclusively by spatial variables; [b] variation explained exclusively by environmental variables and [c] variation explained by both environmental and spatial variables.

A RDA ambiental (Figura 4A) demonstrou que o Eixo 1 (autovalor = 3,49) sintetizou um gradiente associado ao desnível máximo das parcelas (*biplot score* = -0,85; $p = 0,001$) e ao teor de P no solo (*biplot score* = 0,60; $p = 0,004$). Ordenadas à esquerda do gráfico encontram-se as parcelas mais declivosas e com os menores teores de P, e ordenadas à direita encontram-se as parcelas mais planas e com os maiores teores de P. Enquanto o gradiente de desnível máximo representou uma variação de 0,35 a 7,40 m, com uma média 1,81 m, os valores de P variaram de 0,3 a 9,4 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, com média de 3,2 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. O Eixo 2 (autovalor = 1,40) sintetizou, principalmente, um gradiente associado à saturação por bases (*biplot score* = 0,84; $p = 0,003$), com áreas mais férteis ordenadas na parte superior e menos férteis na parte inferior do gráfico. Este gradiente variou de 3,34% de saturação de bases, indicando um ambiente distrófico, a 50,32%, representando um ambiente eutrófico, com média de 20,05%. A RDA espacial (Figura 4B) indicou que o Eixo 1 (autovalor = 4,23) sintetizou uma estruturação em maior escala espacial, associada à PCNM1 (*biplot score* = 0,91; $p = 0,001$) e o Eixo 2 (autovalor = 2,81) sintetizou uma estruturação em menor escala espacial, associada à PCNM11 (*biplot score* = 0,60; $p = 0,003$) e 22 (*biplot score* = -0,72; $p = 0,012$).

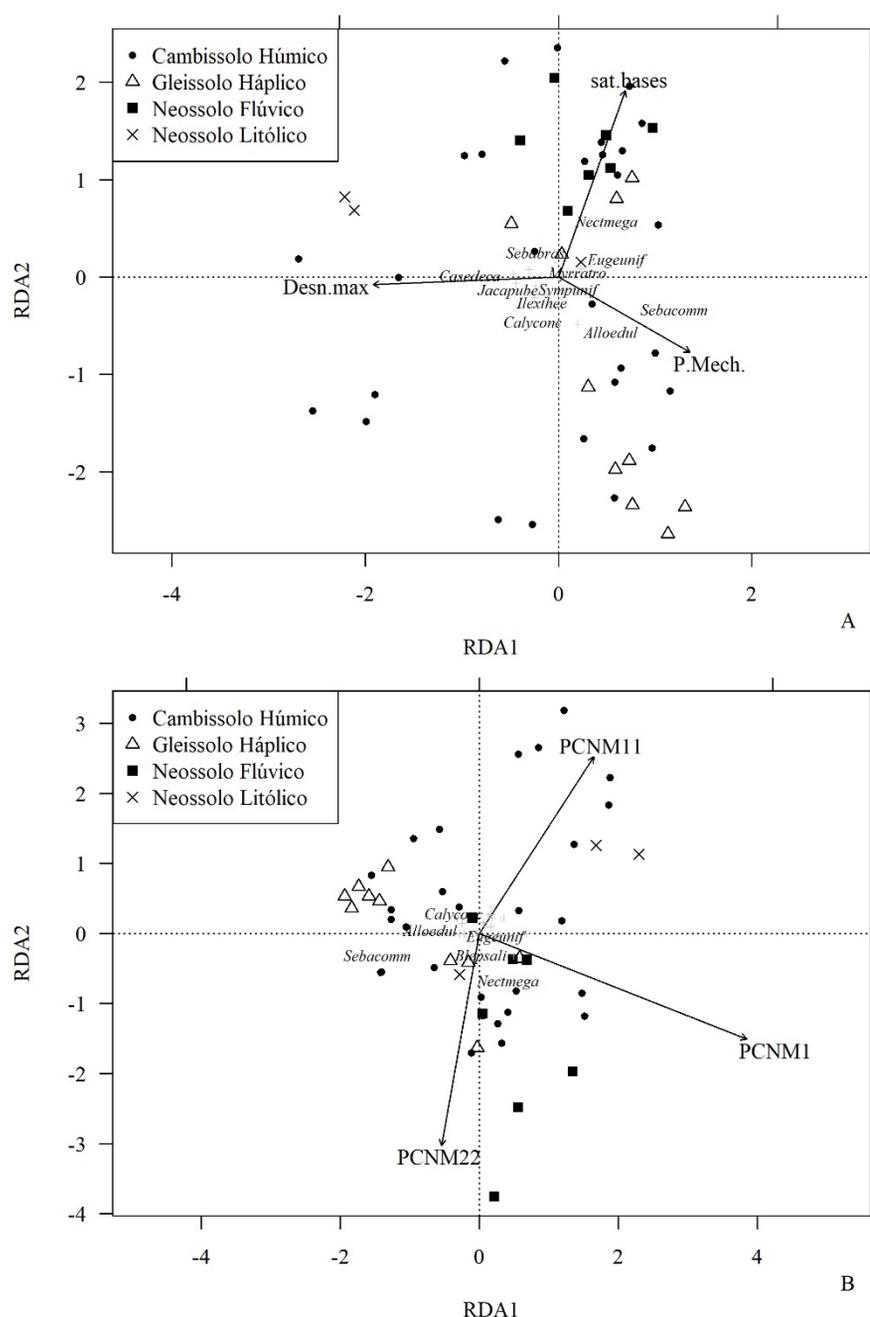


FIGURA 4: Análises de Redundância (RDAs) em função de variáveis ambientais (A) e espaciais (B), para uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Lages-SC. Vetores representam variáveis selecionadas pelo procedimento de *stepwise* ($p < 0,1$), com 999 permutações.

FIGURE 4: Redundancy analysis (RDAs) in function of environmental (A) and spatial (B) variables, for an Alluvial Araucaria Forest, in Lages, SC state. Vectors represent selected variables by stepwise procedure ($p < 0.1$), with 999 permutations.

A espacialização do Eixo 1 da RDA ambiental (Figura 5) demonstrou que as parcelas mais planas e com os maiores valores de P (círculos maiores) situaram-se predominantemente próximas do rio e nas parcelas de interior e borda externa do lado esquerdo do fragmento. Essas áreas de menor declividade são as mais sujeitas a alagamentos durante os períodos de maior pluviosidade. No eixo 2 da RDA ambiental, as parcelas com maiores valores de soma de bases (círculos maiores) situaram-se próximas do rio. Em parte, a RDA espacial apresentou relação com a RDA ambiental, reforçando o resultado de que parte da variação ambiental se encontra espacialmente estruturada. De fato, os eixos 1 e 2 da RDA espacial apresentaram

correlação negativa e significativa com, respectivamente, os eixos 1 e 2 da RDA ambiental ($p < 0,001$). Assim, parte da estruturação espacial capturada por PCNM1, PCNM11 e PCNM22 pode ser explicada pelas variações de desnível máximo, P e saturação por bases. Por isso, de forma geral, as parcelas que apresentam os menores *scores* no Eixo 1 da RDA espacial (círculos menores), associados de forma negativa com PCNM1, ocorreram principalmente na parte superior esquerda do fragmento (círculos maiores na RDA 1 ambiental), com baixo desnível do terreno e maiores valores de P. Para o eixo 2 da RDA espacial, as parcelas com os maiores *scores* (círculos maiores), associadas de forma positiva com PCNM11, ocorreram principalmente no interior e borda externa do fragmento (locais de menor fertilidade); e as unidades amostrais com os menores *scores* (círculos menores), associadas de forma positiva com PCNM22, ocorreram próximas ao rio (locais de maior fertilidade).

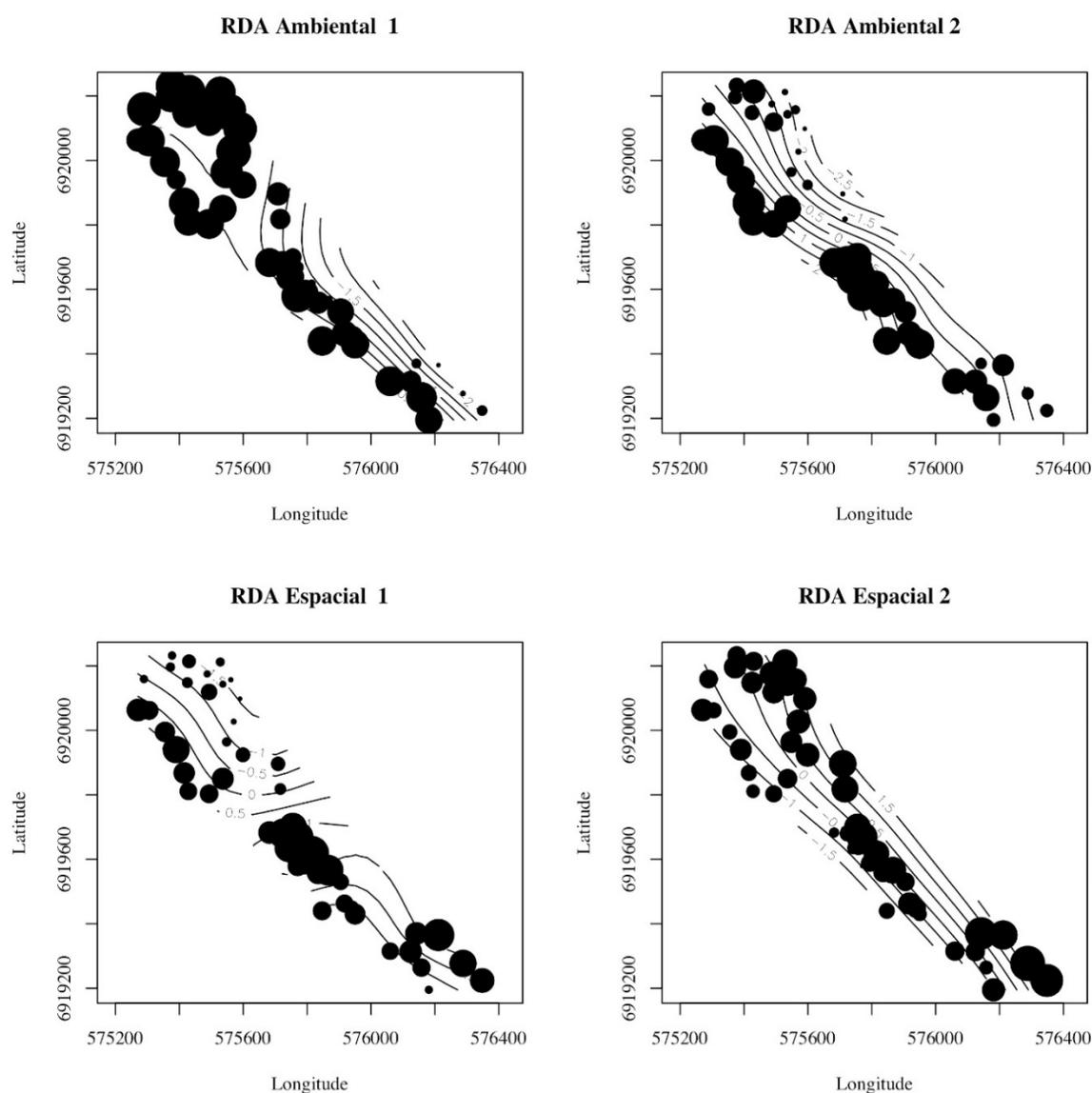


FIGURA 5: Espacialização dos *scores* das unidades amostrais ao longo dos eixos 1 e 2 das Análises de Redundância (RDAs) ambientais e espaciais, para uma Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Lages-SC.

FIGURE 5: Spatialization of sampling units scores along Axis 1 and 2 from environmental and spatial Redundancy Analysis (RDAs), for an Alluvial Araucaria Forest, in Lages, SC state.

Dentre as espécies que apresentaram elevados valores de *score* positivos no Eixo 1 da RDA ambiental e negativos no Eixo 1 da RDA espacial, ocorrendo, assim, principalmente em áreas mais inundáveis, destacaram-se *Sebastiania commersoniana* e *Allophylus edulis*. No extremo oposto deste gradiente, nas áreas declivosas, ocorreu *Casearia decandra*. Dentre as espécies que apresentaram os maiores valores de *scores* positivos no Eixo 2 da RDA ambiental e negativos no Eixo 2 da RDA espacial, ocorrendo assim em áreas mais férteis e próximas do rio, destacou-se *Nectandra megapotamica*. No oposto deste gradiente, nas áreas menos férteis e distantes do rio, ocorreu *Jacaranda puberula*. A partir desta análise, fica evidenciado a existência de diferentes micro-habitats, condicionados especialmente pela topografia, propriedades químicas do solo e regime de inundação do rio. É possível identificar locais ambientalmente mais seletivos para o estabelecimento das espécies, como aqueles sujeitos a um maior encharcamento do solo, e menos seletivos, como os locais mais drenados.

DISCUSSÃO

Destaca-se que o conjunto de espécies mais abundantes observado na área de estudo difere em relação ao que é apresentado como típico de FOM, principalmente pela substituição da maior densidade de *Araucaria angustifolia* por espécies mais tolerantes, como *Sebastiania commersoniana*. Apesar de ter sido amostrada, *A. angustifolia* apresentou baixa representatividade, o contrário da elevada densidade que normalmente ocorre em fragmentos de FOM da região (HIGUCHI et al., 2012; SILVA et al., 2012b), ocorrendo, no presente estudo, nos locais mais distantes do rio. De forma semelhante, Barddal et al. (2004) e Carvalho et al. (2009) não amostraram *A. angustifolia* em áreas de FOM Aluvial no estado do Paraná, o que sugere que esta espécie não seja tolerante às perturbações provocadas pelo extravasamento dos rios. É importante ressaltar, também, que a ausência de araucária pode estar relacionada com o corte seletivo, apesar de não terem sido encontrados, na área, indícios de cortes recentes, o que minimiza essa possibilidade.

Em relação à organização florístico-estrutural do componente arbóreo, os resultados demonstraram que a maior parte da variação (75,87%) não foi explicada pelas variáveis analisadas. Este padrão é comum em estudos ecológicos (CARVALHO et al., 2007; GIEHL; JARENKOW, 2008; JONES et al., 2008; BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA FILHO, 2010), pois, parte da variação, é controlada pela ação de eventos aleatórios, como a mortalidade de árvores, e por fatores ambientais determinísticos não quantificados. Porém, isto não prejudica a interpretação da relação do componente arbóreo com as variáveis significativas (CARVALHO et al., 2007) e ilustra a natureza complexa dos fatores que determinam a organização de comunidades.

A parte explicada da variação do componente arbóreo demonstrou a importância da estruturação espacial e de variáveis ambientais, assim como observado por Giehl e Jarenkow (2008) e Budke, Jarenkow e Oliveira Filho (2010) em florestas aluviais no Rio Grande do Sul. A autocorrelação positiva em pequena escala espacial (< 200 m) e negativa em maior escala (em torno de 600 m) demonstrou que parcelas espacialmente mais próximas são mais parecidas entre si e sugere que a composição florístico-estrutural do componente arbóreo está organizada na forma de um gradiente (LEGENDRE; FORTIN, 1989). Ressalta-se que a heterogeneidade espacial em comunidades biológicas é originada a partir de fatores exógenos, como as variações ambientais, e a partir de fatores endógenos, inerentes da própria comunidade, independentemente das condições ambientais (BORCARD; LEGENDRE, 2002; JONES et al., 2008). Neste sentido, os resultados sugerem a importância de fatores de ordem endógena, pois as variáveis espaciais explicaram sozinhas a maior parte da estruturação espacial existente (9,69%). Dentre os fatores de caráter endógeno, que têm sido frequentemente relatados como relevante para a determinação da estruturação espacial de comunidades arbóreas, destacam-se os processos biológicos de contágio (BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA FILHO, 2010), como a dispersão de propágulos (SEIDLER; PLOTKIN, 2006), que pode levar à formação de manchas de indivíduos coespecíficos (CARVALHO et al., 2007). Contudo, não pode ser descartada a hipótese de que o elevado percentual relativo da explicação puramente espacial pode ter ocorrido em função, também, de variáveis ambientais espacialmente estruturadas que não foram quantificadas. Por exemplo, Giehl e Jarenkow (2008) encontraram que o maior percentual da estruturação espacial se deu em função do tempo de inundação, o que não foi avaliado no presente estudo. Durante o ano de avaliação, não foram observados eventos de inundações na periodicidade mensurada, sendo recomendado

outra metodologia para a FOM da região, em que as chuvas são bem distribuídas.

Os distúrbios provocados pelo extravasamento dos cursos d'água e alagamentos têm sido relatados pela literatura como os principais fatores ecológicos determinantes da organização de comunidades de espécies arbóreas em florestas inundáveis (e.g. OLIVEIRA FILHO et al., 1994b, WITTMANN et al., 2006; GIEHL; JARENKOW, 2008; TEIXEIRA; ASSIS, 2009; BUDKE; JARENKOW; OLIVEIRA FILHO, 2010; SILVA et al., 2012a). No presente estudo, os resultados sugerem o mesmo padrão, corroborando a importância de eventos de inundação também em áreas de FOM Aluvial. Por exemplo, a observação de áreas de maior fertilidade próximas do rio sugere uma maior dinâmica de sedimentação nestes locais (OLIVEIRA FILHO et al., 1994b), nos quais alagamentos eventuais provocados pelas cheias estejam influenciando positivamente, possivelmente pelo acúmulo de sedimentos provenientes de áreas mais férteis. A espécie que melhor caracterizou este padrão foi *Nectandra megapotamica*, pois sua ocorrência esteve associada às áreas de maior fertilidade próximas ao rio. Já nas áreas planas, inclusive as de interior e borda externa ao rio, sujeitas a permanecerem por um maior período de tempo alagadas, *Sebastiania commersoniana* se destacou. Estas duas espécies têm sido frequentemente relatadas como comuns em áreas inundáveis do Domínio Atlântico nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (e.g. DIAS et al., 1998; BIANCHINI et al., 2003; SILVA et al., 2007; DE MARCHI; JARENKOW, 2008; GIEHL; JARENKOW, 2008; GIEHL et al., 2011; SARAIVA, 2011; SILVA et al., 2012a; MILANESI; LEITE, 2014), reforçando a ideia de que as mesmas apresentem adaptações para tolerarem os distúrbios provocados por alagamentos. Ainda, da mesma forma que o presente estudo, Bardall et al. (2004) e Kilca et al. (2011) encontraram *Sebastiania commersoniana* como uma espécie mais característica de áreas sujeitas à maior saturação hídrica, confirmando os resultados encontrados por Kolb et al. (1998) de que a espécie apresenta adaptações ao estresse hídrico. A influência da capacidade de drenagem do solo também foi observada por Higuchi et al. (2014) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages-SC, o que reforça a importância deste fator ecológico, uma vez que a baixa disponibilidade de oxigênio para as raízes representa um importante fator seletivo das espécies (LOBO; JOLY, 2000). Nos locais mais declivosos, menos susceptíveis aos eventos de cheias, em que se destacou *Casearia decandra*, é confirmado o padrão já observado por outros autores (e.g. CARVALHO et al., 2009), que também encontraram a espécie em áreas de solos drenados.

CONCLUSÕES

Conclui-se que o componente arbóreo da FOM Aluvial avaliada está organizado na forma de um gradiente florístico-estrutural, gerado a partir de fatores espaciais (9,69%) (endógenos), ambientais (8,91%) e de forma compartilhada entre os fatores ambientais e espaciais (5,53%). Os fatores ambientais mais relevantes foram aqueles relacionados à topografia e à fertilidade do solo. Ainda, os resultados sugerem que o regime de inundação do rio e a presença de zonas de maior encharcamento do solo foram relevantes na definição de micro-habitats, que influenciam a distribuição das espécies.

Assim, destaca-se a necessidade de que estratégias de conservação e restauração considerem a heterogeneidade ambiental das áreas aluviais. Há indícios que algumas espécies podem ser plantadas em micro-habitats específicos. Por exemplo, *Nectandra megapotamica* parece ser uma espécie fortemente associada ao dique marginal do rio, *Sebastiania commersoniana* poderia ser indicada para áreas mais alagadas e *Casearia decandra* para áreas mais distantes dos cursos d'água, longe da influência direta dos eventos de alagamento.

AGRADECIMENTOS

À FUMDES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor desse trabalho, e ao CNPq, pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa ao segundo e ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, M. J.; ELLINGSEN, K. E.; MCARDLE, B. H. Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. **Ecology Letters**, Hoboken, v. 9, n. 6, p. 683-693, 2006.

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.
- BARDDAL, M. L. et al. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2004.
- BIANCHINI, E. et al. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 405-419, 2003.
- BORCARD, D. et al. Dissecting the spatial structure of ecological data at multiple scales. **Ecology**, Ithaca, v. 85, n. 7, p. 1826-1832, 2004.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P. All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 153, n. 1, p. 51-68, 2002.
- BORCARD, D.; LEGENDRE, P.; DRAPEAU, P. Partialling out the spatial component of ecological variation. **Ecology**, Ithaca, v. 73, n. 3, p. 1045-1055, 1992.
- BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Intermediary disturbance increases tree diversity in riverine forest of southern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Nova York, v. 19, n. 8, p. 2371-2387, 2010.
- CARVALHO, J. et al. Relações entre a distribuição das espécies de diferentes estratos e as características do solo de uma floresta aluvial no Estado do Paraná, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 1-9, 2009.
- CARVALHO, W. A. C. et al. Variação espacial da estrutura da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua em Piedade do Rio Grande, MG, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 315-335, 2007.
- DE MARCHI, T. C.; JARENKOW, J. A. Estrutura do componente arbóreo de mata ribeirinha no rio Camaquã, município de Cristal, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 241-248, 2008.
- DIAS, M. C. et al. Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares do rio Iapó, na bacia do rio Tibagi, Tibagi, PR. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 21, n. 2, p. 183-195, 1998.
- DUARTE, L. S. et al. Phylobetadiversity among Forest Types in the Brazilian Atlantic Forest Complex. **Plos One**, São Francisco, v. 9, n. 8, p. e105043, 2014.
- GIEHL, E. L. H. et al. Variações florísticas e relação com variáveis geográficas e climáticas em florestas ribeirinhas do sudeste da América do Sul. In: FELFILI, J. M. et al. (Org.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. p. 504-519.
- GIEHL, E. L. H.; JARENKOW, J. A. Gradiente estrutural no componente arbóreo e relação com inundações em uma floresta ribeirinha, rio Uruguai, sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 22, n. 3, p. 741-753, 2008.
- GONZAGA, A. P. D. et al. Diagnóstico florístico-estrutural do componente arbóreo da floresta da Serra de São José, Tiradentes, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 22, n. 2, p. 505-520, 2008.
- HIGUCHI, P. et al. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 79-90, 2012.
- HIGUCHI, P. et al. Partição espacial de espécies arbóreas em função da drenagem do solo em um fragmento de Floresta com Araucária no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 421-429, 2014.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. 271 p.
- JONES, M. M. et al. Explaining variation in tropical plant community composition: influence of environmental and spatial data quality. **Oecologia**, New York, v. 155, n. 3, p. 593-604, 2008.
- KILCA, R. V. et al. Florística e fitofisionomias da planície de inundação do rio Piratini e a sua importância para conservação da biodiversidade no Pampa do Rio Grande do Sul. **Neotropical Biology and Conservation**, São Leopoldo, v. 6, n. 3, p. 227-249, 2011.
- KOLB, R. M. et al. Anatomia ecológica de *Sebastiania commersoniana* (Baillon) Smith & Downs (Euphorbiaceae) submetida ao alagamento. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 21, n. 3,

p. 305-312, 1998.

LEGENDRE, P.; FORTIN, M. J. Spatial pattern and ecological analysis. **Plant Ecology**, New York, v. 80, n. 2, p. 107-138, 1989.

LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical ecology**. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Science BV, 2012. 990 p.

LEMMON, P. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. **Forest Science**, Bethesda, v. 2, n. 1, p. 314-320, 1956.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do Sudeste do Brasil. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Edusp, 2000. p. 143-157.

MACHADO, E. L. M. et al. Efeitos do substrato, bordas e proximidade espacial na estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 287-302, 2008.

MANTEL, N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. **Cancer Research**, Philadelphia, v. 27, n. 2, p. 209-220, 1967.

MILANESI, L. S.; LEITE, S. L. C. Fitossociologia de espécies arbóreas em dique marginal de floresta ribeirinha no Rio Grande do Sul, Brasil, e comparação com ambientes aluviais e não aluviais. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 72-80, 2014.

OKSANEN, J. et al. **Vegan**: community ecology package. [2015]. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=vegan>>. Acesso em: 20 maio 2015.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Delving into the variations in tree species composition and richness across South American subtropical Atlantic and Pampean forests. **Journal of Plant Ecology**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 242-260, 2015.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeastern Brasil. **Flora**, Amsterdam, v. 189, n. 4, p. 287-305, 1994a.

OLIVEIRA FILHO, A. T. et al. Effect of flooding regime and understorey bamboos on the physiognomy and tree species composition of a tropical semideciduous forest in Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, New York, v. 113, n. 2, p. 99-124, 1994b.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, [2015]. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acesso em: 20 maio 2015.

SARAIVA, D. D. Composição e estrutura de uma floresta ribeirinha no sul do Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 24, n. 4, p. 49-58, 2011.

SEIDLER, T. G.; PLOTKIN, J. B. Seed dispersal and spatial pattern in tropical trees. **Plos Biology**, São Francisco, v. 4, n. 11, p. 2132-2137, 2006.

SILVA, A. C. et al. Comparação florística de florestas inundáveis das regiões Sudeste e Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 257-269, 2007.

SILVA, A. C. et al. **Florestas inundáveis**: ecologia, florística e adaptações das espécies. Lavras: Editora da UFLA, 2012a. 167 p.

SILVA, A. C. et al. Relações florísticas e fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Mista Montana Secundária em Lages, Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 193-206, 2012b.

SILVA, A. C. et al. Florística e estrutura da comunidade arbórea em fragmentos de floresta aluvial em São Sebastião da Bela Vista, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 283-297, 2009.

SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; VAN DEN BERG, E. Effects of soil water table regime on tree community species richness and structure of alluvial forest fragments in Southeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 465-471, 2010.

SOININEN, J. Spatial structure in ecological communities - a quantitative analysis. **Oikos**, Copenhagen, v. 125, n. 2, p. 160-166, feb. 2016.

TEIXEIRA, A. P.; ASSIS, A. A. Relação entre heterogeneidade ambiental e distribuição de espécies em uma floresta paludosa no Município de Cristais Paulista, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 23, n. 3, p. 843-853, 2009.

- WILDI, O. **Data analysis in vegetation ecology**. Hoboken: Willey-Blackwell, 2013. 330 p.
- WITTMANN, F. et al. Tree species composition and diversity gradients in white-water forests across the Amazon Basin. **Journal of Biogeography**, Hoboken, v. 33, n. 8, p. 1334-1347, 2006.