

Influência de variáveis ambientais na dinâmica do componente arbóreo em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages, SC

The influence of environmental variables on tree species component dynamics in a montane araucaria forest fragment in Lages, SC

Bruna Salami¹, Pedro Higuchi², Ana Carolina da Silva³, Tiago de Souza Ferreira¹, Amanda Koche Marcon¹, Fernando Buzzi Júnior⁴ e Marco Antonio Bento⁴

Resumo

O presente estudo teve como objetivos analisar a estruturação espacial das taxas de dinâmica do componente arbóreo, que indicam as mudanças demográficas (abundância e área basal) ao longo do tempo, e avaliar a influência de variáveis ambientais (solos, relevo e abertura do dossel) sobre as taxas de dinâmica observadas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, no município de Lages, SC, durante um intervalo de quatro anos (2008-2012). Em cada uma das 50 parcelas de 10x20m, foi realizada a caracterização ambiental e determinadas as taxas de dinâmica do componente arbóreo (mortalidade, recrutamento, ganho e perda em área basal, rotatividade e mudanças líquidas em abundância e área basal). As relações entre as taxas de dinâmica foram verificadas por meio de testes de correlação; as distribuições das taxas em classes de frequência foram examinadas por meio de histogramas; a estruturação espacial foi avaliada por meio de correlogramas de I de Moran e a influência dos fatores ambientais analisada por meio de árvores de regressão. As taxas médias de recrutamento e mortalidade foram de 1,74%.ano⁻¹ e 1,16%.ano⁻¹, e ganho e perda em área basal de 3,10%.ano⁻¹ e 1,03%.ano⁻¹, resultando na mudança líquida positiva em número de indivíduos e em área basal. Não foram observadas correlações significativas entre mortalidade e recrutamento e entre ganho e perda em área basal ($p > 0,05$). Predominantemente, as taxas apresentaram distribuição de frequência normal. A dinâmica florestal ocorreu de forma espacialmente aleatória na área de estudo, a taxa de ganho em área basal foi maior nos locais com menores valores de cobertura do dossel (<80,63%) e a taxa de rotatividade em área basal foi maior nos locais com maiores valores de soma de base do solo ($\geq 61,77\%$). Os resultados podem ser interpretados como um indicativo da importância de eventos de ordem estocástica sobre a dinâmica de fragmentos florestais em avançado estágio sucessional.

Palavras-chave: Floresta com Araucária, Taxas de dinâmica, Variáveis ambientais, Distribuição espacial.

Abstract

The study aimed to analyze the spatial structure of tree species dynamics rates, that indicate the demographic changes (abundance and basal area) along time, and evaluate the influence of environmental variables (soil, topography and canopy openness) on the observed dynamic rates in a Montane Araucaria Forest fragment, in Lages, SC, during an interval of four years (2008-2012). In each of the 50 plots (10x20m) the environmental characterization and the dynamics rates of the arboreal component (mortality, recruitment, loss and gain in basal area, turnover and net changes in abundance and basal area) were determined. The relations between the dynamics rates were verified by correlation tests, the distributions of rates in frequency classes were examined using histograms, the spatial structure was evaluated by Moran's I correlograms and the influence of environmental factors on the dynamics rates analysed using regression trees. The average rates of recruitment and mortality were 1.74%.year⁻¹ and 1.16%.year⁻¹ and gain and loss in the basal area were 3.10% year⁻¹ and 1.03%.year⁻¹, resulting in a positive net change in density and basal area. There were no significant correlations between mortality and recruitment rates and between gains in loss

¹Engenheiro(a) Florestal, Mestre. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias - Departamento de Engenharia Florestal. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, 88520-000, Lages, SC. E-mail: brunaflorestal@yahoo.com.br; tiagoferreira@florestal.eng.br; amandamarcon@yahoo.com.br.

²Engenheiro Florestal, Doutor. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: higuchip@gmail.com.

³Engenheira Florestal, Doutora. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Florestal. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC. E-mail: carol_sil4@yahoo.com.br

⁴Discente do Curso de Engenharia Florestal. UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina - Centro de Ciências Agroveterinárias. Av. Luiz de Camões, 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, SC.

rates of basal area ($p > 0.05$). Predominantly, the rates showed normal frequency distribution. The forest dynamics occurred spatially random in the study area, the rate of gain in basal area was higher in locations with lower values of canopy cover ($<80.63\%$) and turnover rate in basal area was higher in places with higher sum of base in the soil ($\geq 61.77\%$). The results can be interpreted as an indicative of the importance of stochastic events on the dynamics of forest fragments in an advanced stage of succession.

Keywords: Araucaria Forest, Dynamics rates, Environmental variables, Spatial distribution.

INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma das principais tipologias vegetais da região sul do Brasil, distinguindo-se dos demais biomas florestais pela presença marcante do pinheiro-brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, em associações diversificadas (IBGE, 2012). Como a maioria das florestas do domínio atlântico, essas foram, e são, intensamente perturbadas e fragmentadas. Nas décadas de 50 e 60, durante o ciclo da madeira, houve intensa exploração de espécies de interesse madeireiro, como do próprio pinheiro-brasileiro e da imbuia (*Ocotea porosa* (Mez) L.Barroso), e mesmo não madeireiro, como do xaxim (*Dicksonia sellowiana* Hook.) (HIGUCHI et al., 2012). Como resultado deste histórico, houve uma grande fragmentação de habitat, restando remanescentes florestais em diferentes estados de conservação (SILVA et al., 2012).

Considerando este cenário crítico, estudos sobre dinâmica de comunidades arbóreas nos remanescentes de FOM são fundamentais. De acordo com Higuchi et al. (2008a), estes estudos permitem o monitoramento e a previsão dos processos de transformação das populações e das comunidades vegetais isoladas. Desta forma, o conhecimento da dinâmica sucessional de uma floresta torna-se importante para a tomada de decisões na aplicação de técnicas de manejo florestal visando à conservação desses remanescentes florestais (SHEIL et al., 2000; NASCIMENTO et al., 2001; BIANCHIN et al., 2012).

Uma das maiores dúvidas sobre alterações em comunidades arbóreas tropicais, após fragmentação e/ou exploração seletiva, é a variabilidade espacial e temporal das taxas de dinâmica, representadas pelas mudanças demográficas (abundância e área basal) do componente arbóreo ao longo do tempo, e as diferentes respostas das espécies arbóreas em função de gradientes ambientais. A partir da obtenção destas informações, é possível fazer inferências sobre tendências na estruturação florestal (HIGUCHI et al., 2008b). Partindo-se do princípio que, em fragmentos florestais, a dinâmica florestal não

ocorre de forma espacialmente homogênea (HIGUCHI et al., 2008b; SILVA et al., 2011), é possível que o padrão encontrado seja o resultado de um mosaico silvigenético, gerado em função de uma diversidade de interações entre fatores ambientais e as respectivas respostas das espécies (MACHADO, 2005).

Desta forma, considerando a importância de se entender a organização espacial da dinâmica florestal e a sua relação com a heterogeneidade ambiental, o presente estudo teve como objetivos analisar a estruturação espacial das taxas de dinâmica do componente arbóreo (mortalidade, recrutamento, ganho e perda em área basal, rotatividade e mudanças líquidas em abundância e área basal) e avaliar a influência de variáveis ambientais sobre as taxas de dinâmica observadas, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo compreende um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana, situado no município de Lages, SC, nas margens do Rio Caveiras, nas coordenadas $27^{\circ}51'35,82''S$ e $50^{\circ}11'39,66''W$ (ponto central do fragmento), com altitude variando de 901 a 1.036 m. O fragmento cobre uma área de aproximadamente 103,06 ha. De acordo com a estação meteorológica de Lages, administrada pela EPAGRI/CIRAM/INMET, a precipitação e a temperatura média anual (1970-2010) na região são de, respectivamente, 1.682,80 mm e $15,9^{\circ}C$ (HIGUCHI et al., 2012).

O local estudado está inserido em uma matriz composta por áreas agrícolas, silviculturais e de pastejo, sendo que o fragmento estudado possui um histórico de perturbação com corte seletivo e pastejo, porém em 1986 foi protegida e se mantém em regeneração desde então.

Amostragem da Vegetação

Esta abordagem é uma continuação do estudo florístico e estrutural realizado por Higuchi et al. (2012). A comunidade arbórea, com diâ-

metro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm, foi amostrada no ano de 2008, em 50 parcelas permanentes de 10x20 m (200 m²), totalizando 1 ha de área amostrada. As parcelas foram distribuídas de forma sistemática, distanciadas 30 m entre si dentro de cada estrato (Figura 1).

No primeiro levantamento, em cada parcela foram registradas informações para todos os indivíduos de espécies arbóreas vivas, coletando dados sobre suas identidades botânicas e os valores de CAP (circunferência à altura do peito), medidos com fita métrica, que posteriormente foram transformados em DAP. Indivíduos com troncos múltiplos foram medidos quando a raiz da soma dos quadrados dos DAP's foi maior do que 5 cm. As identificações foram realizadas por meio de comparações em herbários, pareceres de especialistas e literatura especializada. As espécies foram classificadas nas famílias de acordo com o sistema APG III (APG III, 2009).

No ano de 2012, após um intervalo de quatro anos, realizou-se o segundo inventário da comunidade arbórea, utilizando-se a mesma metodologia do inventário anterior. Assim, foram incorporados os novos indivíduos que atingiram a classe de diâmetro estipulada (DAP ≥ 5 cm), que foram identificados, medidos e plaqueteados. Os indivíduos mortos foram registrados e os sobreviventes mensurados novamente.

Caracterização Ambiental

A base de dados foi composta pelos dados de caracterização topográfica, de solos e da cobertura do dossel obtida por Higuchi et al. (2012),

para a área em questão. Foi realizado um levantamento topográfico em cada parcela, com auxílio de trena, bússola, clinômetro e GPS, a partir do qual foram definidas três variáveis topográficas calculadas segundo metodologia sugerida por Oliveira-Filho et al. (1994): cota média (m), desnível máximo (graus) e declividade média (m). A cota média foi considerada como a média das cotas dos quatro vértices de cada parcela. O desnível máximo correspondeu a maior distância vertical entre os vértices das parcelas. A declividade média foi calculada por meio da média simples das quatro declividades dos lados da parcela retangular. As propriedades químicas do solo de cada parcela foram obtidas por meio da análise de amostras compostas das camadas superficiais, provenientes de quatro coletas distribuídas em cada parcela, a uma profundidade 0 a 20 cm. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UEDESC). Foram quantificados o pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio e porcentagem de argila, e calculados os índices: H + Al, t (Capacidade de Troca Cátions, CTC, efetiva), T (CTC a pH = 7,0), SB (soma de bases trocáveis) e V (saturação de bases da CTC a pH = 7,0). A avaliação da cobertura do dossel foi realizada por meio da média de quatro leituras, em direção ao norte, sul, leste e oeste, no centro de cada parcela, utilizando um densímetro esférico (modelo A) côncavo (LEMMON, 1956), no período de novembro a dezembro de 2009. As variáveis espaciais correspondendo às



Figura 1. Localização das parcelas amostradas (retângulos em branco) no fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana estudado em Lages, Santa Catarina. Fonte: Google Earth.

Figure 1. Sample plots location (white rectangles) in the montane Araucaria forest fragment in Lages, Santa Catarina. Source: Google Earth.

coordenadas x e y do centro de cada parcela, obtidas por meio de um GPS, foram utilizadas para definir uma rede de pontos.

Análise dos Dados

Para cada parcela, foram calculadas as taxas de mortalidade e recrutamento, as taxas de ganho e perda em área basal, com base no número de indivíduos e área basal, por meio dos modelos algébricos (LIEBERMAN et al., 1985; PRIMACK et al., 1985; SHEIL; MAY, 1996):

$$M = (1 - ((N_o - m)/N_o)^{1/t}) \times 100,$$

$$R = (1 - (1 - r/N_o)^{1/t}) \times 100,$$

$$P = (1 - [(AB_o - (ABm + ABd))/AB_o]^{1/t}) \times 100, e$$

$$G = (1 - [1 - (ABr + ABg)/ABt]^{1/t}) \times 100.$$

Onde:

M = taxa de mortalidade anual; R = taxa de recrutamento anual; P = taxa de perda em área basal anual; G = taxa de ganho em área basal anual; t = intervalo de tempo entre inventários; No = número inicial de árvores; Nt = número final de árvores depois de t; m = número de árvores mortas; r = número de árvores recrutadas; ABo = área basal inicial; ABt = área basal final depois de t; ABm = área basal das árvores mortas; ABd = perda em área basal (redução diamétrica e perda parcial de troncos); ABr = área basal de árvores recrutadas; ABg = ganho em área basal (crescimento das árvores).

A taxa média anual de rotatividade em número de indivíduos foi calculada pela média das taxas de mortalidade e de recrutamento e a taxa média anual de rotatividade em área basal foi calculada pela média de taxa de perda e taxa de ganho (KORNING; BALSLEV, 1994; OLIVEIRA-FILHO et al., 1997).

As taxas de mudança líquida para o número de indivíduos (Chn) e para a área basal (Chab) foram calculadas pelas equações, conforme Korning e Balslev (1994):

$$Chn = [(N/N_o)^{1/t} - 1] \times 100$$

$$Chab = [(AB/AB_o)^{1/t} - 1] \times 100$$

A estruturação espacial foi analisada por meio de correlogramas baseados no índice estatístico I de Moran (MORAN, 1950), com alisamento por "spline" (BJORNSTAD; FALCK, 2001). Envelopes indicativos de ausência de autocorrelação foram construídos por meio da técnica de *bootstrap*, a partir de 1.000 reamostragens. Os valores variam de -1 a 1, onde os valores positivos indicam associação espacial positiva entre os locais (similaridade) e valores negativos indicam associação negativa (dissimilaridade). Valores em torno de 0, dentro dos envelopes de completa aleatoriedade, indicam distribuição aleatória sem associação espacial (BJORNSTAD; FALCK, 2001). A influência das variáveis ambientais sobre as taxas de dinâmica foi analisada por meio de árvores de regressão, que foram "podadas" a partir do menor valor do erro de validação cruzada. Todas as análises foram realizadas no programa estatístico R (R Development Core Team, 2012), com os pacotes nle (BJORNSTAD, 2013), mvpart (DE'ATH, 2013) e partykit (HOTHORN; ZEILES, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a área estudada como um todo, as taxas de dinâmica indicaram instabilidade da estrutura do componente arbóreo, com recrutamento superior a mortalidade e ganho em área basal superior a perda, resultando em mudanças líquidas positivas, expressas pelo aumento em número de árvores e em área basal, no período entre 2008 a 2012, de 1.841 para 1.882 ind.ha⁻¹ e de 36,17 para 39,17 m².ha⁻¹. As taxas de rotatividade para número de indivíduos e área basal, que indicam a velocidade da dinâmica, foram, respectivamente, de 1,45%.ano⁻¹ e 2,07%.ano⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1. Taxas médias de dinâmica (n=50) de uma comunidade de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Lages, SC.

Table 1. Mean dynamics rates (n=50) of a tree species community in an Araucaria Forest Fragment, in the municipality of Lages, SC.

Taxas	Média (%.ano ⁻¹)	Desvio Padrão
Mortalidade	1,16	1,15
Recrutamento	1,74	1,41
Mudança Líquida em número de indivíduos	0,62	2,1
Rotatividade em número de indivíduos	1,45	0,80
Ganho em área basal	3,10	1,28
Perda em área basal	1,03	0,94
Mudança Líquida em número de indivíduos	2,17	1,74
Rotatividade em número de indivíduos	2,07	0,76

A tendência geral da dinâmica observada no fragmento florestal evidencia a ocorrência de estruturação florestal no período avaliado (2008-2012). O incremento em número de indivíduos e área basal é típico de uma fase de construção do ciclo silvigenético, desencadeada por perturbações passadas, tais como intervenções antrópicas ou mesmo por aberturas de clareiras originadas por causas naturais (HALLÉ et al., 1978; MACHADO, 2005; HIGUCHI et al., 2008a). Este parece ser um padrão recorrente em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista na região

(DURIGAN, 1999; SANQUETTA et al., 2003; FORMENTO et al., 2004), sugerindo que a área estudada, ao acumular biomassa no componente arbóreo, funcione como um sumidouro de carbono atmosférico (SANQUETTA, 2002; MOGNON et al., 2013).

Ao se analisar a Figura 2, verifica-se que com exceção das taxas de mortalidade, recrutamento e perda em área basal, que apresentaram maiores frequências de parcelas em classes de menores valores, todas as demais apresentaram distribuição normal.

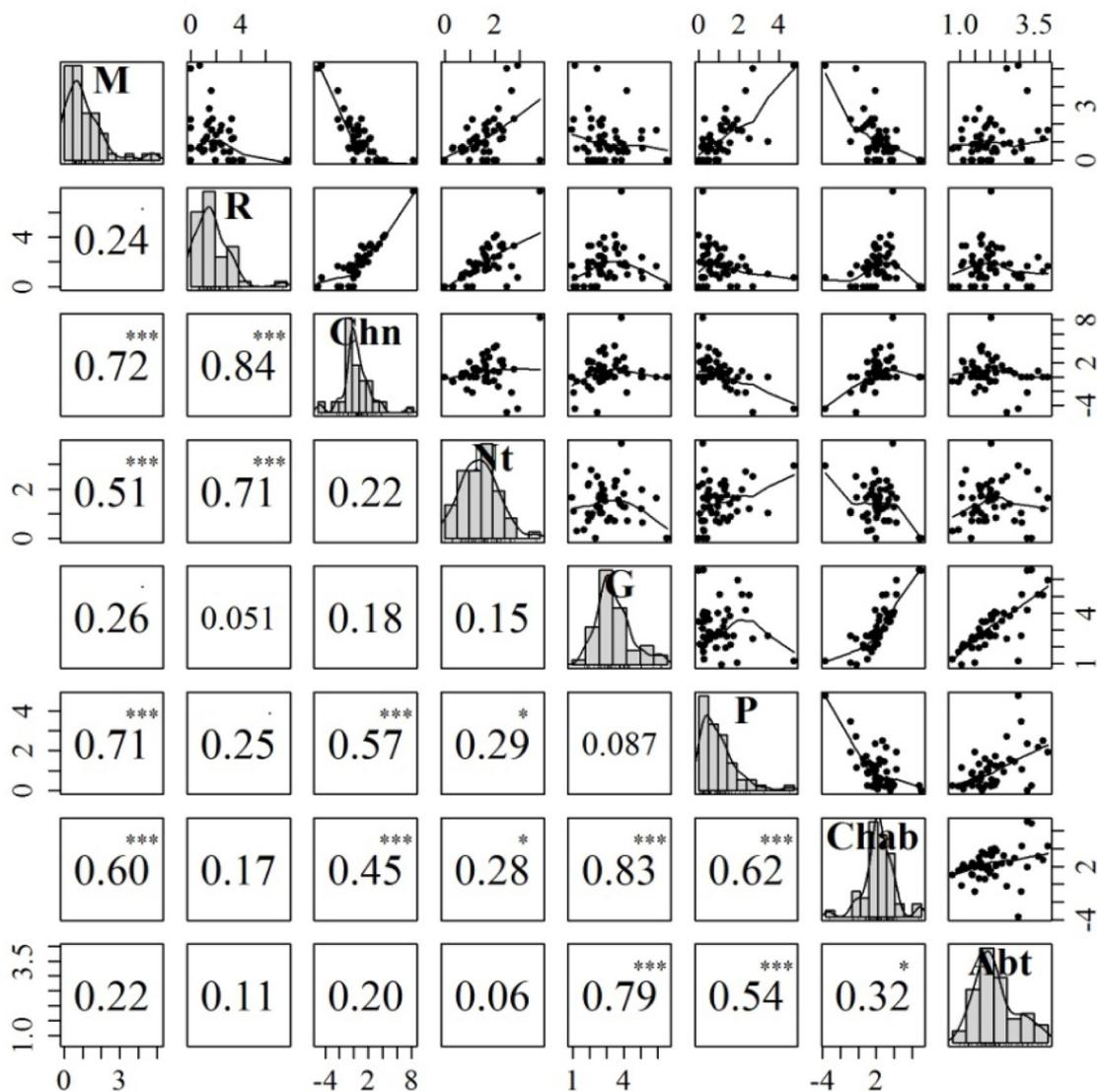


Figura 2. Análise exploratória das taxas de dinâmica da comunidade de espécies arbóreas (M: Mortalidade; R: Recrutamento; Chn: Mudança líquida em abundância; Nt: Rotatividade em abundância; G: Ganho em área basal; P: Perda em área basal; Chab: Mudança líquida em área basal e Abt: Rotatividade em área basal) em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Lages, SC. A diagonal representa histogramas que indicam a distribuição das parcelas em classes de valores das taxas de dinâmica. A diagonal superior representa gráficos de dispersão da relação entre as taxas. A diagonal inferior representa a correlação e a significância das relações entre as taxas (***) = 0,001; ** = 0,01; * = 0,05).

Figure 2. Exploratory analysis of tree species community dynamics rates (M: Mortality; R: Recruitment; Chn: Abundance net change; Nt: Abundance turnover; G: Basal area gain; P: Basal area loss; Chab: Basal area net change and Abt: Basal area turnover) in a fragment of Araucaria Forest in Lages, SC. The diagonal represents histograms indicating the distribution of plots in classes of values of dynamics rates. The upper diagonal represents the scatterplot graphics indicating the relationship between the rates. The lower diagonal represents the correlation and significance of the relationship between the rates (***) = 0.001, ** = 0.01, * = .05).

Também é possível observar que as taxas de recrutamento e de ganho em área basal foram as que mais contribuíram para as mudanças líquidas e de rotatividade. Além disso, observa-se ausência de correlação significativa ($p > 0,05$) entre as taxas de recrutamento e ganho em área basal, entre as taxas de mortalidade e recrutamento e entre as taxas de perda e de ganho em área basal, o que indica ausência de associação entre as mesmas, sugerindo que ocorrem de forma independente no fragmento. Assim, é possível afirmar que as parcelas com altas taxas de recrutamento não necessariamente apresentaram altas taxas de ganho em área basal, e vice-versa. Também, é possível afirmar que as parcelas com elevados valores de mortalidade ou de perda em área basal, não necessariamente apresentam elevados ou baixos valores de recrutamento ou de ganho.

Machado (2005), em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Minas Gerais, verificou que nas parcelas com maior mortalidade também ocorreu maior recrutamento. De acordo com o mesmo autor, a área estudada encontrava-se em fase de degradação do ciclo silvigenético, provavelmente desencadeada por severos episódios de distúrbios passados, o que pode explicar a divergência em relação ao presente estudo. De acordo com Laurance et al. (1998), a correlação positiva entre mortalidade e recrutamento pode ser esperada em um quadro de competição, onde as saídas abrem novos espaços que incrementam as entradas. No entanto, partindo-se do princípio que estes processos de entradas e saídas, representadas, respectivamente, pelo recrutamento e mortalidade, não ocorrem de forma simultânea na floresta, a dissociação entre estes processos observada neste estudo sugere que parte da mortalidade tenha ocorrido no final do intervalo avaliado, no ano de 2012, sem o tempo necessário para que ocorresse o recrutamento, via crescimento do estoque regenerativo ($CAP < 15,7\text{cm}$).

Os correlogramas do Índice I de Moran indicaram ausência de autocorrelação espacial para as taxas de dinâmica (Figura 3). De acordo com Carvalho et al. (2008), uma variável é autocorrelacionada se uma medida feita num ponto carrega informação sobre outra medida daquela variável registrada em outro ponto, localizado a determinada distância, gerando valores dependentes. Segundo Rosenberg (2001), a autocorrelação espacial é a ausência de aleatoriedade de uma variável devido à sua distribuição espacial. Desta maneira, constata-se a ausência de auto-

correlação na área, ou seja, a aleatoriedade espacial das taxas de dinâmica avaliadas, o que sugere que parte dos eventos responsáveis pela dinâmica florestal (e.g., distúrbio como a formação de clareiras naturais) também ocorreu de forma aleatória. O mesmo resultado foi observado por Machado e Oliveira-Filho (2010) em um fragmento florestal em Minas Gerais, que indicaram como fator determinante o histórico de perturbação na área avaliada.

Para a maior parte das taxas não foi detectada a influência das variáveis ambientais estudadas. Apenas para as taxas de ganho e rotatividade em área basal foi possível a construção de árvores de regressão, uma vez que, para as demais, o menor erro de validação cruzada foi observado no nodo raiz da árvore, indicando que as variáveis ambientais avaliadas não foram adequadas para explicar as variações das taxas.

O maior ganho de área basal ocorreu nas áreas com menor cobertura de dossel ($< 80,63\%$) (Figura 4). A abertura no dossel da floresta ocorre por meio da queda ou morte de árvores, iniciando o ciclo de crescimento florestal (SANTOS, 2007). A maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa que ocorre nestas áreas tem importância vital no desenvolvimento de plantas. De acordo com Jardim et al. (2007) e Martins (1999), a mudança da quantidade de radiação que chega até o piso florestal é o primeiro fator observado nos ambientes de áreas com menor cobertura do dossel, acompanhado de alterações na temperatura e umidade do ar e do solo, os quais podem ser bruscamente modificados, dependendo da intensidade do distúrbio provocado. É nesta fase que são maiores os incrementos em altura e diâmetro (LIMA, 2005) e menor a competição (RICKLEFS, 1977).

Ainda, segundo Martins (1999), o processo de regeneração da floresta pode ser mais rápido ou mais lento, em função de uma série de aspectos relacionados ao distúrbio em si e das características da própria vegetação sobrevivente, seja aquela representada por indivíduos adultos no entorno da área de distúrbio ou presente no banco de plântulas e/ou de sementes.

O caráter eutrófico do solo, ou seja, alta fertilidade natural, influenciou na taxa de rotatividade em área basal, sendo esta rotatividade superior nos locais com maiores valores de soma de base ($> 61,8\%$) (Figura 5). De acordo com Silva et al. (2007), a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V) são excelentes indicativos das condições gerais da fertilidade do solo, sendo uti-

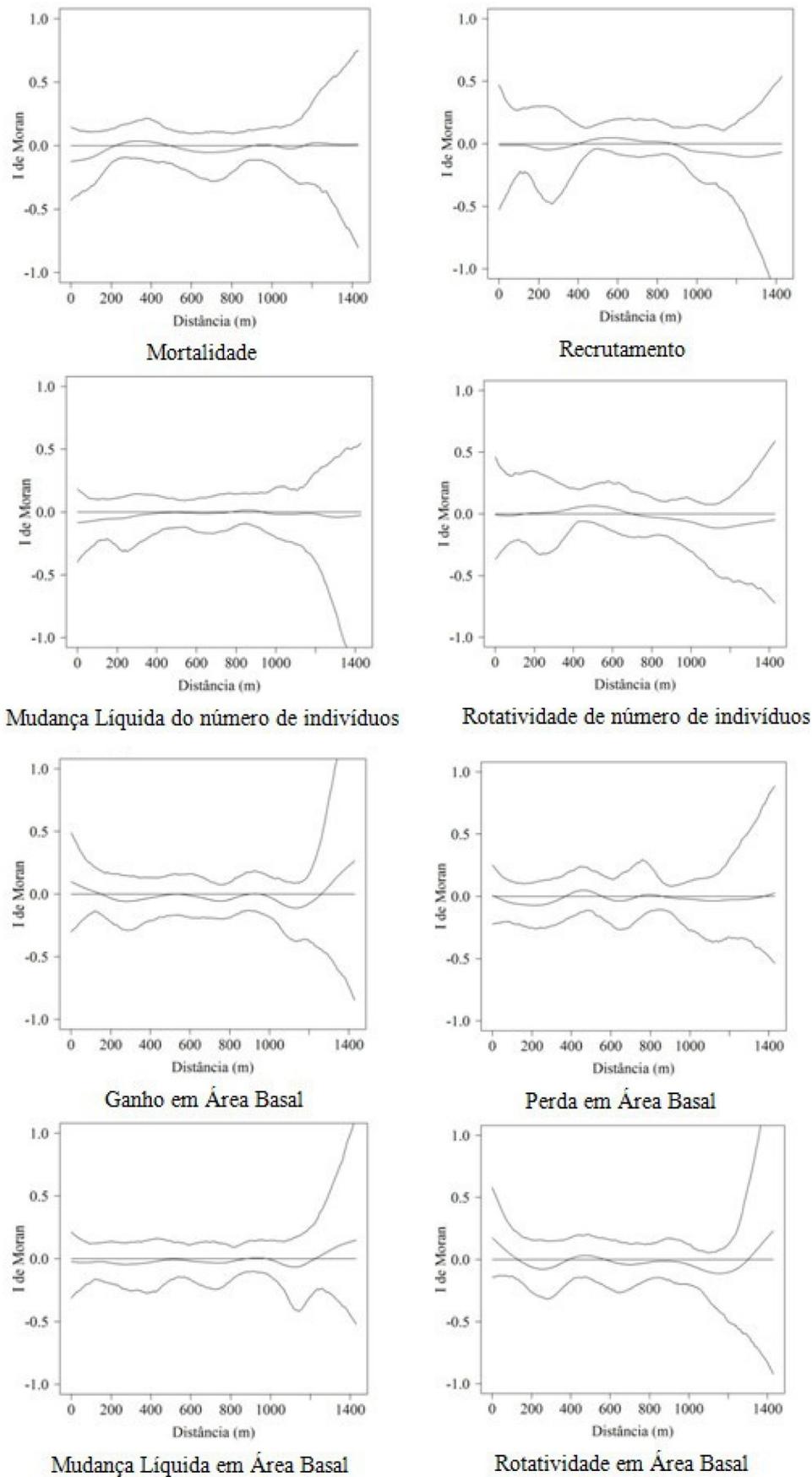


Figura 3. Correlogramas de I de Moran com alisamento por spline, com os respectivos envelopes de completa aleatoriedade construídos por meio de bootstrap, a partir de 1.000 reamostragens, para as taxas de dinâmica em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Lages, SC.

Figure 3. Moran's I correlograms with splines smoothing, with the confidence intervals constructed using 1,000 bootstrap resampling, for tree species community dynamics rates in a fragment of Araucaria Forest in Lages, SC.

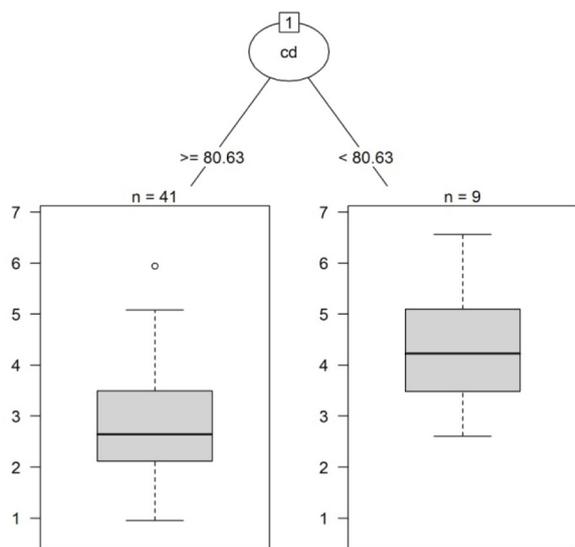


Figura 4. Árvore de regressão para Taxa de Ganho em Área Basal de uma comunidade de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Lages, SC (Erro Relativo = 0,75; Erro de Validação Cruzada = 0,93).

Figure 4. Regression tree for Basal Area Gain Rate of a tree species community in an Araucaria Forest fragment, in the municipality of Lages, SC (Relative Error = 0,75; Cross-validation Error = 0,93).

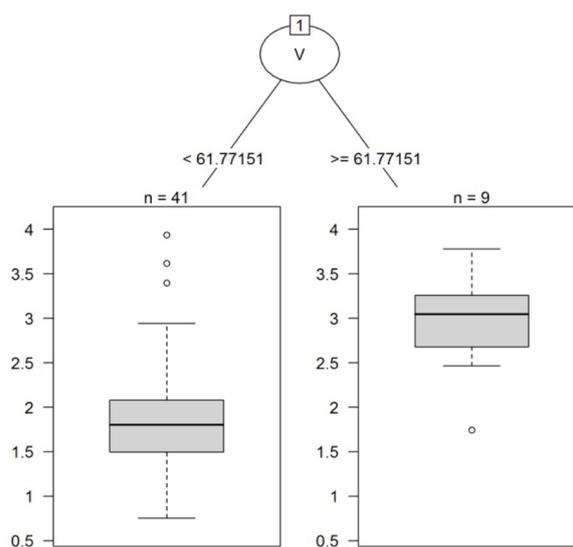


Figura 5. Árvore de regressão para Rotatividade em Área Basal de uma comunidade de espécies arbóreas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, em Lages, SC (Erro Relativo = 0,73; Erro de Validação Cruzada = 0,83).

Figure 5. Regression tree for Basal Area Turnover Rate of a tree species community in an Araucaria Forest fragment, in the municipality of Lages, SC (Relative Error = 0,73; Cross-validation Error = 0,83).

lizadas na classificação de solos quanto a uma medida do eutrofismo. Os solos podem ser classificados de acordo com a saturação por bases, segundo EMBRAPA (2010), em: solos eutróficos (férteis) = $V\% \geq 50\%$; solos distróficos (pouco férteis) = $V\% < 50\%$.

Phillips et al. (2004), por meio de um estudo em florestas na bacia do Rio Amazonas, também demonstraram que a taxa de rotatividade (mortalidade e recrutamento) foi maior em locais com maior fertilidade do solo. Em outro estudo, também realizado em floresta tropical, Phillips et al. (1994) afirmaram que os padrões espaciais da dinâmica florestal podem implicar em uma resposta macroecológica em relação ao clima e às condições do solo, de tal forma que um amplo fornecimento de umidade e um bom suporte de nutrição gerará uma maior produtividade florestal acima do solo, que por sua vez suporta taxas de rotatividade mais rápidas.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a dinâmica florestal ocorre de forma espacialmente aleatória na área de estudo. As taxas de ganho e rotatividade em área basal foram maiores, respectivamente, nos locais com menores valores de cobertura do dossel ($CD < 80,63\%$) e maiores valores de soma de base ($V \geq 61,77\%$). Estes resultados sugerem a

importância de eventos estocásticos, como, por exemplo, a formação de clareiras, sobre a dinâmica do componente arbóreo em fragmentos florestais em avançado estágio sucessional.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado para a primeira autora, e ao CNPq, pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa (305688/2010-3) ao segundo autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, Hoboken, v. 161, n. 2, p. 105-121, out. 2009.
- BIANCHIN, J. E.; VARGAS, G. R.; OLIVA, E. V. Estrutura e distribuição espacial das espécies de um fragmento de floresta aluvial em regeneração. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE. 4., 2012, Curitiba, *Anais...* Curitiba, 2012.
- BJORNSTAD, O. N. *nfc*: spatial nonparametric covariance functions. R package version 1.1-3. Disponível em: <<http://onb.Ent.Psu.Edu/onb1/r>, 2013>. Acesso em: 10 jan. 2013

- BJORNSTAD, O. N.; FALCK, W. Nonparametric spatial covariance functions: estimation and testing. *Environmental and Ecological Statistics*, Berlin, v. 8, n. 1, p. 53-70, mar. 2001.
- CARVALHO, F. M. V.; FERREIRA, L. G.; LOBO, F. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M. Padrões de autocorrelação espacial de índices de vegetação MODIS no bioma cerrado. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 279-290, mar./abr. 2008.
- DE'ATH, G. **mvpart**: Multivariate partitioning. R package version, p. 1.6-1. Disponível em . Acesso em: 10 jan. 2013
- DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma floresta ombrófila mista em São João do Triunfo-PR**. 1999. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, 2010. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8)
- FORMENTO, S.; SCHORN, L. A.; RAMOS, R. A. Dinâmica estrutural arbórea de uma Floresta Ombrófila Mista em Campo Belo do Sul. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 196-212, jul./dez. 2004.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 483 p.
- HIGUCHI, P.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; SILVA, A. C.; MACHADO, E. L. M.; SANTOS, R. M. S.; PIFANO, D. S. Dinâmica da comunidade arbórea em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, Minas Gerais, em diferentes classes de solos. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 417-426, 2008a.
- HIGUCHI, P.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; BEBBER, D. P.; BROWN, N. D.; SILVA, A. C. da.; MACHADO, E. L. M. Spatio-temporal patterns of tree community dynamics in a tropical forest fragment in South-east Brazil. *Plant Ecology*, Nova York, v. 199, n. 1, p. 125-135, nov. 2008b.
- HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F.; LINKE, C.; PAULINO, P. S. 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, jan./mar. 2012.
- HOTHORN, T; ZEILEIS, A. **partykit**: A Toolkit for Recursive Partytioning. R package version 0.1-6, URL Disponível em: . Acesso em: 10 jan. 2013
- IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012. 275 p. (Série: Manuais técnicos em geociências, n.1)
- JARDIM, F. C. S.; SERRÃO, D. R.; NEMER, T. C. Efeito de diferentes Tamanhos de clareiras, sobre o crescimento e a mortalidade de espécies arbóreas, em Moju-PA. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 37, n. 1, p. 37-48, jan. 2007.
- KORNING, J.; BALSLEV, H. Growth and mortality of trees in Amazonian tropical rain forest in Ecuador. *Journal of Vegetation Science*, Hoboken, v. 4, n. 1, p. 77-86, fev. 1994.
- LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; RANKIN-DE-MERONA, J. M.; LAURANCE, S. G. Rain forest fragmentation and the dynamics of Amazonian tree communities. *Ecology*, Ithaca, v. 79, n. 6, p. 2032-2040, set. 1998.
- LEMMON, P. A spherical densiometer for estimating forest overstory density. *Forest Science*, Bethesda , v. 2, n. 1, p. 314-320, jan. 1956.
- LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. S. Mortality patterns and stand turnover rates in a wet tropical forest in Costa Rica. *Journal of Ecology*, Hoboken, v. 73, n. 3, p. 915-924, nov. 1985.
- LIMA, R. A. F. Estrutura e regeneração de clareiras em florestas pluviais tropicais. *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 651-670, out./dez. 2005.

- MACHADO, E. L. M. **Heterogeneidade espacial e temporal em um fragmento de floresta estacional em Lavras, MG.** 2005. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Spatial patterns of tree community dynamics are detectable in a small (4 ha) and disturbed fragment of the Brazilian Atlantic forest. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 250-261, jan./mar. 2010.
- MARTINS, S. V. **Aspectos da dinâmica de clareiras em uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP.** 1999. 215 p. Tese (Doutorado em Ciência da Biologia Vegetal). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 1999.
- MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; BARRETO, T. G. Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. *Floresta*, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 153-164, jan./mar., 2013.
- MORAN, P. A. P. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, Oxford, v. 37, n.1-2, p. 17-23, jun. 1950.
- NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 105-119, jan. 2001.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; MELLO, J. M.; SCOLFORO, J. R. Effects of past disturbance and edges on tree community structure and dynamics within a fragment of tropical semideciduous forest in south-eastern Brazil over a five years period (1987-1992). *Plant Ecology*, Nova York, v. 131, n. 1, p. 45-66, jul. 1997.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; CARVALHO, D. A.; GAVILANES, M. L. Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeastern Brazil. *Flora*, Amsterdam, v. 189, n. 4, 287-305, 1994.
- PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T.; LAURANCE, W. E.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ VARGAS, P.; SILVA, J. N. M.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; BROWN, S.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CZIMCZIK, C. I.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; KUEBLER, C.; LAURANCE, S. G.; NASCIMENTO, H. E. M.; OLIVIER, J.; PALACIOS, W.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALDIAS, M.; TORRES LEZAMA, A.; VINCETI, B. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, Londres, v. 359, n. 1443, p. 381-407, mar. 2004.
- PHILLIPS, O. L.; HALL, P.; GENTRY, A. H.; SAWYER, S. A.; VÁSQUEZ, R. Dynamics and species richness of tropical forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v. 91, n. 7, p. 2805-2809, mar. 1994.
- PRIMACK, R. B.; ASHTON, P. S.; CHAI ; LEE, H. S. Growth rates and population structure of Moraceae trees in Sarawak, East Malaysia. *Ecology*, Washington, v. 66, n. 2, p. 577-588, abr. 1985.
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2012. Disponível em Acesso em: 16 de maio de 2013.
- RICKLEFS, R. E. Environmental Heterogeneity and Plant Species Diversity: A Hypothesis. *American Naturalist*, Chicago, v. 111, n. 978, 1977.
- ROSENBERG, M. S. **Passage: Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis.** Version 1.1. Department of Biology, Arizona State University, Tempe, AZ, 2001.
- SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. **As florestas e o carbono.** Curitiba, p.119 -140, 2002.
- SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; EISFELD, R. L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 101-112, 2003.

- SANTOS, M. B. **Dinâmica da regeneração de clareiras naturais na Floresta de Restinga na Ilha do Cardoso, Cananéia/SP**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2007.
- SHEIL, D.; JENNINGS, S.; SAVILL, P. Long-term permanent plot observations of vegetation dynamics in Bundongo, a Ugandan rain forest. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 16, n. 6, p. 675-800, nov. 2000.
- SHEIL, D.; MAY, R. M. Mortality and recruitment rate evaluations in heterogeneous tropical forests. **Journal of Ecology**, Hoboken, v. 84, n. 1, p. 91-100, fev. 1996.
- SILVA, A. C.; BERG, E. V. D.; HIGUCHI, P.; NUNES, M. H. Dinâmica de uma comunidade arbórea após enchente em fragmentos florestais no sul de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 883-893, jul./ago. 2011.
- SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; AGUIAR M. D.; NEGRINI, M.; FERT NETO J.; HESS, A. F. 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, jan./mar. 2012.
- SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAÚJO, Q. R.; PIRES, A. J. V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 101-107, jan./fev. 2007.

Recebido em 18/07/2013

Aceito para publicação em 10/03/2014

