



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

YVES RAFAEL BOVOLENTA

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA ESTRUTURA DE
POPULAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES
ESTRATOS VERTICAIS**

Londrina
2011

YVES RAFAEL BOVOLENTA

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FRAGMENTOS FLORESTAIS NA ESTRUTURA DE
POPULAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES
ESTRATOS VERTICAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Pimenta

Londrina
2011

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B783i Bovolenta, Yves Rafael.

Influência do estado de conservação de fragmentos florestais na estrutura de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais / Yves Rafael Bovolenta. – Londrina, 2011.

vii, 71 f. : il.

Orientador: José Antonio Pimenta.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Ecologia florestal – Teses. 2. Florestas – Conservação – Teses. 3. Florestas – Regeneração – Teses. 4. Ecologia vegetal – Teses. I. Pimenta, José Antonio. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 581.5



COORDENADORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
Divisão de Admissão e Registro

PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Discente: Tereza Rafaela Bovianna

Título: "Influência do estado de conservação de fragmentos florestais na estrutura de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais".

Data da Defesa: 10 de junho de 2011 - 08:30 hs, na sala de aula de Mestrado de Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parer

Dr. José Antonio Pimenta

APROVADO

Dr. Francisco Striagem Soares

APROVADO

Dr. José Marcelo Domingues Torres

APROVADO

Parer Final APROVADO


Dr. José Antonio Pimenta


Dr. Francisco Striagem Soares


Dr. José Marcelo Domingues Torres

DEDICO

Aos meus pais,
MÁRCIA e VALDIR e ao meu irmão YURI RENAN,
co-autores da minha vida

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS.

Ao professor DR. JOSÉ ANTONIO PIMENTA, pela aula de orientação, confiança no meu trabalho e sobretudo por sua amizade.

Ao professor DR. EDMILSON BIANCHINI pela orientação, apoio em todas as etapas e amizade.

À DRA. CAROLINA BERNUCCI VIRILLO pelas valiosas sugestões e contribuição na banca de avaliação.

Ao professor DR. JOSÉ MARCELO D. TOREZAN que primeiro me recebeu e abriu as portas na UEL.

Ao DIEGO PARDAL, pela parceria de campo, de barro, de carro, de dados, de discussão dos dados e de amizade, uma grande parcela dessa dissertação pertence a ele.

À MARISTELA YUKA ZAMA, pela parceria eterna e ajuda em todas as fases desse mestrado e fora dele. Cada linha dessa dissertação passou inúmeras vezes por ela. Obrigado Cabeção.

À ELOÍSA DE SOUZA CARVALHO, por toda ajuda em campo, sincera amizade, filosofadas e otimismo sem igual.

À ANA PAULA LIBONI pela ajuda em campo, na correção dos resumos e pela amizade.

À BIANCA BUCK PERINA que cedeu valiosas imagens para minha apresentação e pela amizade.

À todos da TURMA 2009 do mestrado em Ciências Biológicas da UEL, muito sucesso a todos.

Ao programa de PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS da UEL e a todo seu corpo docente e funcionários, nunca aprendi tanto quanto nesses últimos dois anos.

Ao INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ por permitir a realização do trabalho nas unidades de conservação.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Aos meus PAIS e meu IRMÃO, responsáveis por tudo isso.

À toda minha FAMÍLIA, que durante esses dois anos sempre me perguntou, você sumiu? O que aconteceu? Desculpe pelas faltas e obrigado pela compreensão e carinho.

Ao meu avô e padrinho LUIZ MAINETTI (*i. m.*), que me ensinou, ainda criança, a andar pelos caminhos do campo.

À TODOS que de alguma maneira contribuíram para a realização desse trabalho.

Enfim terminamos

Eis aí nossa dissertação!

Muito obrigado.

BOVOLENTA, Yves Rafael. **Influência do estado de conservação de fragmentos florestais na estrutura de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais**. 2011. 71f. Dissertação (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

RESUMO

A estrutura de populações representa uma síntese da história de vida dos indivíduos de populações arbóreas, e influencia na capacidade competitiva, de sobrevivência, de colonização e reprodutiva. Foram determinadas as relações alométricas de altura e diâmetro e as estruturas de tamanho e espacial de populações arbóreas de espécies de subosque (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, e *Inga marginata* Willd.) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.) em áreas com e sem histórico de exploração de madeira. O Parque Estadual Mata São Francisco (23° 15' S e 50° 45' W), sofreu corte seletivo de madeira no passado e o Parque Estadual Mata dos Godoy (23° 27' S e 51° 15' W) não possui histórico de exploração, considerado em ótimas condições de preservação. Foram demarcadas 60 parcelas contínuas (áreas amostrais) de 100 m² (10 m x 10 m), subdivididas em 240 subparcelas de 25 m² (5 m x 5 m), sendo que 120 subparcelas foram alocadas em cada uma das áreas de estudo. Utilizou-se o ANCOVA para testar possíveis diferenças nas relações alométricas entre diâmetro e altura entre as populações das diferentes áreas. Para avaliar a simetria das distribuições de tamanho foi usado o coeficiente de assimetria (skewness), e o teste de Kolmogorov-Smirnov para comparar as estrutura de tamanho entre áreas e entre espécies. A distribuição espacial foi avaliada pelo coeficiente de autocorrelação de Moran (*I*). Observaram-se diferenças nas relações alométricas, distribuição das classes de tamanho e padrão espacial entre áreas, indicando que os impactos sofridos pela exploração de madeira alteraram a estrutura populacional de algumas espécies. Além disso, os resultados sugerem que o processo de regeneração florestal está ocorrendo, evidenciado pelos indivíduos das espécies de dossel *C. xanthocarpa* e *C. canjerana*, que apresentam arquitetura igual entre a área explorada e preservada e pelo grande número de indivíduos regenerantes da maioria das espécies, distribuídos por toda a extensão das áreas amostrais. Mesmo as espécies que possuem madeira com alto valor econômico, que foram alvos diretos da exploração e tem um déficit de indivíduos nas maiores classes de tamanho, possuem regenerantes na maioria das parcelas da área explorada, mesmo que em menor quantidade, indicando que os propágulos estão chegando a essa área. As espécies de subosque ocupam com maior densidade toda a extensão das áreas amostrais e possuem a arquitetura explicada pelo modelo de similaridade geométrica nas duas áreas, com exceção da população de *I. marginata* que se comportou diferente das demais na área explorada. Os dois grupos de espécies apresentam o mesmo padrão de crescimento quando se desenvolvem sob o dossel sombreado da floresta, só é possível uma diferenciação mais clara na arquitetura entre grupos quando incluídos os indivíduos mais altos de dossel, que possuem maior investimento em espessura. As espécies de dossel/emergente diretamente exploradas (*A. polyneuron* e *C. canjerana*) se regeneram, ainda sem ocupar o dossel efetivamente como ocupam na área preservada, enquanto *C. xanthocarpa* se desenvolve bem em ambas as áreas. Aspectos populacionais, como as relações alométricas e as estruturas de tamanho e espacial se mostraram importantes na avaliação dos efeitos do distúrbio sobre as populações e dos processos de regeneração da floresta.

Palavras-chave: Corte seletivo de madeira. Ecologia de populações. Grupos funcionais. Regeneração florestal.

BOVOLENTA, Yves Rafael. **Influência do estado de conservação de fragmentos florestais na estrutura de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais.** 2011. 71f. Dissertação (Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2011.

ABSTRACT

The population structure is a synthesis of the tree population life history, and affects the competitive capacity, survival, colonization and reproduction of tree species. Height and diameter allometric relationships, size structure and spatial arrangement of individuals in populations were determined to understory trees (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, and *Inga marginata* Willd.) and canopy/emergent trees (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. and *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart.) in logged and unlogged semideciduous forest areas. The São Francisco Forest State Park (23° 15' S and 50° 45' W) has selective logging records, and Godoy Forest State Park (23° 27' S and 51° 15' W) has optimal preservation conditions. In the study, 60 continuous plots (sampling areas) of 100 m² (10 m x 10 m), subdivided in 240 subplots of 25 m² (5 m x 5 m) were defined, and 120 subplots were allocated in each area. ANCOVA test was used to compare possible differences between height and diameter allometric relationships between areas. The coefficient of skewness was used to summarize the symmetry of tree size distributions, and the Kolmogorov-Smirnov test to compare the size structure between areas and between species. The spatial distribution was assessed by Moran's spatial autocorrelation coefficient (*I*). Allometric relationships, size distribution and spatial pattern differed between areas, demonstrating that the impacts of logging altered the population structure of some species. Moreover, the results suggested that the process of forest regeneration is occurring, evidenced mainly by canopy species individuals from *C. xanthocarpa* and *C. canjerana* that had the same architecture in explored and preserved areas, and the large number of regenerating individuals of most species, distributed by all sample areas. The high-valued commercial timber species, which were exploited and had a deficit of individuals in the largest size classes, are regenerating in most plots of the explored area, even fewer, indicating that the propagules are coming to this area. Understory species occupied all the extension of the sample areas with higher density and had the architecture explained by the geometric similarity model in both areas, except for the population of *I. marginata* that was different from others in the explored area. Both groups of species exhibited the same growth pattern under the shaded canopy of the forest, and there was a difference between groups architecture when the highest canopy individuals were including, which showed greater increase in thickness. The canopy/emergent species directly explored (*A. polyneuron* and *C. canjerana*) are regenerating, without taking up the canopy effectively as they do in the preserved area, while *C. xanthocarpa* grew well in both areas. Population aspects, such as allometric relationships, size and spatial structures were important in assessing the disturbance effects on studied populations and forest regeneration processes.

Key words: Forest regeneration. Functional groups. Population ecology. Selective logging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil.....	17
Figura 2 – Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.....	18
Figura 3 – <i>Actinostemon concolor</i>	19
Figura 4 – <i>Sorocea bonplandii</i>	19
Figura 5 – <i>Inga marginata</i>	19
Figura 6 – <i>Campomanesia xanthocarpa</i>	20
Figura 7 – <i>Aspidosperma polyneuron</i>	20
Figura 8 – <i>Cabralea canjerana</i>	20

Capítulo 1

Figura 1 – Localização das áreas de estudo: Parque Estadual Mata São Francisco e Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.....	26
Figura 2 – Regressão entre diâmetro à altura do solo (cm) e altura total (m) de espécies arbóreas de subosque (<i>Actinostemon concolor</i> , <i>Sorocea bonplandii</i> e <i>Inga marginata</i>) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil.....	31
Figura 3 – Regressão entre diâmetro à altura do solo (cm) e altura total (m) de espécies arbóreas de dossel/emergente (<i>Campomanesia xanthocarpa</i> , <i>Aspidosperma polyneuron</i> , e <i>Cabralea canjerana</i>) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Os indivíduos maiores que 10 m de altura (excluídos das análises) são representados por um <i>x</i> nos gráficos.....	32

Capítulo 2

Figura 1 – Localização das áreas de estudo: Parque Estadual Mata São Francisco e Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.....	45
Figura 2 – Classes de distribuição de altura de indivíduos de espécies arbóreas de subosque (<i>Actinostemon concolor</i> , <i>Sorocea bonplandii</i> e <i>Inga marginata</i>)	

e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil 50

Figura 3 – Classes de distribuição de diâmetro de indivíduos de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil 51

Figura 4 – Correlogramas espaciais da densidade de espécies de subosque, seguidos por mapas de distribuição das espécies ao longo das áreas amostrais (50 m x 60 m), nas duas áreas de estudo, respectivamente a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Pontos do correlograma preenchidos em preto indicam valores de I de Moran significativos ao nível de $\alpha = 5\%$ (para correlogramas globalmente significativos). O diâmetro das circunferências nos mapas de distribuição é representativo das classes de tamanho. A= *Actinostemon concolor*. B= *Sorocea bonplandii*. C= *Inga marginata*..... 53

Figura 5 – Correlogramas espaciais da densidade de espécies de dossel/emergente, seguidos por mapas de distribuição das espécies ao longo das áreas amostrais (50 m x 60 m), nas duas áreas de estudo, respectivamente a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Pontos do correlograma preenchidos em preto indicam valores de I de Moran significativos ao nível de $\alpha = 5\%$ (para correlogramas globalmente significativos). O diâmetro das circunferências nos mapas de distribuição é representativo das classes de tamanho. A= *Campomanesia xanthocarpa*. B= *Aspidosperma polyneuron*. C= *Cabrlea canjerana* 54

Figura 6 – Diagrama de caixa (box plot) do índice de cobertura vegetal (%) da área preservada o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e da área explorada o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. As caixas representam as médias e a amplitude total da distribuição (25% e 75%). As linhas verticais representam os valores máximos e mínimos. Os pontos pretos representam valores extremos..... 55

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1 – Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro à altura do solo (DAS) (cm) e a altura total (AT) (m) ($\log DAP = a + b \log AT$) de populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) do Parque Estadual Mata do Godoy (PEMG) (área preservada) e do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (área com histórico de exploração de madeira), Paraná, Brasil..... 30

Tabela 2 – Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro à altura do solo (DAS) (cm) e a altura total (AT) (m) ($\log DAP = a + b \log AT$) de populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) do Parque Estadual Mata do Godoy (PEMG) (área preservada) e do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (área com histórico de exploração de madeira), Paraná, Brasil. Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si 33

Capítulo 2

Tabela 1 – Número de indivíduos amostrados das populações de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil..... 49

Tabela 2 – Coeficiente de assimetria (skewness) da estrutura de tamanho (altura e diâmetro) das populações de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil 52

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
METODOLOGIA GERAL	17
Áreas de estudo	17
Caracterização das espécies.....	18
Área amostral.....	21
CAPÍTULO 1	
1.1 INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NAS RELAÇÕES ALOMÉTRICAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES ESTRATOS VERTICAIS	22
CAPÍTULO 2	
2.2 INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA ESTRUTURA DE TAMANHO E ESPACIAL DE POPULAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES ESTRATOS VERTICAIS	41
CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS	67

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui a maior cobertura de florestas tropicais do mundo (Brasil 2002). Além disso, devido à sua extensão territorial, diversidade geográfica e climática, abriga uma imensa diversidade biológica, o que faz dele o principal entre os países detentores de megadiversidade do Planeta, possuindo entre 15 e 20% das 1,5 milhões de espécies descritas na Terra (Brasil 2002). Possui a flora mais rica do mundo, com cerca de 55 mil espécies de plantas superiores (aproximadamente 22% do total mundial), 524 espécies de mamíferos, 1.677 de aves, 517 de anfíbios e 2.657 de peixes (Lewinsohn e Prado 2000, Brasil 2002).

Abrangendo 17 estados brasileiros, além de áreas na Argentina e no Paraguai, a Mata Atlântica forma um complexo de ecossistemas que abriga uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil, mas constitui também um dos biomas mais ameaçados no mundo (Fundação S.O.S Mata Atlântica e Inpe 2008). Isso se deve a destruição de áreas de floresta que resulta em alterações severas para os ecossistemas pela alta fragmentação do hábitat e perda da biodiversidade (Fundação S.O.S Mata Atlântica e Inpe 2008, Metzger 2009). Estima-se que sua área atual está reduzida a cerca de 11,4 a 16% da área original em remanescentes extremamente fragmentados, sendo que 83,4% desses fragmentos possuem menos de 50 ha (Ribeiro et al. 2009). Segundo os levantamentos da Fundação SOS Mata Atlântica em conjunto com o Inpe (2008) considerando remanescentes florestais da Mata Atlântica com representatividade para a manutenção da biodiversidade (> 100 ha) a área original está reduzida a 7,26%.

A Mata Atlântica possui no estado do Paraná três grandes classes de formação florestal: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (Velloso et al. 1991). A floresta estacional semidecidual aproxima-se das florestas secas, cuja fisionomia é marcada pela estacionalidade e semideciduidade foliar, além de semelhanças no que diz respeito às adaptações genéticas e parâmetros ecológicos. A porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50% (Velloso et al. 1991). O conceito ecológico deste tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática, uma tropical com chuvas intensas no verão e outra subtropical sem período seco muito marcante e ocorre geralmente em solos derivados de derrames basálticos (Velloso et al. 1991).

O Paraná já foi o estado brasileiro com maior índice de desmatamento entre 1985 e 1990, no entanto, esta prática teve uma redução de 84% no período entre 1995 e 2000,

mas ainda assim são muitas as áreas desflorestadas (Fundação S. O. S Mata Atlântica e Inpe 2008). A cobertura florestal nativa da região norte do Paraná foi reduzida de 84% em 1900 (Fundação S. O. S Mata Atlântica e Inpe 2001) para 6,86% em 1980, terminando com a continuidade da vegetação original na escala regional e causando mudanças ambientais em grande escala, como incêndios e erosão do solo (Rodríguez 1993, Paula e Rodrigues 2002). A atividade agrícola que se desencadeou no norte do estado a partir de 1920, em função da fértil “terra roxa”, resultou na fragmentação da outrora contínua floresta estacional semidecidual, que foi rapidamente reduzida a pequenos e isolados fragmentos florestais. A redução da área florestal foi tão drástica que atualmente resta menos de 2% da cobertura original do norte do estado (Anjos 1998, Medri et al. 2002).

Com a necessidade de conservar os últimos remanescentes de floresta no estado criou-se, em 1994, o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), que é hoje a maior unidade de conservação do norte do Paraná e contribui muito na preservação de espécies, educação ambiental e pesquisa científica (Tomé et al. 1999). O PEMSF se encontra à beira da rodovia BR-369 e está cercado principalmente por cultura de grãos (Tomé e Vilhena 1996), sofreu com o corte seletivo de madeira, alterando, entre outros fatores, a cobertura do dossel, promovendo o estabelecimento de taquaras (Silveira et al. 2008) e lianas (observação pessoal). Segundo um estudo preliminar de Bovolenta et al. (2009), o padrão da estrutura diamétrica de indivíduos arbóreos se encontra em “J invertido”, com 67,8% dos indivíduos nas duas primeiras classes de diâmetro (5,0-14,9 cm) caracterizando-a como auto-regenerante, demonstrando que há indícios de recuperação da floresta, chamando a atenção à necessidade de mais estudos.

O histórico de perturbações tem muitas implicações na sucessão florestal, pois, diferentes tipos e intensidades de perturbação podem resultar em diferentes estruturas florestais (Alves e Metzger 2006). As alterações no ambiente florestal não causam apenas efeitos diretos, mas podem causar os chamados efeitos em cascata, acarretando, por exemplo, em alterações na estrutura das populações (Getzin et al. 2008).

Getzin et al. (2008) sugerem que mais ênfase deve ser dada em investigar o papel das alterações no ambiente sobre a vegetação. Muito do que se tem escrito sobre regeneração natural se refere à avaliação de poucas espécies de interesse econômico em silvicultura depois de removido a madeira ou de um manejo (Lee et al. 2005, Yamagawa e Ito 2006). A regeneração sobre essas condições de florestas plantadas não demonstra com fidelidade os processos de regeneração de áreas complexas como as florestas tropicais. É

preciso conhecer mais sobre a dinâmica desses ecossistemas em condições naturais (Richards 1996, Getzin et al. 2008).

Compreender como ocorre a regeneração florestal nessas áreas que foram sujeitas a diferentes regimes de perturbação, tanto natural como antrópico é um dos primeiros passos para efetivamente propor ações de recuperação e manejo (Alves e Metzger 2006), considerando que a regeneração florestal é um processo pelo qual a floresta perturbada atinge características da floresta madura (Saldarriaga e Uhl 1991, Tabarelli e Mantovani 1999).

Os processos envolvendo a regeneração natural de florestas tropicais são complexos (Richards 1996). Liebsch et al. (2008) estimaram em florestas alteradas com a degradação ambiental no sul e sudeste do Brasil que alguns parâmetros ecológicos podem levar de 100 a 4000 anos para atingir os níveis esperados para uma floresta madura. Porém, o ritmo e a trajetória dos processos de regeneração dependem de características como a distância das fontes de propágulos e o tipo e intensidade do distúrbio (Guariguata e Ostertag 2001), além disso, é um processo complexo e controlado por diferentes variáveis bióticas e abióticas (Brokaw 1985, De Steven 1988, Lima 2005). Mesmo assim essas florestas alteradas podem desempenhar um papel importante na conservação da biodiversidade (Dent e Wright 2009).

No norte do Paraná, um fragmento que é tido como referência em preservação dos recursos naturais é o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), que apresenta uma alta diversidade de espécies animais e vegetais, com potencial para servir como ecossistema de referência e como padrão de comparação para projetos de restauração e conservação ambiental na região (Torezan 2006). Para que esses projetos possam definir corretas ações de conservação em um curto prazo de tempo há a necessidade de se utilizar atalhos, ou seja, bons indicadores ecológicos, normalmente representados por uma espécie, ou grupo de espécies indicadoras (Metzger 2009).

Grupos de espécies podem reunir características similares, como estratégias de regeneração (germinação e estabelecimento), de estratificação (subosque, dossel e emergente), de dispersão (zoocoria, anemocoria, autocoria), categoria sucessional (pioneiras, secundárias e clímax), chamados de guildas ou grupos funcionais. Walker (1992) chama a atenção para que avaliemos a conservação de uma floresta através de uma ótica de funcionalidade do ecossistema. Dessa forma o uso de grupos funcionais, em avaliações ecológicas pode ser uma ferramenta útil para interpretar os processos de regeneração da floresta. O uso da estratificação vertical ou camadas de vegetação (por exemplo, árvores de subosque, dossel ou emergentes) como um meio de separação de grupos funcionais é

considerado como um bom indicador em estudos ecológicos (Tabarelli et al. 1999, Lyon e Sagers 2002, Bohlman e O'Brien 2006, Bianchini et al. 2010), pois espécies que ocupam os estratos superiores (dossel e emergente) e inferiores (subosque) da floresta estão sujeitas à condições microclimáticas diferenciadas e devem operar em diferentes intensidades de luminosidade, temperatura, umidade relativa e turbulência de ventos, entre outras características (King 1990, Niklas 1995, Bohman e O'Brien 2006).

Dentre as espécies que se destacam em levantamentos florísticos na região norte do Paraná, representando diferentes estratos florestais, estão *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, *Inga marginata* Willd (subosque) e *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (dossel/emergente) entre outras, que apresentam altos valores do índice de valor de importância (IVI) em estudos fitossociológicos na região (Soares-Silva e Barroso 1992, Tomé et al. 1999).

A regulação tanto da estrutura da comunidade quanto do funcionamento do ecossistema tornam-se evidentes quando se somam as características dos diferentes processos populacionais (Ricklefs 2003). A estrutura que podemos identificar em populações de plantas resulta da ação de forças bióticas e abióticas que seus membros, e em alguns casos seus ancestrais, tenham sido expostos no passado (Hutchings 1997), sendo assim, aspectos populacionais podem representar bons indicadores da regeneração florestal.

As diferenças na forma dos indivíduos (alometria), na estrutura de tamanho e como os indivíduos estão distribuídos no espaço (estrutura espacial), entre outros aspectos, caracterizam a estrutura populacional em plantas, fornecendo informações sobre as respostas dessas populações em face às variações ambientais (Harper 1977, Hutchings 1997).

A arquitetura dos indivíduos de uma população, representado pelas relações alométricas, expressa quantitativamente características morfológicas das plantas, que afetam a interceptação da luz, o crescimento em altura e a reprodução, determinando, portanto, a história de vida das espécies arbóreas (Kohyama e Hotta 1990, Archibald e Bond 2003). As características de seu hábitat e as pressões ambientais sob o qual os indivíduos estão expostos influenciam sua arquitetura (King 1990, Niklas 1995, Bohlman e O'Brien 2006, Vieilledent et al. 2010), dessa forma o estudo das relações alométricas pode ser uma boa ferramenta para avaliar a influência das características de hábitat sobre a regeneração de áreas exploradas.

Devido à dificuldade em estimar a idade de espécies arbóreas nas florestas tropicais, o tamanho (altura e diâmetro) é utilizado como um bom descritor do comportamento dos indivíduos de uma população. A estrutura de tamanho retrata uma síntese

da história de vida das populações de árvores (Kelly et al. 2001, Wright et al. 2003, Bianchini et al. 2010) e permite fazer inferências sobre ela, se apresentando como bom indicador, apesar das flutuações populacionais (Wright et al. 2003), pois resume os atributos de recrutamento, sobrevivência e mortalidade de uma população (Kelly et al. 2001, Wright et al. 2003), além de ser sensível às alterações no ambiente (McLaren et al. 2005, Souza 2007, Poorter et al. 2008).

O padrão espacial está associado à distribuição dos organismos no espaço, o qual de uma maneira mais formal pode ser definido como a relação ou dependência espacial existente entre os valores de uma variável em diferentes locais (Maestre e Escudero 2008). Sua compreensão pode ajudar a entender a influência de fatores bióticos e abióticos na distribuição dos indivíduos e a intensidade das relações espaciais entre os organismos e o seu ambiente (Hutchings 1997, Fortin e Dale 2009), resultando em padrões de distribuição diferentes de acordo com a conservação da floresta (Sapkota et al. 2009, Tsingalia 2010).

Sendo assim, estudos de alometria, estrutura de tamanho e padrão espacial podem servir de base para a construção inicial de hipóteses, modelos e predições, que apresentem contribuição importante para planos de manejo e recuperação, principalmente quando se considerarem espécies importantes nos processos de regeneração natural da floresta (Danciguer 1996). A caracterização tanto do ambiente quanto da estrutura de populações de plantas são importantes para fornecer informações sobre os fatores que influenciam os processos populacionais, a capacidade de regeneração e as respostas de uma população à ocorrência de perturbações em um determinado local (Harper 1977, Clark 1994, Miranda-Melo et al. 2007).

Este trabalho objetiva avaliar o efeito do histórico de exploração de fragmentos florestais na alometria e na estrutura de tamanho e espacial de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais. As duas áreas de estudo fazem parte da mesma formação florestal, com idade, clima e solo semelhantes, localizados na mesma região. No entanto, diferem pelo fato de se tratar de áreas com diferentes históricos, visto que somente no PEMSF houve significativas intervenções humanas, principalmente, com o corte seletivo de madeira. Considerando estas características, neste estudo, foram comparadas as relações alométricas, a estrutura de tamanho e a estrutura espacial de populações de espécies com altos índices de valor de importância (IVI) que ocupam diferentes estratos verticais em floresta estacional semidecidual, servindo como indicador dos processos de regeneração florestal.

Para cumprir esse objetivo procurou-se responder às seguintes questões: Existem diferenças na relação alométrica de diâmetro e altura dos indivíduos localizados nos diferentes remanescentes florestais? Os indivíduos das espécies dos diferentes estratos

florestais apresentam variações na relação alométrica de diâmetro e altura? As espécies apresentam estrutura de tamanho e espacial diferentes entre a floresta preservada e a floresta que foi alterada pela exploração de madeira? As espécies dos diferentes estratos apresentam estrutura de tamanho e espacial diferenciadas? A expectativa é de que os grupos de espécies apresentem padrões alométricos e estrutura de tamanho e espacial diferentes, e que na floresta explorada exista um maior investimento em espessura dos indivíduos, maior predominância de indivíduos jovens (assimetria positiva) e padrão espacial mais agrupado, devido a um índice de cobertura do dossel menor e mais heterogêneo, e conseqüente maior luminosidade disponível no interior da floresta, como consequência da própria exploração.

Os resultados são apresentados na forma de dois capítulos inter-relacionados. O capítulo 1 aborda a influência do estado de conservação dos fragmentos florestais nas relações alométricas de populações de espécies arbóreas de diferentes estratos verticais e o capítulo 2 aborda a influência do estado de conservação dos fragmentos florestais na estrutura de tamanho e espacial dessas espécies.

METODOLOGIA GERAL

Áreas de estudo

Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionadas duas áreas com diferentes históricos de preservação, ambas pertencentes ao grupo de unidades de conservação integral do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). As duas áreas fazem parte da mesma formação florestal, com idade, clima e solo semelhantes, localizados na mesma região, distantes 76 km uma da outra.

O Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (Fig. 1) criado pelo Decreto Lei nº 4333 de 05 de dezembro de 1994 está localizado no norte do estado do Paraná, entre os municípios de Santa Mariana e Cornélio Procópio, latitude 23° 15' S e longitude 50° 45' W (Tomé et al. 1999). Possui uma área de 832,58 hectares, e sua vegetação é classificada como floresta estacional semidecidual, sofreu com corte seletivo de madeira, e hoje apresenta alguns desequilíbrios como o excesso de lianas e taquaras, está à beira da rodovia BR-369 e cercada principalmente por cultura de grãos (Tomé e Vilhena 1996).

Figura 1 - Parque Estadual Mata São Francisco, Paraná, Brasil.



Fonte: Imagem Google Earth.

O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) (Fig. 2) criado pelo Decreto Estadual nº 5150 de 05 de junho de 1989 também se localiza no norte do Paraná, está sob o

Trópico de Capricórnio no município de Londrina, latitude 23° 27' S e longitude 51° 15' W. Possui uma área de 680 hectares, sua vegetação também é classificada como floresta estacional semidecidual, atualmente está conectado a outros fragmentos, perfazendo cerca de 2.800 ha (Vicente 2006), não há histórico de exploração e está cercado por cultura de grãos, áreas florestadas e reflorestadas (Silveira 1993, Torezan 2006).

Figura 2 - Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.



Fonte: Imagem Google Earth.

O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo classificação de Köppen, com precipitação média entre 1200 a 1600 mm distribuídos irregularmente durante o ano (Iapar 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico para as duas áreas, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos para o PEMSF e associações com Neossolos Litólicos para o PEMG, todos considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 1984, 1999, Tomé et al. 1999, Vicente 2006).

Caracterização das Espécies

As espécies utilizadas neste estudo foram *Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*, que ocupam o subosque da floresta e *Aspidosperma polyneuron*,

Campomanesia xanthocarpa e *Cabralea canjerana*, que ocupam o estrato de dossel ou emergente da floresta, todas com alto IVI na região de estudo.

***Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg. (Euphorbiaceae)**

Popularmente conhecida como laranjeira do mato é uma espécie arbórea de subosque, tolerante a sombra (Fig. 3). Floresce de agosto até janeiro. É uma planta seletiva higrófito que ocorre preferencialmente no interior das florestas primárias situadas em solos úmidos, início das encostas e em solos rochosos do alto das encostas (Reitz 1988).

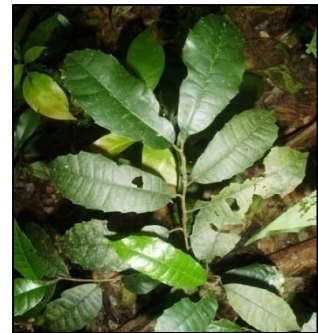
Figura 3 - *Actinostemon concolor*



***Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer (Moraceae)**

Popularmente conhecida como falsa espinheira santa é uma espécie arbórea de subosque, tolerante a sombra (Fig. 4). Floresce entre os meses de julho e setembro. Os frutos maturam entre novembro e dezembro. É uma planta perenifólia, seletiva higrófito, característica e exclusiva de florestas maduras do sul do país, principalmente da “mata pluvial da encosta Atlântica”. É indiferente quanto às condições de solo, podendo ser encontrada também no interior de capoeirões em estágio sucessional adiantado, bem como em matas de altitude (Lorenzi 2002).

Figura 4 - *Sorocea bonplandii*



***Inga marginata* Willd. (Fabaceae)**

Popularmente conhecida como ingá feijão é uma espécie arbórea de subosque, tolerante a sombra (Fig. 5). Floresce durante os meses de outubro até fevereiro. Os frutos maturam entre março e maio. É uma planta semidecídua, seletiva higrófito, característica da “mata pluvial Atlântica e Amazônica”, ocorrendo também na floresta estacional semidecídua da bacia do Paraná, onde ocorre preferencialmente na vegetação secundária, situada em solos

Figura 5 - *Inga marginata*



úmidos. É muito esparsa no interior de mata primária sombria (Lorenzi 2002).

***Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae)**

Figura 6 - *Campomanesia xanthocarpa*

Popularmente conhecida como guabiroba é uma espécie arbórea de dossel, tolerante a sombra (Fig. 6). Floresce entre os meses de setembro e novembro. Os frutos maturam entre novembro e dezembro. É uma planta decídua e seletiva higrófila. É abundante nas partes úmidas das matas de altitude (semidecídua e ombrófila mista), comum na floresta estacional semidecídua da bacia do Paraná e, rara na “mata pluvial da encosta Atlântica” (Pimenta 1998, Lorenzi 2002).



***Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. (Apocynaceae)**

Figura 7 - *Aspidosperma polyneuron*

Popularmente conhecida como peroba-rosa é uma espécie arbórea emergente, tolerante a sombra (Fig. 7). Floresce entre os meses de outubro e novembro. Os frutos maturam entre os meses de agosto e setembro. É característica da floresta estacional semidecidual da bacia do Paraná, e da “mata pluvial Atlântica”. Ocorre preferencialmente em solos profundos e férteis, situados nos espigões e nas encostas, exclusivamente do interior de floresta madura densa. Produz grande quantidade de sementes apenas a cada 2-4 anos (Lorenzi 2002).



***Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae)**

Figura 8 - *Cabralea canjerana*

Cabralea canjerana popularmente conhecida como canjarana é uma espécie arbórea de dossel, tolerante a sombra (Fig. 8). Floresce em mais de uma época do ano, porém com maior intensidade entre setembro e outubro. Os frutos também amadurecem em mais de uma época, predominantemente entre agosto e novembro. É uma planta decídua, encontrada em quase



todas as formações vegetais. Apesar de ser mais comum na floresta primária, pode também ser encontrada como planta pioneira e secundária nas capoeiras e capoeirões. Parece preferir solos argilosos e úmidos de encosta, uma vez que é rara em terrenos secos (Lorenzi 2002).

Área Amostral

Para estudar os vários aspectos da ecologia populacional (relações alométricas, estrutura de tamanho e estrutura espacial, com metodologia detalhada nos respectivos capítulos) das espécies selecionadas, foram demarcadas 60 parcelas (áreas amostrais) de 100 m² (10 m x 10 m), subdivididas em 240 subparcelas de 25 m² (5 m x 5 m), sendo que 120 subparcelas estão no fragmento florestal PEMSF e 120 no PEMG. As parcelas foram alocadas contiguamente, formando um retângulo de 50 m x 60 m (3000 m²) em cada uma das áreas. Tomou-se o cuidado de escolher a área amostral nos dois locais de estudo que possuíssem mesma fisionomia, topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas.

CAPÍTULO 1

1.1 INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NAS RELAÇÕES ALOMÉTRICAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES ESTRATOS VERTICAIS

Artigo a ser publicado na Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências
(Annals of the Brazilian Academy of Sciences)

Resumo

Características do hábitat e pressões ambientais influenciam a arquitetura de árvores, dessa forma o estudo das relações alométricas pode ser importante para avaliar o impacto e a regeneração de áreas exploradas. Foram determinadas as relações alométricas de altura e diâmetro em populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, e *Inga marginata* Willd.) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.) em duas áreas de Floresta Estacional Semidecidual com e sem histórico de exploração de madeira. Observou-se diferenças na alometria de algumas populações entre áreas, porém a regeneração florestal parece estar ocorrendo, evidenciado principalmente pelos indivíduos das espécies de dossel *C. xanthocarpa* e *C. canjerana*, que apresentaram arquitetura igual entre a área explorada e preservada. As espécies de subosque e *A. polyneuron* (intensamente explorada na região), apresentaram relações alométricas diferentes entre as áreas, porém abundantes e com a arquitetura explicada pelo mesmo modelo de similaridade geométrica nas duas áreas. Os dois grupos de espécies apresentaram o mesmo padrão de crescimento sob o dossel sombreado da floresta, porém quando incluídos os indivíduos mais altos, as espécies de dossel/emergente mostraram maior investimento em crescimento em espessura, principalmente na área preservada. O estudo das relações alométricas se mostrou importante e capaz de contribuir na avaliação dos efeitos do distúrbio sobre as populações e os processos de regeneração da floresta.

Palavras-chave: Alometria. Corte seletivo de madeira. Dossel. Regeneração florestal. Subosque.

Abstract

The architecture of trees is influenced by habitat features and environmental pressures, thus allometric studies may be important to assess the impact and regeneration of logged areas. Height and diameter allometric relationships were determined to understory trees (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, and *Inga marginata* Willd.) and canopy/emergent trees (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. and *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart.) in logged and unlogged semideciduous forest areas. The allometric relationships of some population were different between areas, but forest regeneration seemed to be occurring, evidenced mainly by canopy species individuals of *C. xanthocarpa* and *C. canjerana* that had the same architecture in explored and preserved areas. The understory species and *A. polyneuron* (intensively exploited in the region) showed different allometric relationships between areas, but were abundant and had the architecture explained by the same geometric similarity model in both areas. Both groups of species had the same growth pattern under the shade canopy of the forest, but when the highest individuals were included, canopy/emergent species showed greater increase in thickness, mostly in the preserved area. The study of allometric relationships was important and contributed to assess the disturbance effects on populations and forest regeneration processes.

Key words: Allometry. Canopy. Forest regeneration. Selective logging. Understory.

Introdução

Grande parte dos remanescentes florestais existentes sofreu ou ainda sofre algum tipo de impacto relacionado à ação humana (Richards 1996, Dent e Wright 2009). Entre os impactos mais comuns nas florestas está o corte seletivo de madeira (Morellato e Haddad 2000, Guariguata e Ostertag 2001, Burton et al. 2009). Distúrbios causados pela retirada de madeira alteram as condições ambientais necessárias para a sobrevivência e desenvolvimento de plantas nas florestas tropicais, criando um novo hábitat, com taxas de luminosidade, umidade e temperatura completamente diferentes (Guariguata e Ostertag 2001, Liebsch et al. 2008, Burton et al. 2009).

Os processos envolvendo a regeneração natural de florestas tropicais que sofreram algum tipo de distúrbio são complexos e embora sejam obviamente importantes para a conservação e manejo florestal, ainda não são completamente entendidos (Richards 1996), especialmente quando se refere à estrutura de populações. A arquitetura dos indivíduos de uma população, representado pelas relações alométricas, expressam quantitativamente características morfológicas das plantas, e constituem uma ferramenta importante no conhecimento da estrutura das populações e no estudo da ecologia de florestas (Kohyama 1987, Sposito e Santos 2001, Bohlman e O'Brien 2006, Martínez-Sánchez 2008). O tamanho e a forma de um organismo afetam diretamente sua capacidade de capturar recursos, dessa forma são determinantes para a sobrevivência, desenvolvimento, reprodução e competitividade (Vieilledent et al. 2010).

Segundo interpretações de Niklas (1995) e confirmado por vários estudos (King 1990b, Sterck e Bongers 2001, Bohlman e O'Brien 2006, Parish et al. 2008, Vieilledent et al. 2010, Valladares et al. 2011) a alometria em árvores é também uma característica do desenvolvimento plástico, e não somente um caráter fixo de cada espécie, ou seja, as características de seu hábitat e as pressões ambientais sob o qual os indivíduos estão expostos influenciam sua arquitetura. Dessa forma o estudo das relações alométricas pode ser importante para avaliar a influência de características do hábitat de áreas exploradas na forma de crescimento dos indivíduos e ajuda a compreender o processo de regeneração da floresta, considerando a regeneração florestal como um processo pelo qual a floresta perturbada atinge características da floresta madura (Saldarriaga e Uhl 1991, Tabarelli e Mantovani 1999).

A relação alométrica que mais tem sido utilizada em estudos ecológicos é a relação entre diâmetro e altura (Feldpausch et al. 2011). Espécies arbóreas que tem uma relação diâmetro-altura que permite um desenvolvimento competitivo sem comprometer a

estabilidade mecânica são favorecidas (Sposito e Santos 2001). Para simplificar o entendimento da estrutura mecânica em árvores três modelos têm sido propostos: similaridade geométrica, similaridade elástica e tensão constante. O modelo de similaridade geométrica pode ser interpretado como um crescimento isométrico, ou seja, o crescimento em diâmetro (d) é diretamente proporcional ao crescimento em altura (h) ($d \propto h^1$, ver Rich et al. 1986). Segundo o modelo de similaridade elástica, se uma árvore for espessa somente o suficiente para impedir a quebra, o diâmetro basal (cm) de seu caule deve equivaler a $3/2$ de sua altura (m) ($d \propto h^{1,5}$, ver McMahon 1973). O modelo de tensão constante prevê que a altura seja proporcional ao quadrado do diâmetro para que a árvore se mantenha em pé sob níveis de estresse ($d \propto h^2$, ver Dean e Long 1986). Para muitas espécies as relações alométricas não são lineares, mudam de acordo com a ontogenia, e sofrem influência das características do ambiente (King 1996, Bohlman e O'Brien 2006, Parish et al. 2008).

Uma abordagem que facilita o entendimento e interpretação dos processos que ocorrem dentro da complexidade de uma floresta tropical é a análise através de grupos funcionais (Denslow 1980, Swaine e Whitmore 1988, Lyon e Sagers 2002). Vários estudos têm indicado que o padrão alométrico pode variar de acordo com a guilda ecológica (Bohlman e O'Brien 2006, Martínez-Sánchez 2008, Valladares et al. 2011). As espécies vegetais podem ser classificadas em guildas ou grupos funcionais com base em uma variedade de características ecológicas e fisiológicas (Denslow 1980, Swaine e Whitmore 1988, Skov 2000, Lyon e Sagers 2002, Gourlet-Fleury et al. 2005). O uso da estratificação vertical ou camadas de vegetação (por exemplo, árvores de subosque, dossel ou emergentes) como um meio de separação de grupos funcionais é considerado como um bom indicador em estudos ecológicos (Tabarelli et al. 1999, Lyon e Sagers 2002, Bohlman e O'Brien 2006, Bianchini et al. 2010).

Com o objetivo de contribuir para o conhecimento da ecologia de espécies arbóreas tropicais em áreas com e sem histórico de exploração de madeira, neste estudo foram analisadas as relações alométricas de algumas espécies abundantes de diferentes estratos florestais (subosque e dossel/emergente) de dois fragmentos de floresta estacional semidecidual. Foram levantadas as seguintes questões: 1) Existem diferenças na relação alométrica de diâmetro e altura dos indivíduos localizados na floresta preservada e na floresta que foi alterada pela exploração de madeira? 2) Os indivíduos das espécies dos diferentes estratos florestais apresentam variações na relação alométrica de diâmetro e altura? Espera-se que os grupos de espécies apresentem padrões alométricos diferentes, e que na floresta

explorada exista um maior investimento em espessura dos indivíduos, devido a um menor índice de cobertura do dossel, e conseqüente maior luminosidade disponível no interior da floresta, como conseqüência da própria exploração.

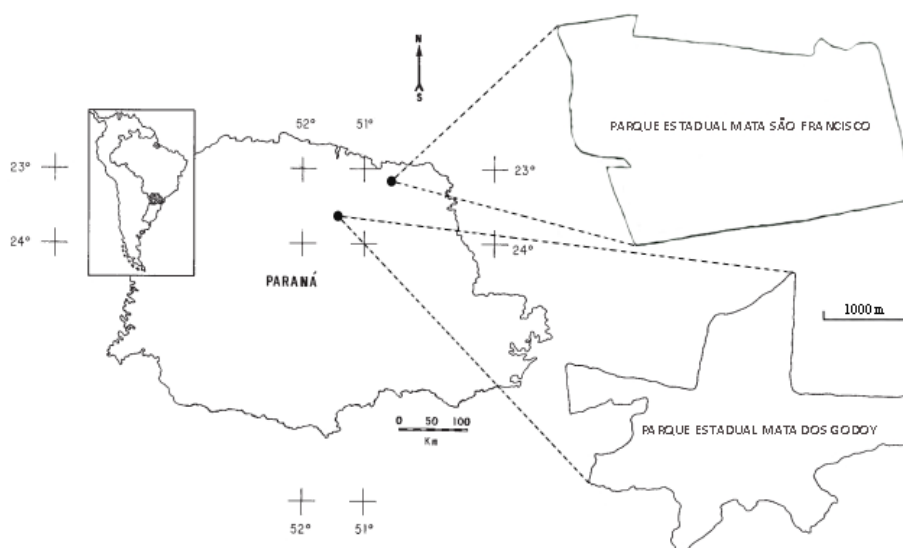
Métodos

Áreas de Estudo

Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionadas duas áreas de floresta tropical, pertencentes ao bioma mata atlântica, classificadas como floresta estacional semidecidual.

O Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (Fig. 1) possui uma área de 832,58 hectares e está localizado no norte do estado do Paraná, Brasil, entre os municípios de Santa Mariana e Cornélio Procópio, latitude $23^{\circ} 15' S$ e longitude $50^{\circ} 45' W$ (Tomé et al. 1999). Esta área sofreu corte seletivo de madeira e somente no ano de 1994 tornou-se área protegida e hoje apresenta alguns desequilíbrios como o excesso de lianas e taquaras. O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) (Fig. 1) possui uma área de 680 hectares e atualmente, está conectado a outros fragmentos, perfazendo cerca de 2.800 ha (Vicente 2006). Também se localiza no norte do Paraná, Brasil, está sob o Trópico de Capricórnio no município de Londrina, latitude $23^{\circ} 27' S$ e longitude $51^{\circ} 15' W$, não apresenta histórico de exploração e é considerado em ótimas condições de preservação (Torezan 2006).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo: Parque Estadual Mata São Francisco e Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.



O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo classificação de Köppen, com precipitação média entre 1200 a 1600 mm distribuídos irregularmente durante o ano (Iapar 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico para as duas áreas, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos para o PEMSF e associações com Neossolos Litólicos para o PEMG, todos considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 1984, 1999, Tomé et al. 1999, Vicente 2006).

As duas áreas fazem parte da mesma formação florestal, com idade, clima e solo semelhantes, localizados na mesma região, distantes 76 km uma da outra. No entanto, diferem pelo fato de se tratar de áreas com diferentes históricos, visto que somente no PEMSF houve significativas intervenções humanas, principalmente com a exploração madeireira.

Seleção das Espécies

As espécies foram selecionadas com base no índice de valor de importância (IVI) a partir de inventários florestais realizados nas áreas de estudo (Tomé et al. 1999, Silva e Soares-Silva 2000, Zama et al. dados não publicados) e observações de campo, sendo divididas em dois grupos quanto ao estrato florestal: subosque - *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer e *Inga marginata* Willd.; e dossel/emergente - *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. Todas as espécies selecionadas são tolerantes à sombra (Silva e Soares-Silva 2000). *Aspidosperma polyneuron* e *C. canjerana* foram diretamente exploradas no PEMSF por serem espécies de alto valor comercial (Carvalho 1994, Tomé et al. 1999).

Área Amostral

Foram definidas duas áreas amostrais de 3000 m² (0,3 ha) cada, sendo uma no PEMSF e outra no PEMG. Tomou-se o cuidado de escolher a área amostral nos dois locais de estudo que possuíssem mesma fisionomia, topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas.

Coleta e Análise dos Dados

Para contribuir na interpretação dos resultados foi avaliado o índice de cobertura vegetal (também chamado de índice de cobertura do dossel) de cada uma das parcelas. Para cada parcela foi calculada a média de quatro medidas, sendo cada uma voltada para um dos diferentes vértices da parcela. Os índices de cobertura foram obtidos utilizando-se um densiômetro de cobertura esférico (Lemmon 1956), com medidas feitas à altura do peito. A comparação dos valores do índice de cobertura entre áreas foi feita através de um teste t ($p < 0,05$) (Brower e Zar 1984).

Para o estudo das relações alométricas todos os indivíduos das seis espécies dentro das parcelas tiveram diâmetro à altura do solo (DAS) e altura total mensurados. Os indivíduos com até 1,5 metros de comprimento tiveram o DAS medido com paquímetro e a altura total com fita métrica. Os indivíduos maiores que 1,5 metros de comprimento foram medidos com fita métrica para a obtenção do perímetro, que foi convertido em DAS e a altura total foi mensurada com o auxílio de uma trena digital laser.

As relações alométricas dos indivíduos são geralmente expressas por funções derivadas de regressões lineares das variáveis transformadas em logaritmos de base 10. A equação que expressa estas relações é: $y = ax^b$, ou $\log y = \log a + b \log x$, onde a e b são parâmetros obtidos através de regressão linear (Sokal e Rohlf 1981, King 1990a, Kohyama e Hotta 1990).

Nas comparações do padrão alométrico de diâmetro e altura dos indivíduos entre as áreas e entre espécies, as diferenças podem ocorrer tanto em a (o intercepto de y) como em b (a inclinação da reta). Se o valor de b é diferente entre as áreas ou espécies, o maior valor de b apresentará maior incremento de y por incremento de x . Se a inclinação não difere, mas a constante a é diferente entre áreas ou espécies, aquelas com maiores valores de a apresentarão valores de y maiores para qualquer valor de x (Kohyama e Hotta 1990). Para testar a diferença entre as retas foi utilizada a análise de covariância, também conhecida como ANCOVA (Snedecor e Cochran 1967). Comparações múltiplas entre as retas foram feitas pelo teste a posteriori de Scheffé ($p < 0,05$) (Huitema 1980, Zar 1984).

Todos os testes foram realizados utilizando-se os aplicativos estatísticos BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007) e StatistiXL (versão 1.8, 2007).

Resultados

O índice de cobertura vegetal foi significativamente maior no PEMG ($p < 0,001$, teste-t), com média de 93,96% (EP=0,36). O índice de cobertura médio no PEMSf foi de 83,51% (EP=0,85), demonstrando ser mais aberto e conseqüentemente, mais iluminado.

As regressões entre diâmetro e altura dos indivíduos das seis espécies nas duas áreas foram positivas e significativas (Tabela I, Fig. 2 e 3), com altos valores do coeficiente de determinação (r^2) (Tabela I), indicando baixa variabilidade na arquitetura dos indivíduos.

As três populações de subosque (*A. concolor*, *S. bonplandii* e *I. marginata*) apresentaram diferenças no coeficiente angular da reta (valor de b) entre as áreas (Tabela I). O valor de b de *A. concolor* e *S. bonplandii* foi maior na área com histórico de exploração de madeira (PEMSf), indicando que os indivíduos desta área têm maior incremento de diâmetro por aumento de altura. A população de *I. marginata* apresentou padrão contrário, ou seja, o valor de b foi maior para a área com histórico de preservação (PEMG) (Tabela I e Fig. 2). Para as espécies de subosque a proporção de crescimento entre diâmetro e altura se aproximou do modelo de similaridade geométrica ($d \propto h^1$).

Foi observado nas populações de dossel/emergente que os indivíduos mais altos (>10 m de altura) apresentavam incremento de diâmetro por aumento de altura com um padrão diferente dos indivíduos menores (Tabela II e Fig. 3), sendo o coeficiente angular das retas significativamente maiores quando esses poucos indivíduos (> 10 m de altura) foram incluídos. Dessa forma as análises das populações de dossel/emergente foram feitas excluindo os indivíduos maiores que 10 m de altura, com exceção aos casos em que a inclusão estiver mencionada no texto.

As populações de dossel *C. xanthocarpa* e *C. canjerana* não apresentaram diferenças na comparação entre os valores de b , nem entre os interceptos em y entre áreas, ou seja, ambas as populações apresentam a mesma relação entre diâmetro e altura na área com histórico de exploração e na área preservada. Os valores de b de *A. polyneuron* apresentaram diferenças entre áreas ($p < 0,05$), sendo maior no PEMSf (Tabela I e Fig. 3), onde os indivíduos têm maior incremento de diâmetro por aumento de altura. Quando excluídos os indivíduos maiores que 10 m de altura, a proporção de crescimento entre diâmetro e altura para as espécies de dossel/emergente, se aproximou do modelo de similaridade geométrica (d

∞ h1) para *C. xanthocarpa* e *A. polyneuron* em ambas as áreas, e do modelo de tensão constante ($d \infty$ h2) para *C. canjerana* nas duas áreas (Tabela I).

Tabela 1 - Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro à altura do solo (DAS) (cm) e a altura total (AT) (m) ($\log \text{DAP} = a + b \log \text{AT}$) de populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabralea canjerana*) do Parque Estadual Mata do Godoy (PEMG) (área preservada) e do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (área com histórico de exploração de madeira), Paraná, Brasil.

Espécies	<i>b</i>		<i>a</i>		<i>r</i> ²		<i>n</i>	
	PEMG	PEMS F	PEMG	PEMS F	PEMG	PEMS F	PEMG	PEMS F
<i>A. Concolor</i>	1.076*				0.846*	0.828*		
	**				**	**		
		1.216	-0.079	-0.070			779	1696
<i>S. bonplandii</i>	1.025*	1.168	0.149	-0.034	0.870*	0.855*	509	1372
	**				**	**		
<i>I. marginata</i>		0.707	0.149	0.200			646	451
	1.036*				0.766*	0.826*		
	**				**	**		
<i>C. xanthocarpa</i> ¹					0.891*	0.858*		
					**	**		
	1.016	1.105	0.155	-0.035			91	106
<i>A. polyneuron</i> ¹	1.126*	1.178	0.168	0.089	0.884*	0.814*	925	592
	**				**	**		
<i>C. canjerana</i> ¹	1.882	1.855	-0.056	-0.052			154	103
					0.769*	0.884*		
					**	**		

b = inclinação da reta (ANCOVA *($p < 0,05$), **($p < 0,01$), ***($p < 0,001$)), *a* = intercepto em *y*, *r*² = coeficiente de determinação (ANOVA *** $p < 0,001$), *n* = número de indivíduos amostrados. ¹ nesta análise foram considerados somente indivíduos ≤ 10 m de altura total.

Figura 2 - Regressão entre diâmetro à altura do solo (cm) e altura total (m) de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandi* e *Inga marginata*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil.

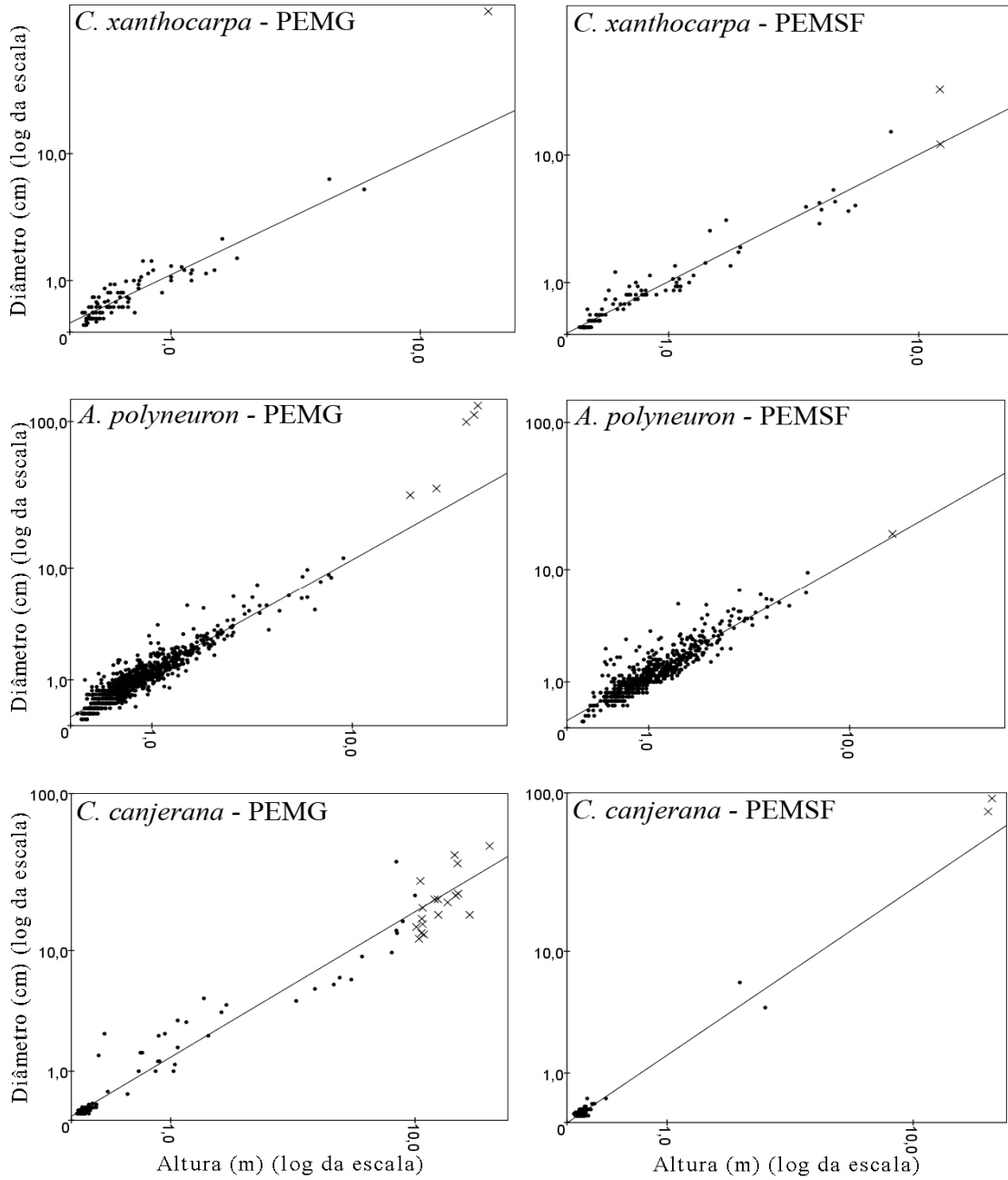
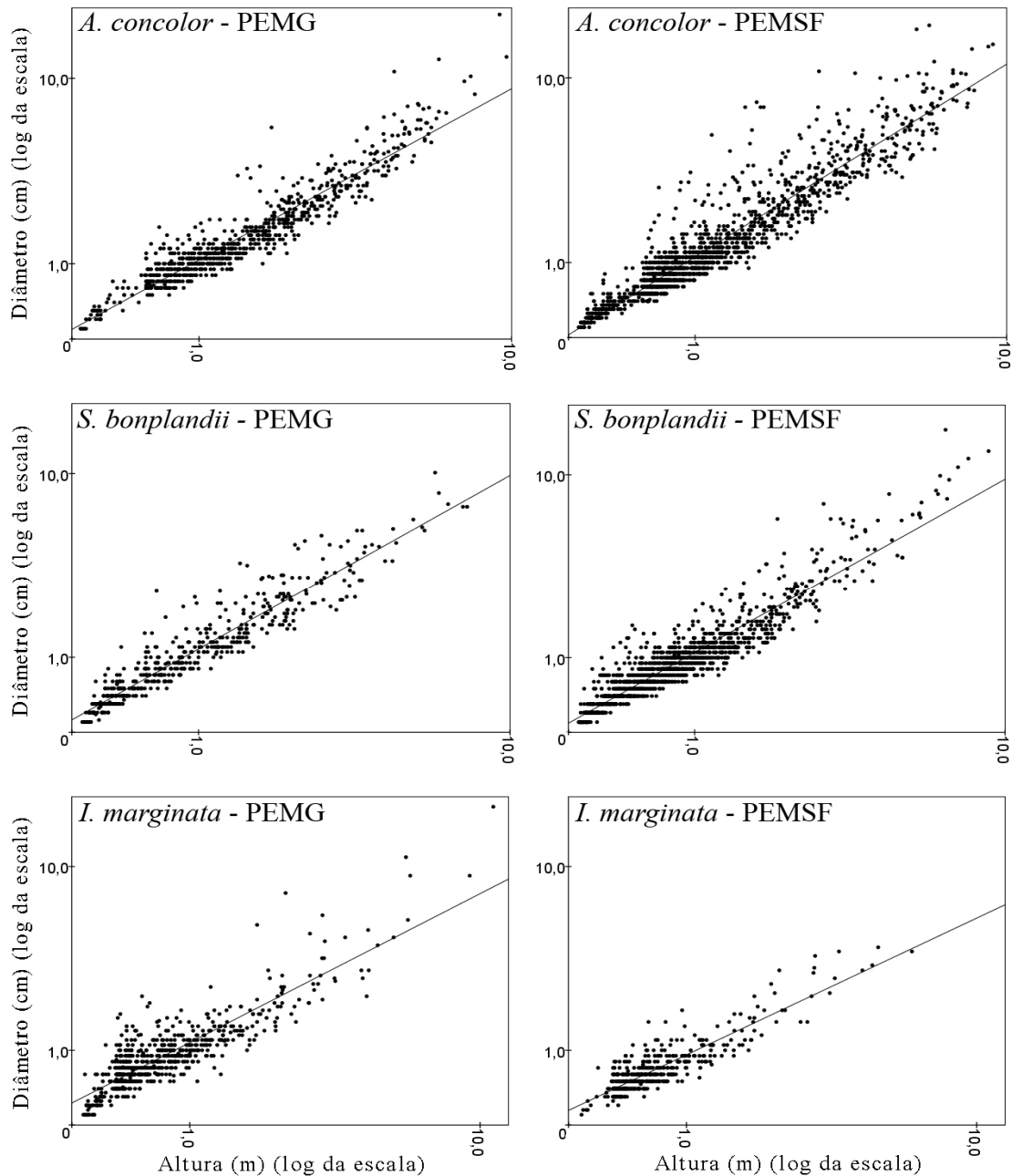


Figura 3 - Regressão entre diâmetro à altura do solo (cm) e altura total (m) de espécies arbóreas de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron*, e *Cabralea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Os indivíduos maiores que 10 m de altura (excluídos das análises) são representados por um x nos gráficos.



Quando comparado o coeficiente angular das retas entre os grupos de espécies foi observado que, quando excluídos os indivíduos maiores que 10 m de altura, houve semelhanças no valor de b entre espécies dos dois grupos (subosque e dossel/emergente) nas duas áreas de estudos (Tabela II).

Quando incluído todos os indivíduos, maiores e menores que 10 m de altura, observou-se a separação em dois grupos, que coincidem com os grupos ecológicos. O valor de b foi menor para as espécies de subosque, e maior para as espécies de dossel/emergente (Tabela II), principalmente na área preservada, onde os indivíduos maiores que 10 m de altura são mais abundantes.

Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro à altura do solo (DAS) (cm) e a altura total (AT) (m) ($\log \text{DAP} = a + b \log \text{AT}$) de populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabrlea canjerana*) do Parque Estadual Mata do Godoy (PEMG) (área preservada) e do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (área com histórico de exploração de madeira), Paraná, Brasil. Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si.

Espécies	b			
	PEMG		PEMSF	
	< 10 m	Σ	< 10 m	Σ
<i>Actinostemon concolor</i>	1.076 bc	1.076 d	1.216 b	1.216 c
<i>Sorocea bonplandii</i>	1.025 c	1.025 d	1.168 b	1.168 c
<i>Inga marginata</i>	1.036 bc	1.036 d	0.707 c	0.707 d
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	1.016 bc	3.775 a	1.105 b	1.365 b
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	1.126 b	2.977 b	1.178 b	1.185 c
<i>Cabrlea canjerana</i>	1.882 a	1.855 c	1.855 a	4.737 a

b = inclinação da reta (ANCOVA, valores seguidos de pelo menos uma mesma letra nas colunas não difere entre si pelo Teste de Scheffé, $p < 0,05$). <10 m = somente indivíduos menores que 10 m de altura. Σ = todos os indivíduos.

Discussão

Todas as espécies de subosque estudadas apresentaram o coeficiente angular da reta diferente entre a área com histórico de exploração e a área preservada, demonstrando que esse grupo de espécies foi mais sensível às alterações no ambiente. *Actinostemon concolor* e *S. bonplandii* apresentaram o valor de b maior na área com histórico de exploração de madeira (PEMSF), indicando que os indivíduos desta área têm maior incremento de diâmetro por aumento de altura, confirmando as expectativas. Isso provavelmente está relacionado com o menor índice de cobertura vegetal encontrado nessa área, e conseqüentemente maior exposição aos ventos e menor competição por luz, favorecendo os

indivíduos que alocam biomassa para o crescimento em espessura (Niklas 1995). Segundo King (1990b) a competição por luz é o fator primário responsável pela evolução e manutenção da forma de indivíduos arbóreos, e mesmo uma pequena vantagem nos níveis de luz pode ser significativa para a absorção de carbono (Bohlman e O'Brien 2006). Além da diferença na relação alométrica de diâmetro e altura, as espécies de subosque *A. concolor* e *S. bonplandii* apresentaram um aumento expressivo na abundância de indivíduos na área explorada, com mais indivíduos em todas as classes de tamanho, principalmente nas menores classes (ver estrutura de tamanho, capítulo 2). Outros estudos reforçam a idéia de que as espécies de subosque exibem uma resposta diferente dos outros grupos funcionais frente às variáveis ambientais, dessa forma, incluí-las nos estudos ecológicos enriquece a interpretação dos processos de regeneração florestal (Condit et al. 1996, Lyon e Sagers 2002, Kwit e Platt 2003, Poorter et al. 2003, Martínez-Sánchez 2008).

Inga marginata foi a única espécie de subosque que apresentou a razão entre diâmetro e altura menor na área explorada. Na área preservada o padrão alométrico de *I. marginata* é igual ao das outras espécies de subosque (*A. concolor* e *S. bonplandii*). O valor de b de *I. marginata* na área explorada é inferior ao de todas as populações estudadas, inclusive a população de *I. marginata* da área preservada, isso indica que esses indivíduos estão alocando maior proporção de biomassa para o crescimento em altura, apesar da maior disponibilidade de luz. Tal padrão poderia ser explicado pela ocorrência de competição com as outras espécies do mesmo grupo, visto que foi observado um aumento expressivo na abundância de indivíduos de *A. concolor* e *S. bonplandii* na área explorada (capítulo 2), assim como já observado por Batista e Platt (2003) para espécies de subosque em áreas perturbadas, acompanhada de uma diminuição também expressiva na abundância de *I. marginata* no PEMSF. Entretanto, outros estudos são necessários para afirmar se esse comportamento é resultado de características intrínsecas da espécie frente aos distúrbios, ou da competição com as outras espécies do mesmo grupo.

No grupo de espécies de dossel, quando não considerados os indivíduos maiores que 10 m de altura, *C. xanthocarpa* e *C. canjerana* apresentaram o mesmo padrão alométrico entre as áreas, um indício de que para essas populações as possíveis consequências da exploração da área não influenciaram ou não estão influenciando mais a relação entre diâmetro e altura dos indivíduos. Esse resultado é inesperado, visto que na área explorada o dossel é mais aberto, e conseqüentemente mais iluminado e suscetível a maiores variações microclimáticas. O fato de as conseqüências da exploração não influenciarem mais o padrão alométrico de diâmetro e altura dos indivíduos dessas espécies pode ter relação com a

abundância de espécies de subosque encontrada na área explorada. Segundo Bianchini et al. (2010), esse grupo de espécies pode contribuir na diminuição da heterogeneidade dos microsítios, devido ao aumento na cobertura vegetal, principalmente abaixo de 1 m de altura (mais de 86% dos indivíduos estudados desse grupo ocupam essa faixa de tamanho, ver capítulo 2), compensando a abertura do dossel e favorecendo a regeneração das espécies tolerantes a sombra. *Aspidosperma polyneuron* foi a única espécie de dossel/emergente em que o valor de b foi diferente entre as áreas, com maiores valores no PEMSF.

Na comparação entre os grupos de espécies foi possível observar que quando analisados somente os dados com os indivíduos menores que 10 m de altura, todas as populações de subosque e dossel/emergente, com exceção de *C. canjerana*, apresentaram a proporção de crescimento em diâmetro e altura próximo a 1,0 (modelo de similaridade geométrica, Rich et al. 1986), ou seja, ambos os grupos de espécies apresentam padrão de crescimento semelhante quando ainda se desenvolvem sob o dossel sombreado da floresta. Segundo Bohlman e O'Brien (2006) espécies de diferentes estratos florestais, por definição, ocupam alturas diferentes quando maduros, mas nos estádios ontogenéticos imaturos, tanto espécies de subosque quanto as de dossel/emergentes não necessariamente têm as relações diâmetro-altura diferentes. Quando incluídos os indivíduos maiores que 10 m de altura, as espécies do grupo de dossel/emergente apresentaram um aumento no coeficiente angular das retas se aproximando dos modelos de similaridade elástica ($d \propto h^{1,5}$) (McMahon 1973) e de tensão constante ($d \propto h^2$) (Dean e Long 1986), com exceção de *A. polyneuron* na área explorada, onde essa espécie não possui indivíduos nas maiores classes de tamanho (capítulo 2) devido ao intenso processo de exploração. Vários exemplares de caules serrados (tocos) de *A. polyneuron* podem ser encontrados no PEMSF, comprovando a exploração da espécie na área.

A observação de que as relações alométricas do diâmetro com a altura nas espécies de dossel/emergente se alteram ao longo do ciclo de vida, ou seja, indivíduos mais altos apresentaram uma razão diâmetro/altura diferente, com maior incremento de diâmetro por aumento de altura do que as classes de tamanho inferiores, também foi observado em outros estudos (Rich et al. 1986, Niklas 1995, Bohlman e O'Brien 2006). Essa diferenciação provavelmente está relacionada com a chegada ao dossel, quando os indivíduos atingem o estrato superior da floresta (entre 10 e 20 m de altura na região segundo Bianchini et al. 2001) e passam a se desenvolver sobre um ambiente completamente diferente, especialmente pela maior incidência de luz, havendo expansão da copa, e passam a alocar mais recursos em

crescimento em diâmetro para suportar a copa e resistir aos ventos (Niklas 1995). *Cabranea canjerana* foi a única espécie que apresentou valores de b altos em todas as situações, geralmente próximos a 2,0 (modelo de tensão constante), ou seja, essa espécie tem uma grande proporção de alocação de biomassa em espessura em ambas as áreas de estudo, o que parece ser característico da espécie (Schüssler 2006).

Os resultados indicam que quando comparados os grupos de espécies entre áreas há diferenças nas relações alométricas entre diâmetro e altura, demonstrando que os impactos sofridos pela exploração de madeira alteraram o coeficiente angular da reta de algumas espécies. Os resultados sugerem alguns indícios do processo de regeneração da floresta, evidenciado principalmente pelos indivíduos das espécies de dossel (*C. xanthocarpa* e *C. canjerana*) menores que 10 m de altura, que apresentam o mesmo coeficiente angular da reta na área explorada e preservada, indicando que para essas espécies as consequências da exploração da área não estão influenciando mais na relação alométrica de diâmetro e altura dos indivíduos. As espécies de subosque, consideradas sensíveis às alterações na luminosidade (Denslow 1980) e *A. polyneuron*, que foi intensamente explorada na região (Tomé et al. 1999), apresentaram o coeficiente angular da reta diferente entre as duas áreas, porém são abundantes e têm a relação entre diâmetro e altura explicado pelo modelo de similaridade geométrica nas duas áreas de estudo.

Os dois grupos de espécies apresentam o mesmo padrão de crescimento quando se desenvolvem sob o dossel sombreado da floresta, só é possível uma diferenciação mais clara entre grupos quando incluídos os indivíduos mais altos de dossel, que possuem maior investimento em espessura, confirmando em parte as expectativas. Através das avaliações das relações alométricas foi possível entender, mesmo que parcialmente, os efeitos do distúrbio sobre populações arbóreas de diferentes estratos e revelou também indicativos importantes dos processos de regeneração da floresta.

Referências

- AYRES M, AYRES MJ, AYRES DL AND SANTOS SA. 2007. Bioestat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Bio-Médicas, Belém: Mamirauá/CNPq, 364 p.
- BATISTA WB AND PLATT WJ. 2003. Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *J Ecol* 91: 197-212.
- BIANCHINI E, PIMENTA JA AND SANTOS FAM. 2001. Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Braz Arch Biol and Technol* 44: 269-276.

- BIANCHINI E, GARCIA CC, PIMENTA JA AND TOREZAN JMD. 2010. Slope variation and population structure of tree species from different ecological groups in South Brazil. *An Acad Bras Cienc* 82: 643-652.
- BOHLMAN SA AND O'BRIEN ST. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirements of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *J Trop Ecol* 22: 123-136.
- BROWER JE AND ZAR JH. 1984. Field and laboratory methods for general ecology. 2nd ed., Dordrecht: W. C. Brown, 226p.
- BURTON JI, ZENNER EK, FRELICH LE AND CORNETT MW. 2009. Patterns of plant community structure within and among primary and second-growth northern hardwood forest stands. *For Ecol Manage* 258: 2556-2568.
- CARVALHO PER. 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira, Brasília: EMBRAPA/CNPQ/SPI.
- CONDIT R, HUBBELL SP AND FOSTER RB. 1996. Assessing the response of plant functional types to climatic change in tropical forests. *J Veg Sci* 7: 405-416.
- DEAN TJ AND LONG JN. 1986. Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pretense*. *Ann Bot* 58: 833-840.
- DENSLOW JS. 1980. Gap partitioning among tropical rainforest trees. *Biotropica* 12: 47-55.
- DENT DH AND WRIGHT SJ. 2009. The future of tropical species in secondary forests: a quantitative review. *Biol Conserv* 142: 2833-2843.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1984. Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná, Londrina: Iapar, 413 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1999. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.
- FELDPAUSCH ET AL. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* 8: 1081-1106.
- GOURLET-FLEURY S, BLANC L, PICARD N, SIST P, DICK J, NASI R, SWAINE MD AND FORNI E. 2005. Grouping species for predicting mixed tropical forest dynamics: looking for a strategy. *Ann For Sci* 62: 785-796.
- GUARIGUATA MR AND OSTERTAG R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206.
- HUITEMA BE. 1980. The analysis of covariance and alternatives, New York: John Wiley & Sons, 445 p.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 2000. Cartas climáticas do estado do Paraná. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina.

- KING DA. 1990a. Allometry of saplings and understory trees of a Panamanian Forest. *Funct Ecol* 4: 27–32.
- KING DA. 1990b. The adaptive significance of tree height. *Am Nat* 135: 809-828.
- KING DA. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *J Trop Ecol* 12: 25-44.
- KOHYAMA T. 1987. Significance of architecture and allometry in saplings. *Funct Ecol* 1: 399-404.
- KOHYAMA T AND HOTTA M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Funct Ecol* 4: 515-521.
- KWIT C AND PLATT WJ. 2003. Disturbance history influences regeneration of non-pioneer understory trees. *Ecology* 84: 2575-2581.
- LEMMON PE. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstorey density. *For sci* 2: 314-320.
- LIEBSCH D, MARQUES MCM AND GOLDENBERG R. 2008. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. *Biol Conserv* 141: 1717-1725.
- LYON J AND SAGERS CL. 2002. Correspondence analysis of functional groups in a riparian landscape. *Plant Ecol* 164: 171-183.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ JL. 2008. Allometric variation of shade-tolerant tree species in a Mexican tropical rain Forest. *Rev Biol Neotrop* 5: 41-51.
- MCMAHON T. 1973. Size and shape in biology. *Science* 179: 1201-1204.
- MORELLATO LPC AND HADDAD CFB. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786-792.
- NIKLAS KJ. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Ann Bot* 75: 217-227.
- PARISH R, NIGH GD AND ANTOS JA. 2008. Allometry and size structure of trees in two ancient snow forests in coastal British Columbia. *Can J For Res* 38: 278–288.
- POORTER L, BONGERS F, STERCK FJ AND WÖLL H. 2003. Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84: 602-608.
- RICH PM, HELENURM K, KEARNS D, MORSE SR, PALMER MW AND SHORT L. 1986. Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican tropical wet forest. *Bull Torrey Bot Club* 113: 241-246.
- RICHARDS PW. 1996. *The Tropical Rain Forest: An Ecological Study*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 575 p.

- SALDARRIAGA, JG AND UHL C. 1991. Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro. In: GOMEZ-POMPA A, WHITMORE TC AND HADLEY M (Eds.), Tropical rain forest: regeneration and management, New York: Blackwell, p. 303-312.
- SCHÜSSLER G. 2006. Dinâmica populacional e aspectos da regeneração natural de *Cabrlea canjerana* (Vell.) Mart. (Meliaceae) em uma zona de contato entre as florestas ombrófilas montanas, RS. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA FC AND SOARES-SILVA LH. 2000. Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR. Brazil. Edinb J Bot 57: 107-120.
- SKOV F. 2000. Distribution of plant functional attributes in a managed forest in relation to neighbourhood structure. Plant Ecol 146: 121-130.
- SNEDECOR GW AND COCHRAN WG. 1967. Statistical methods. 6 nd ed., Ames: Iowa State University Press, 507 p.
- SOKAL RR AND ROHLF FJ. 1981. Biometry. 2 nd ed., San Francisco: W.H. Freeman, 859 p.
- SPOSITO TC AND SANTOS FAM. 2001. Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. Am J Bot 88: 939-949.
- STERCK FJ AND BONGERS F. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. J Ecol 89: 1-13.
- SWAINE MD AND WHITMORE TC. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. Vegetatio 75: 81-86.
- TABARELLI M AND MANTOVANI W. 1999. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). Rev Brasil Biol 59: 239-250.
- TABARELLI M, MANTOVANI W AND PERES CA. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. Biol Conserv 91: 119-127.
- TOMÉ MVDF, MIGLIORANZA E, VILHENA AHT AND FONSECA EP. 1999. Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. Rev Inst Flor 11: 13-23.
- TOREZAN JMD. 2006. Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy. Londrina: ITEDES, 169 p.
- VALLADARES F, SALDAÑA A AND GIANOLI E. 2011. Costs versus risks: Architectural changes with changing light quantity and quality in saplings of temperate rainforest trees of different shade tolerance. Austral Ecol 36: 1-9.
- VICENTE RF. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: TOREZAN JMD (Eds), Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina: ITEDES, p. 13-18.

VIELLEDENT G, COURBAUD B, KUNSTLER G, DHÔTE JF AND CLARK JS. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163: 759-773.

ZAR JH. 1984. *Biostatistical analysis*. 2 nd ed., New Jersey: Prentice Hall, 130 p.

CAPÍTULO 2

2.2 INFLUÊNCIA DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NA ESTRUTURA DE TAMANHO E ESPACIAL DE POPULAÇÕES DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES ESTRATOS VERTICAIS

Artigo a ser publicado na Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências
(Annals of the Brazilian Academy of Sciences)

Resumo

A estrutura de populações (estrutura de tamanho e espacial) representa um bom indicador da regeneração florestal, pois funciona como uma síntese das taxas vitais e influencia na capacidade competitiva, colonização e sobrevivência das populações. Determinou-se as estruturas de tamanho e espacial de populações arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, e *Inga marginata* Willd.) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabranea canjerana* (Vell.) Mart.) em duas áreas de Floresta Estacional Semidecidual com e sem histórico de exploração de madeira. Foram observadas diferenças na distribuição das classes de tamanho e padrão espacial, indicando que os impactos sofridos pela exploração de madeira alteraram a estrutura populacional de algumas espécies. Além disso, os resultados sugerem que o processo de regeneração florestal está ocorrendo, evidenciado principalmente pelo grande número de indivíduos regenerantes, distribuídos por toda a extensão das áreas amostrais. As espécies de subosque ocupam com maior abundância toda a extensão das áreas amostrais, com exceção de *I. marginata* na área com histórico de exploração. As espécies de dossel/emergente diretamente exploradas (*A. polyneuron* e *C. canjerana*) se regeneram, ainda sem ocupar o dossel como ocupam na área preservada, enquanto *C. xanthocarpa* se desenvolve bem em ambas as áreas. Avaliações das estruturas de tamanho e espacial foram capazes de revelar efeitos do distúrbio sobre as populações e são indicativos importantes dos processos de regeneração da floresta.

Palavras-chave: Dossel. Estrutura de populações. Regeneração florestal. Subosque.

Abstract

Population structure (size and spatial structure) represents a powerful forest regeneration indicator, because it works as a synthesis of the vital rates and affects the competitive capacity, survival, colonization and reproduction of the populations. Size and spatial structure were determined to understory trees (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer, and *Inga marginata* Willd.) and canopy/emergent trees (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. and *Cabranea canjerana* (Vell.) Mart.) in logged and unlogged semideciduous forest areas. Size classes distribution and spatial pattern differed between areas, suggesting that logging altered the population structure of some species. Moreover, the results also suggested that forest regeneration process is occurring, evidenced mainly by the large number of regenerating individuals of most species, distributed by all sample areas. Understory species occupied all the extension of the sample areas with higher abundance, except the population of *I. marginata* in the explored area. The canopy/emergent species directly explored (*A. polyneuron* and *C. canjerana*) are regenerating, without taking up the canopy effectively as they do in the preserved area, while *C. xanthocarpa* grew well in both areas. Size and spatial structure were able to reveal the effects of disturbance on studied populations.

Key words: Canopy. Forest regeneration. Population structure. Understory.

Introdução

A floresta atlântica brasileira é considerada uma das florestas com os mais altos níveis de diversidade biológica e taxas de endemismo do mundo (Morellato e Haddad 2000, Metzger 2009). No entanto esta floresta apresenta um cenário de devastação em massa, onde a maioria dos remanescentes florestais são pequenos fragmentos isolados e sobre intensa pressão antrópica (Morellato e Haddad 2000, Liebsch et al. 2008, Ribeiro et al. 2009). Entre os impactos mais comuns nessas florestas está o corte seletivo de madeira (Tabarelli e Mantovani 1999, Morellato e Haddad 2000, Liebsch et al. 2008).

O corte seletivo de madeira resulta na criação de extensas clareiras no interior da floresta, na supressão de adultos reprodutivos de determinadas espécies e em alterações na estrutura florestal, promovendo mudanças nas condições microclimáticas locais, e provocando a sobrevivência e a regeneração de espécies em um hábitat completamente alterado (Tabarelli e Mantovani 1999, Guariguata e Ostertag 2001, Liebsch et al. 2008). Os impactos diretos da retirada de espécies, em conjunto com as alterações microclimáticas promovem alterações nas taxas de sobrevivência, crescimento e reprodução das populações arbóreas, o que tem efeito direto sobre a estrutura de tamanho e a estrutura espacial das espécies (Ramírez-Marcial 2003, McLaren et al. 2005, Solís et al. 2009, Tsingalia 2010). O sucesso na recuperação dessas populações vai determinar a regeneração da floresta, considerando a regeneração florestal como um processo pelo qual a floresta perturbada atinge características da floresta madura (Saldarriaga e Uhl 1991, Tabarelli e Mantovani 1999).

Segundo Kelly et al. (2001) a distribuição de tamanho pode ser considerada como uma síntese dos eventos demográficos de recrutamento, mortalidade e taxas de crescimento individual ao longo do tempo. A forma como os organismos se distribuem no espaço (distribuição espacial) influencia na capacidade competitiva, colonização e sobrevivência das populações (Maestre e Escudero 2008). Dessa forma esses aspectos da estrutura de populações podem funcionar como bons indicadores da regeneração florestal.

Vários estudos utilizaram a estrutura de populações como mecanismo para compreender os efeitos de distúrbios naturais (Batista e Platt 2003, Coomes e Allen 2007) e antrópicos (McLaren et al. 2005, Souza 2007, Sapkota et al. 2009, Tsingalia 2010) sobre as espécies. Souza (2007) estudando vários fragmentos florestais no sul do Brasil encontrou que a estrutura de tamanho da espécie arbórea *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze, foi diferente em áreas que tiveram a exploração de madeira, aumentando a proporção de indivíduos nas primeiras classes de tamanho. Sapkota et al. (2009) encontraram que espécies arbóreas de

florestas estacionais decíduas do Nepal (Ásia) tiveram seus padrões espaciais alterados ao longo de diferentes intensidades de distúrbio antrópico.

Uma abordagem que facilita o estudo da ecologia de florestas é o uso de grupos de espécies com características fisiológicas e ecológicas semelhantes, denominados de grupos funcionais ou guildas (Denslow 1980, Swaine e Whitmore 1988, Lyon e Sagers 2002). Os grupos funcionais podem ser organizados a partir de inúmeras características como o grau de tolerância à sombra, estágios sucessionais, síndrome de dispersão ou estratificação (Denslow 1980, Swaine e Whitmore 1988, Skov 2000, Lyon e Sagers 2002, Gourlet-Fleury et al. 2005). O uso da estratificação vertical ou camadas de vegetação (por exemplo, árvores de subosque, dossel ou emergentes) como um meio de separação de grupos funcionais é considerado como um bom indicador em estudos ecológicos (Tabarelli et al. 1999, Lyon e Sagers 2002, Bohlman e O'Brien 2006, Bianchini et al. 2010).

Com o objetivo de contribuir para o conhecimento da influência da exploração seletiva de madeira na ecologia de espécies arbóreas tropicais, neste estudo foi analisada a estrutura de tamanho e espacial de algumas espécies com alto índice de valor de importância de diferentes estratos florestais (subosque e dossel/emergente) de dois fragmentos de floresta estacional semidecidual. Foram levantadas as seguintes questões: 1) As espécies apresentam estrutura de tamanho e espacial diferentes entre a floresta preservada e a floresta que foi alterada pela exploração de madeira? 2) As espécies dos diferentes estratos florestais apresentam estrutura de tamanho e espacial diferenciadas? A expectativa é de que os grupos de espécies apresentem estrutura de tamanho e espacial diferentes, e que as populações da floresta explorada mostrem maior predominância de indivíduos jovens (assimetria positiva) e padrão espacial mais agrupado devido a um índice de cobertura do dossel menor e mais heterogêneo, como consequência da própria exploração.

Métodos

Áreas de Estudo

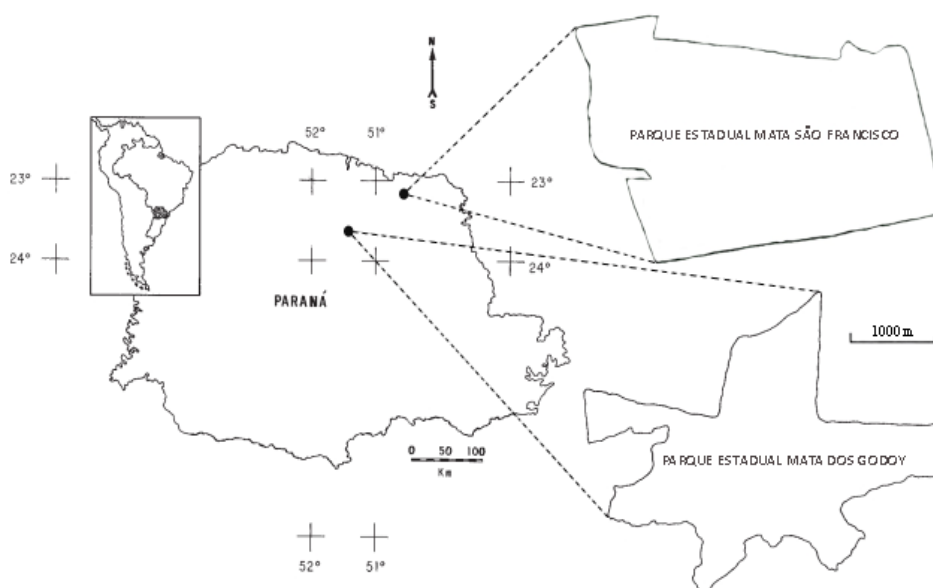
Para o desenvolvimento deste estudo foram selecionadas duas áreas de floresta tropical, pertencentes ao bioma mata atlântica, classificadas como floresta estacional semidecidual.

As duas áreas, distantes 76 km uma da outra, fazem parte da mesma formação florestal, com idade, clima e solo semelhantes, localizados na mesma região. No

entanto, diferem pelo fato de se tratar de áreas com diferentes históricos, visto que somente em uma das áreas houve significativas intervenções humanas, principalmente, com a exploração madeireira.

O Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) (Fig. 1) possui uma área de 832,58 hectares e está localizado no norte do estado do Paraná, Brasil, entre os municípios de Santa Mariana e Cornélio Procópio, latitude $23^{\circ} 15' S$ e longitude $50^{\circ} 45' W$ (Tomé et al. 1999). Esta área sofreu corte seletivo de madeira e somente no ano de 1994 tornou-se área protegida e, por isso apresenta alguns desequilíbrios como o excesso de lianas e taquaras. O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) (Fig. 1) possui uma área de 680 hectares, que atualmente, está conectada a outros fragmentos, perfazendo cerca de 2.800 ha (Vicente 2006). Também se localiza no norte do Paraná, Brasil, está sob o Trópico de Capricórnio no município de Londrina, latitude $23^{\circ} 27' S$ e longitude $51^{\circ} 15' W$, não apresenta histórico de exploração e é considerado em ótimas condições de preservação (Torezan 2006).

Figura 1 - Localização das áreas de estudo: Parque Estadual Mata São Francisco e Parque Estadual Mata dos Godoy, Paraná, Brasil.



O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo classificação de Köppen, com precipitação média entre 1200 a 1600 mm distribuídos irregularmente durante o ano (Iapar 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho eutroférico e Nitossolo Vermelho eutroférico para as duas áreas, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos para o PEMSf e associações com Neossolos Litólicos para o PEMG, todos considerados como solos de alta fertilidade (Embrapa 1984, 1999, Tomé et al. 1999, Vicente

2006).

Seleção das Espécies

As espécies foram selecionadas com base no índice de valor de importância (IVI) a partir de inventários florestais realizados nas áreas de estudo (Tomé et al. 1999, Silva e Soares-Silva 2000, Zama et al. dados não publicados) e observações de campo, sendo divididas em dois grupos quanto ao estrato florestal: subosque - *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll. Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer e *Inga marginata* Willd.; e dossel/emergente - *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg., *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. e *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. Todas as espécies selecionadas são tolerantes à sombra (Silva e Soares-Silva 2000). *Aspidosperma polyneuron* e *C. canjerana* foram diretamente exploradas no PEMSF por serem espécies de alto valor comercial (Carvalho 1994, Tomé et al. 1999).

Área Amostral

Foram demarcadas 60 parcelas (áreas amostrais) de 100 m² (10 m x 10 m), subdivididas em 240 subparcelas de 25 m² (5 m x 5 m), sendo que 120 subparcelas estão no fragmento florestal PEMSF e 120 no PEMG. As parcelas foram alocadas contiguamente, formando um retângulo de 50 m x 60 m (3000 m²) em cada uma das áreas. Tomou-se o cuidado de escolher a área amostral nos dois locais de estudo que possuíssem mesma fisionomia, topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas.

Para a amostragem dos indivíduos de *Actinostemon concolor* e *Inga marginata* menores que 50 cm e 30 cm de altura, respectivamente, foi demarcada uma subparcela de 4 m² no primeiro vértice de cada uma das 60 parcelas nas duas áreas de estudo, com a finalidade de facilitar o processo de amostragem, devido à abundância de indivíduos dessas espécies nessas classes de tamanho. Os número de indivíduos dessas duas espécies amostrados nas subparcelas de 4 m² tiveram seus valores ajustados proporcionalmente às parcelas de 100 m².

Coleta e Análise dos Dados

Dentro das parcelas todos os indivíduos das seis espécies foram contados e tiveram diâmetro à altura do solo (DAS) e altura total mensurados. Os indivíduos com até 1,5 metros de comprimento tiveram o DAS medido com paquímetro e a altura total com fita métrica. Os indivíduos maiores que 1,5 metros de comprimento foram medidos com fita métrica para a obtenção do perímetro, que foi convertido em DAS e a altura total foi mensurada com o auxílio de uma trena digital laser.

- Estrutura de tamanho

Para comparar a estrutura de tamanho das populações entre as áreas e entre as espécies foram elaboradas distribuições de frequências de indivíduos em classes de tamanho (altura e diâmetro à altura do solo) determinadas a partir da regra de Sturges (1926): $k = 1 + 3,3 \log_{10} n$, onde k = número de classes e n = número de indivíduos amostrados de cada espécie. Para as comparações dessas estruturas entre as áreas foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Siegel 1975, Zar 1984).

O Coeficiente de assimetria (skewness) foi usado para avaliar a simetria das distribuições de tamanho (Bendel et al. 1989). É positivo para distribuições de tamanho com muitos indivíduos nas primeiras classes de tamanho e poucos indivíduos nas maiores classes, e é negativo para distribuições com poucos indivíduos nas menores classes e muitos nas maiores classes de tamanho (Wright et al. 2003). Todos os testes foram realizados utilizando-se o software estatístico BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007).

- Estrutura espacial

A estrutura espacial das populações de subosque e de dossel/emergente nas duas áreas amostradas foi analisada usando o coeficiente de autocorrelação espacial dado pelo I de Moran. O I de Moran é calculado por classes de distância diferentes, que tipicamente variam entre -1 (repulsão) e $+1$ (agrupado). Existe autocorrelação, ou negativa ou positiva, quando é possível prever o valor que a variável ocorre em um dado local em relação ao valor que a mesma variável ocorre em outro ponto amostral de posição conhecida (Legendre e Fortin 1989).

Valores positivos para o coeficiente I de Moran indicam autocorrelação

positiva; valores negativos de I de Moran indicam autocorrelação negativa; e valores para o coeficiente I de Moran que não diferem significativamente de zero indicam casualidade (Rossi e Quénéhervé 1998, Diniz-Filho et al. 2003). A hipótese nula é que o coeficiente de cada classe de distância não é significativamente diferente de zero (Legendre e Fortin 1989).

As distâncias espaciais podem ser particionadas em classes discretas, criando sucessivas matrizes e permitindo a computação de diferentes valores de I de Moran para a mesma variável. Dessa forma, é possível avaliar o comportamento da autocorrelação como função da distância espacial, em gráfico chamado correlograma, que fornece uma descrição do padrão espacial dos indivíduos na área amostrada (Diniz-Filho et al. 2003).

A significância geral dos correlogramas foi testada aplicando-se o critério de Bonferroni (Oden 1984), de modo que, para um nível de significância $\alpha = 0,05$, o correlograma é considerado globalmente significativo quando pelo menos um dos valores de I for significativo para um nível de significância α/k , sendo k o número de classes de distância usado.

Foi feita a avaliação do índice de cobertura vegetal (também chamado de índice de cobertura do dossel) de cada uma das parcelas. Para cada parcela foi usada a média de quatro medidas, sendo cada uma voltada para um dos diferentes vértices da parcela. Os índices de cobertura foram obtidos utilizando-se um densiômetro de cobertura esférico (Lemmon 1956), com medidas feitas a altura do peito.

Para se obter a correlação da distribuição espacial dos indivíduos com o índice de cobertura vegetal (IC), na presença de autocorrelação espacial, é necessário remover o efeito “espacial” antes de concluir se a variável IC está de fato correlacionada (similar a um teste de correlação parcial). Isto foi obtido pelo teste parcial de Mantel (Smouse et al. 1986). O coeficiente de correlação significativo para o teste de Mantel (r , com um valor de -1 a +1) indica que a relação que existe entre duas variáveis não é relacionada à estrutura espacial comum (Legendre e Fortin 1989). O nível de significância para esse teste foi determinado com 999 permutações aleatórias.

As análises de autocorrelação espacial, os correlogramas e o teste de Mantel foram realizados utilizando-se o software Passage 2 (Rosenberg 2001).

Resultados

Estrutura de Tamanho

Foram amostrados 6200 e 9989 indivíduos das espécies estudadas na área preservada e na área explorada, respectivamente (Tabela I).

Tabela 1 - Número de indivíduos amostrados das populações de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabranea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil.

Espécies	PEMG	PEMSF
subosque	5006	9183
<i>Actinostemon concolor</i>	1931	6976
<i>Sorocea bonplandii</i>	509	1372
<i>Inga marginata</i>	2566	835
dossel/emergente	1194	806
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	92	108
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	930	593
<i>Cabranea canjerana</i>	172	105

Considerando o diâmetro, as análises feitas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov indicaram que houve diferença na estrutura de tamanho de todas as populações estudadas entre as áreas com históricos de preservação diferentes ($p < 0,05$). Quanto à altura observou-se os mesmos resultados, com exceção de *C. xanthocarpa* que não apresentou diferença entre as áreas. Nas comparações do teste de Kolmogorov-Smirnov entre as espécies para uma mesma área, todas apresentaram estrutura de tamanho diferente, com exceção de *A. concolor* e *C. xanthocarpa* que apresentaram a mesma estrutura no PEMG. Apesar das diferenças na estrutura, todas as populações foram bem representadas em quase todas as classes de tamanho, com exceção das maiores classes de *A. polyneuron* e das classes intermediárias e maiores de *C. canjerana* na área com histórico de exploração de madeira (PEMSF) (Fig. 2 e 3).

A estrutura de tamanho de praticamente todas as espécies apresentou coeficiente de assimetria (skewness) maior na área com histórico de exploração (Tabela II), indicando que nessa área existe uma maior proporção de indivíduos nas primeiras classes de tamanho (Fig. 2 e 3). Quando comparado o coeficiente de assimetria entre as espécies dos diferentes grupos ecológicos não foi observado separação entre os dois grupos, porém a maioria das espécies de dossel/emergente apresenta maiores valores do coeficiente de assimetria (Tabela II).

Figura 2 - Classes de distribuição de altura de indivíduos de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabralea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil.

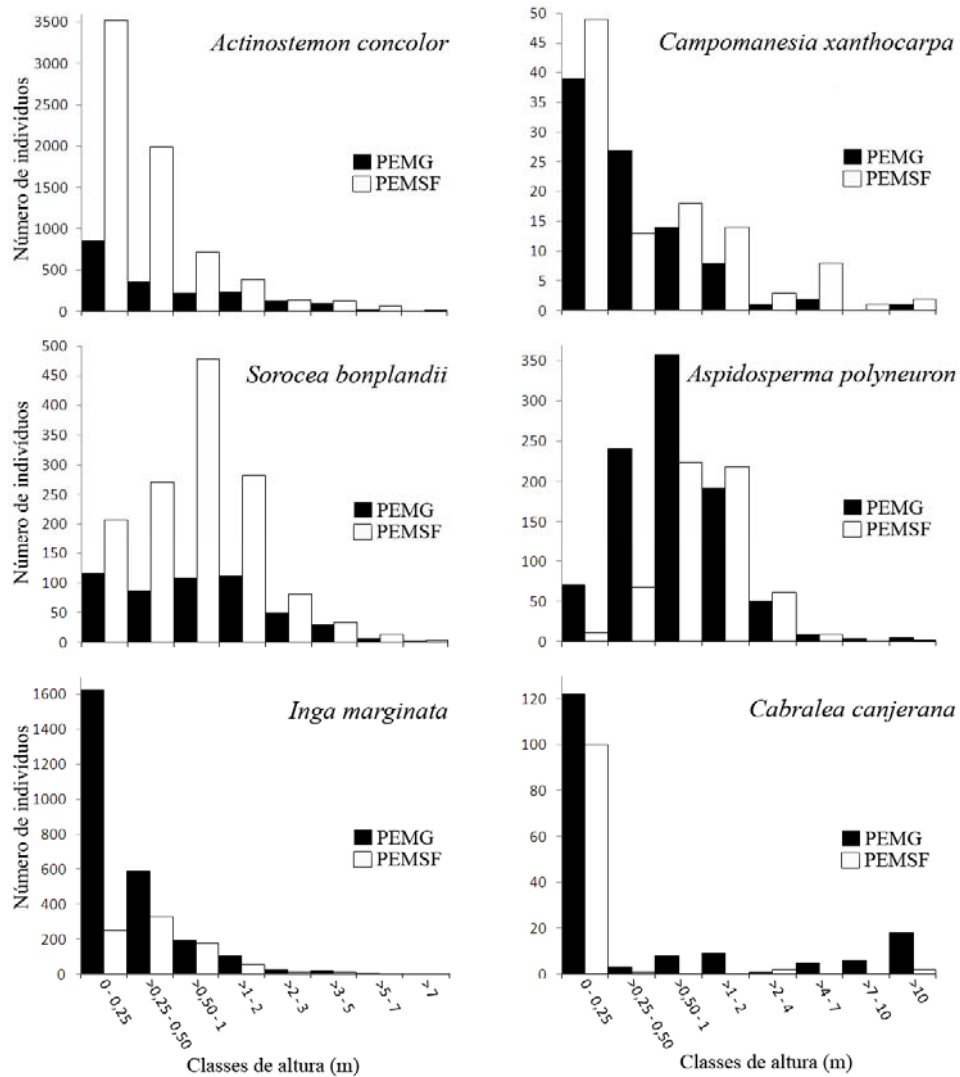


Tabela 2 - Coeficiente de assimetria (skewness) da estrutura de tamanho (altura e diâmetro) das populações de espécies arbóreas de subosque (*Actinostemon concolor*, *Sorocea bonplandii* e *Inga marginata*) e de dossel/emergente (*Campomanesia xanthocarpa*, *Aspidosperma polyneuron* e *Cabralea canjerana*) nas duas áreas de estudo: a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG); e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil.

Espécies	Altura		Diâmetro	
	PEMG	PEMSF	PEMG	PEMSF
<i>Actinostemon concolor</i>	1.894	1.732	0.527	1.422
<i>Sorocea bonplandii</i>	-0.207	0.774	0.431	1.401
<i>Inga marginata</i>	2.260	0.944	0.993	1.470
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	1.255	1.997	0.603	1.505
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	0.993	1.140	1.018	1.178
<i>Cabralea canjerana</i>	2.743	2.825	2.790	2.819

Estrutura Espacial

As espécies de subosque estudadas na área preservada (PEMG) não apresentaram autocorrelação espacial entre os indivíduos (Fig. 4), sugerindo uma distribuição espacial aleatória. Observou-se o mesmo resultado para as espécies de subosque na área com histórico de exploração de madeira (PEMSF), com exceção de *S. bonplandii* que possui uma distribuição espacial agregada em pequenas manchas de até 5 m (Fig. 4).

No grupo de espécies de dossel/emergente estudadas *C. xanthocarpa* e *C. canjerana* na área preservada não apresentaram autocorrelação espacial entre os indivíduos (Fig. 5), sugerindo uma distribuição espacial aleatória, enquanto *A. polyneuron* apresentou uma distribuição espacial em gradiente, o correlograma mostra valores positivos em distâncias curtas e valores negativos para longas distâncias (Fig. 5). Na área com histórico de exploração de madeira *A. polyneuron* e *C. canjerana* apresentaram distribuição espacial aleatória enquanto *C. xanthocarpa* apresentou padrão espacial agregado em manchas de até 12 m (Fig. 5).

Figura4 - Correlogramas espaciais da densidade de espécies de subosque, seguidos por mapas de distribuição das espécies ao longo das áreas amostrais (50 m x 60 m), nas duas áreas de estudo, respectivamente a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Pontos do correlograma preenchidos em preto indicam valores de I de Moran significativos ao nível de $\alpha = 5\%$ (para correlogramas globalmente significativos). O diâmetro das circunferências nos mapas de distribuição é representativo das classes de tamanho. A= *Actinostemon concolor*. B= *Sorocea bonplandii*. C= *Inga marginata*.

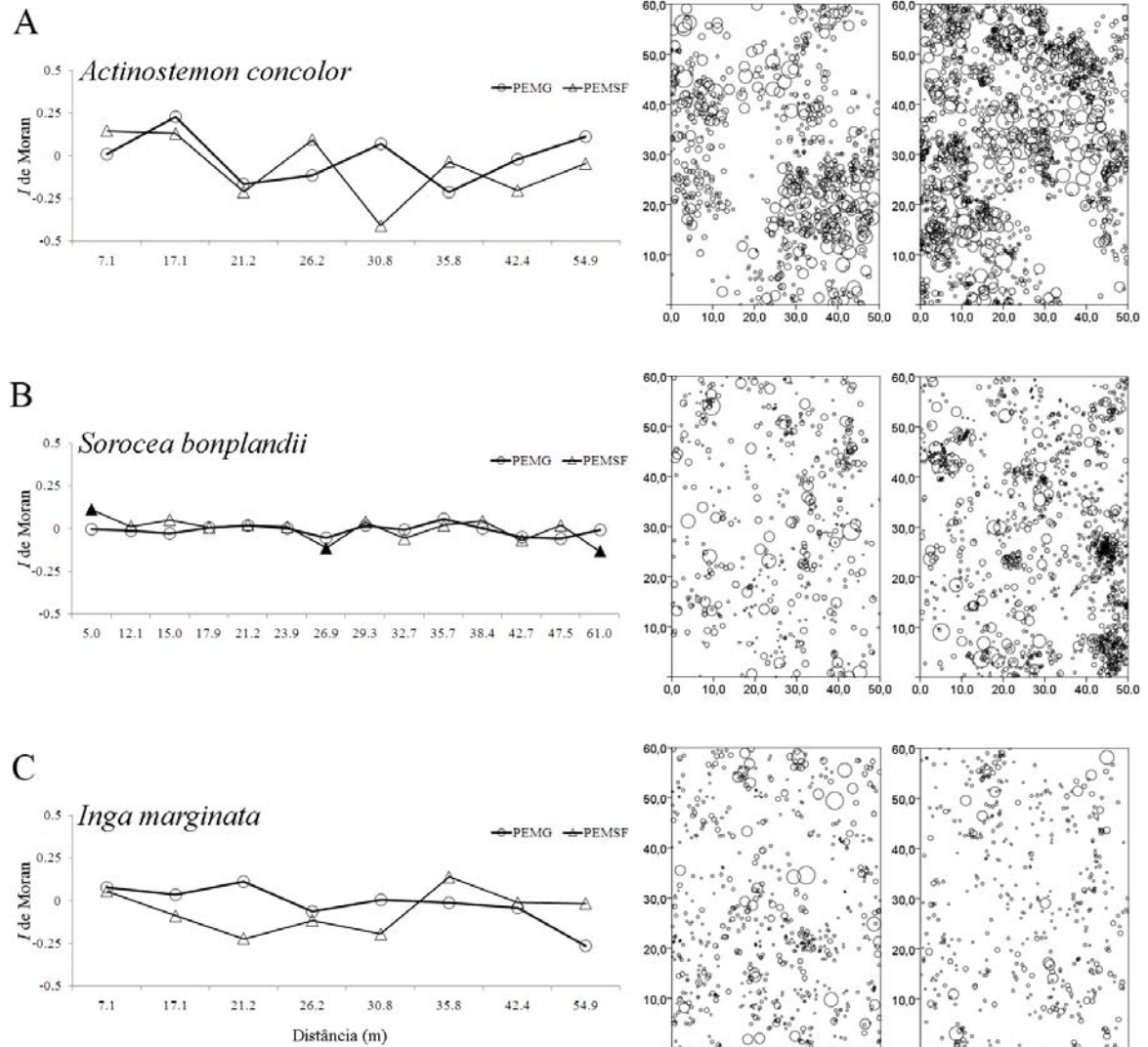
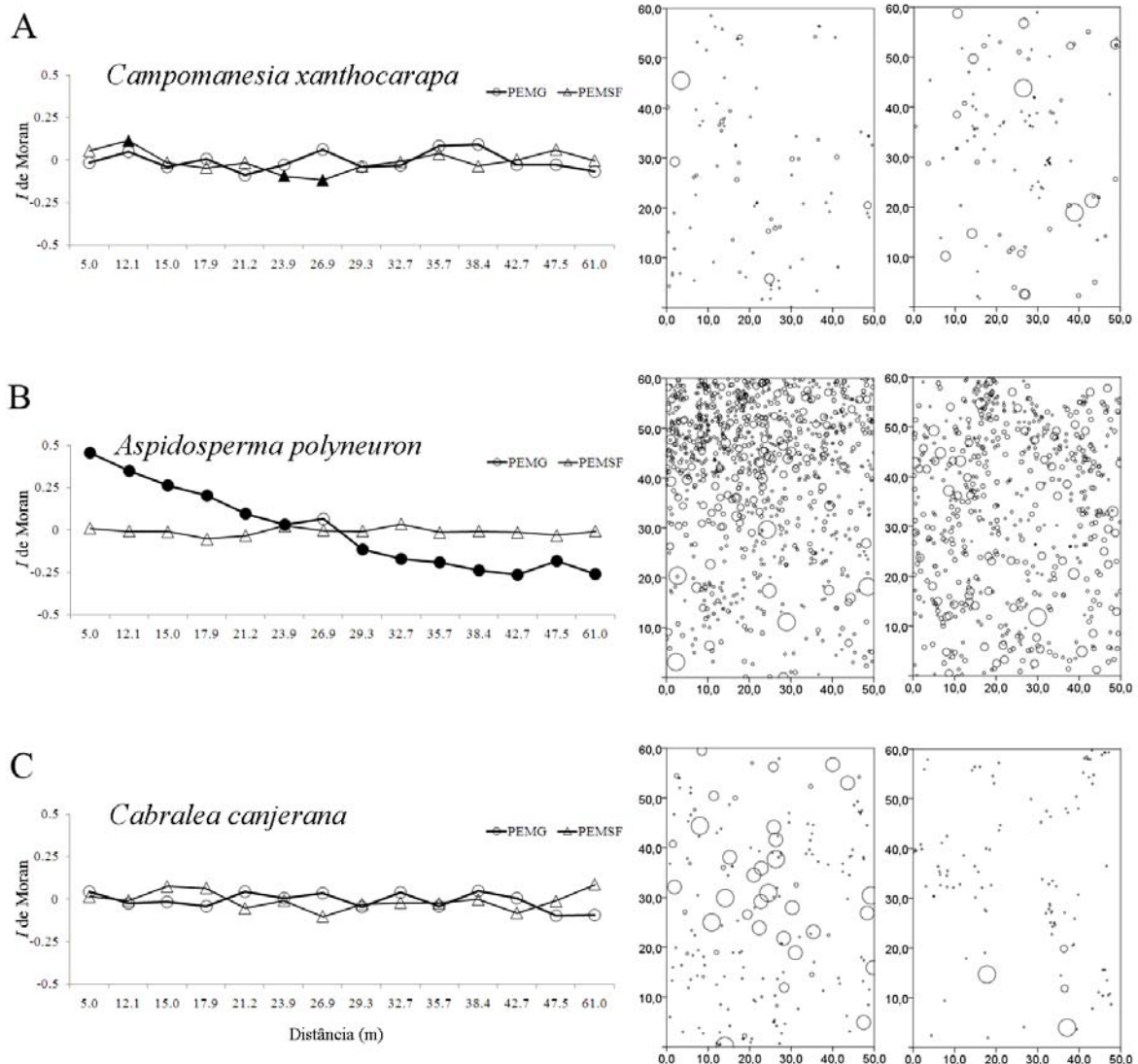
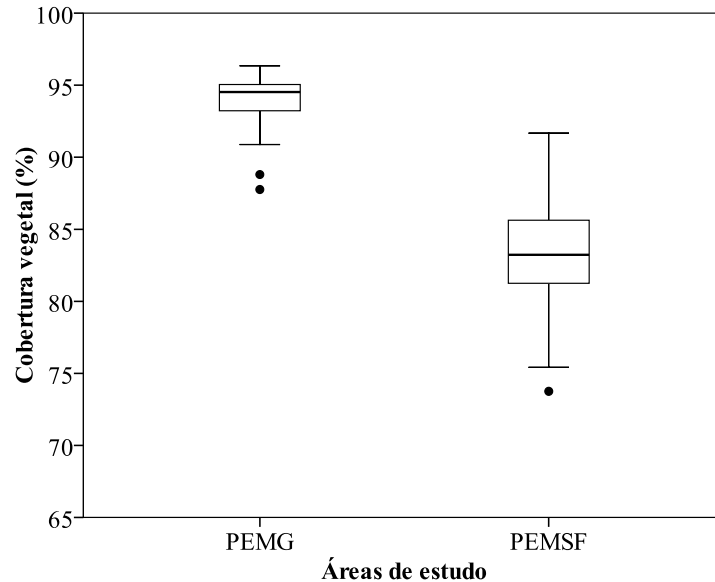


Figura 5 - Correlogramas espaciais da densidade de espécies de dossel/emergente, seguidos por mapas de distribuição das espécies ao longo das áreas amostrais (50 m x 60 m), nas duas áreas de estudo, respectivamente a área preservada Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e a área explorada Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. Pontos do correlograma preenchidos em preto indicam valores de I de Moran significativos ao nível de $\alpha = 5\%$ (para correlogramas globalmente significativos). O diâmetro das circunferências nos mapas de distribuição é representativo das classes de tamanho. A= *Campomanesia xanthocarpa*. B= *Aspidosperma polyneuron*. C= *Cabralea canjerana*.



O índice de cobertura vegetal foi maior no PEMG, com média de 93,96% (EP=0,36). O índice de cobertura médio no PEMSf foi de 83,51% (EP=0,85), demonstrando ser mais aberto e conseqüentemente, mais iluminado (Fig. 6). O teste parcial de Mantel indicou que não há correlação entre a distribuição dos indivíduos no espaço e o índice de cobertura vegetal (IC) em cada um das parcelas, para todas as espécies estudadas, em ambas as áreas.

Figura 6 – Diagrama de caixa (box plot) do índice de cobertura vegetal (%) da área preservada o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), e da área explorada o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Paraná, Brasil. As caixas representam as medianas e a amplitude total da distribuição (25% e 75%). As linhas verticais representam os valores máximos e mínimos. Os pontos pretos representam valores extremos.



Discussão

Todas as espécies estudadas, com exceção de *C. xanthocarpa*, apresentaram estrutura de tamanho diferente entre as áreas com e sem histórico de exploração de madeira, demonstrando que os impactos da exploração alteram a estrutura de tamanho, que é considerada uma síntese das taxas vitais (Kelly et al. 2001, Wright et al. 2003). As diferenças são evidentes principalmente quando se observa o número de indivíduos nas classes de tamanho maiores e intermediárias de *A. polyneuron* e *C. canjerana*, que são espécies que possuem madeira de grande interesse econômico (Carvalho 1994). Distúrbios causados pela retirada de madeira afetam todas as espécies, não somente as de interesse econômico que são exploradas de forma direta. Os distúrbios alteram severamente as condições ambientais necessárias para a sobrevivência e desenvolvimento, criando um novo hábitat, com variações importantes na luminosidade, umidade e temperatura (Guariguata e Ostertag 2001, Liebsch et al. 2008, Burton et al. 2009), o que influencia diretamente nas taxas de natalidade e mortalidade das populações (Getzin et al. 2008, Poorter et al. 2008).

As diferenças entre áreas em ambos os grupos de espécies (subosque e dossel/emergente), apontaram que na área com histórico de exploração de madeira as estruturas de tamanho apresentam maiores valores do coeficiente de assimetria. Valores do

coeficiente de assimetria maiores no PEMSF significam uma menor proporção de indivíduos nas maiores classes de tamanho. Provavelmente estes resultados sejam reflexos diretos do impacto da retirada de indivíduos adultos, mas principalmente devido à maior quantidade de indivíduos nas menores classes de tamanho em comparação com as populações na área preservada, com destaque para os indivíduos menores que 1 m de altura e 1 cm de diâmetro, um indício do processo de regeneração. A maior proporção de indivíduos pequenos no PEMSF pode ser efeito da menor competição, devido à retirada de indivíduos adultos e a maior luminosidade, que pode influenciar positivamente as taxas de germinação e estabelecimento de plântulas e a quantidade de flores e frutos produzidos (Smith 2000). Resultados semelhantes foram encontrados por Poorter et al. (2008) em um estudo que analisou várias florestas em Gana na África, e por Souza (2007) com populações de *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil, ambos encontraram maiores valores do coeficiente de assimetria em áreas exploradas.

Considerando a altura, *Campomanesia xanthocarpa* foi a única espécie que apresentou a mesma estrutura entre as áreas, um indício de que para essa população as possíveis consequências da exploração da área não influenciou ou não estão influenciando mais a estrutura de altura dos indivíduos. No estudo de relações alométricas também não foi observado diferenças para esta espécie entre áreas (capítulo 1), corroborando a sugestão de que não houve ou não há mais influência da exploração no PEMSF sobre a população.

Os coeficientes de assimetria não são claramente diferenciados entre os dois grupos de espécies (subosque e dossel/emergente), mas apresenta uma tendência de maiores valores para as espécies de dossel/emergente. Provavelmente não ocorreu uma divisão clara porque ambos os grupos de espécies são tolerantes à sombra, e segundo outros estudos a estrutura de tamanho parece variar bastante com alterações na abertura do dossel, principalmente quanto ao grau de tolerância e intolerância à sombra das espécies (Wright et al. 2003, Albrecht e McCarthy 2006, Souza 2007, D'Amato et al. 2008, Bianchini et al. 2010). A espécie de dossel *C. canjerana* foi a que apresentou os maiores valores do coeficiente de assimetria, isso se deve ao grande número de plântulas amostradas, uma vez que durante o período de amostragem do estudo ocorreram altas taxas de germinação dessa espécie (entre janeiro e março). O baixo número de indivíduos nas maiores classes de tamanho na área explorada, possivelmente está relacionado ao alto valor econômico da madeira de *C. canjerana* (Carvalho 1994) e consequente exploração da espécie. *Aspidosperma polyneuron* (dossel/emergente) também apresentou um déficit de indivíduos nas maiores classes de tamanho na área explorada, essa espécie tem uma das madeiras mais

cobiçadas da região (Carvalho 1994, Tomé et al. 1999), vários exemplares de tocos serrados de *A. polyneuron* ainda podem ser encontrados no PEMSF, comprovando a exploração da espécie na área. *Campomanesia xanthocarpa* é a única espécie do grupo de dossel/emergente estudada que não possui madeira de grande valor comercial, mas apresentou um aumento no número de indivíduos nas primeiras classes de diâmetro na área explorada. A característica de apresentar maior número de indivíduos menores em áreas mais iluminadas comparada com áreas menos iluminadas também foi observado por Pimenta (1998) no PEMG, trabalhando com esta mesma espécie.

As espécies de subosque *A. concolor* e *S. bonplandii* apresentaram um aumento expressivo na abundância de indivíduos na área explorada, com mais indivíduos em todas as classes de tamanho, principalmente nas menores classes. Batista e Platt (2003) encontraram que algumas espécies de subosque podem ser favorecidas por alterações como o aumento na luminosidade disponível e diminuição na competição, mesmo sendo espécies tolerantes à sombra, uma vez que a luminosidade em clareiras no interior da floresta é difusa e um aumento moderado pode favorecer essas espécies. Estes autores observaram que após o distúrbio, causado por um furacão no sul dos Estados Unidos, algumas espécies de subosque tiveram maior crescimento e sobrevivência de adultos e um maciço recrutamento e crescimento de plântulas, o mesmo pode estar ocorrendo no PEMSF para *A. concolor* e *S. bonplandii*. A espécie de subosque *I. marginata* não apresentou o mesmo comportamento das outras espécies do seu grupo, tendo uma redução na abundância de indivíduos em todas as classes de tamanho na área explorada, principalmente nas menores classes de altura. Isso fica evidente quando analisado o coeficiente de assimetria, essa espécie é a única em que os valores do coeficiente de assimetria são expressivamente menores na área explorada.

No capítulo 1 também foi observado que *Inga marginata* apresenta comportamento distinto das outras espécies do grupo de subosque, apresentando uma relação alométrica entre diâmetro e altura diferenciada, com o coeficiente angular da reta expressivamente menor na área explorada. Tanto os resultados de estrutura de tamanho quanto os de alometria indicam que essa espécie pode estar com problemas de regeneração na área com histórico de exploração de madeira, mas outros estudos são necessários para melhor caracterizar se esse comportamento é resultado de características intrínsecas da espécie frente aos distúrbios, ou da competição com as outras espécies do mesmo grupo. O gargalo na regeneração pode estar em qualquer etapa do ciclo de vida, desde problemas na germinação, estabelecimento e produção de flores e frutos até falta de polinizadores ou dispersores (Crawley 1997).

A ocupação do espaço amostrado pelas populações estudadas nas duas áreas, no geral foi bem ampla, ou seja, todas as populações apresentaram indivíduos na maioria das parcelas. Isso pode ser influência do critério de escolha das áreas amostrais, que incluiu áreas com mesma fisionomia, topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas, ou seja, o mais homogêneo possível.

O índice de cobertura do dossel (IC) foi maior na área explorada, mesmo assim o teste parcial de Mantel não correlacionou o índice de cobertura do dossel com a distribuição espacial de nenhuma das espécies. Apesar do IC ser diferente entre as áreas, ele continua pouco heterogêneo entre as parcelas, ou seja, a abertura do dossel não criou um ambiente muito mais heterogêneo em luminosidade, mas sim um ambiente mais iluminado por inteiro.

O mesmo padrão espacial (distribuição aleatória) entre áreas foi observado para três das seis espécies estudadas, *A. concolor*, *I. marginata* e *C. canjerana*. *Actinostemon concolor* ocupou grandes faixas contínuas, nas duas áreas de estudo, com muitos indivíduos de todas as classes de tamanho, indicando que essa espécie ocupa de forma maciça o subosque da floresta. *Inga marginata* e *C. canjerana* apresentaram uma distribuição ampla, representado principalmente por plântulas e indivíduos das primeiras classes de tamanho em todas as áreas amostradas. Esta observação sugere que os processos de dispersão de sementes estão efetivos, uma vez que as plântulas estão germinando mesmo longe de indivíduos adultos, e possibilita inferir sobre a presença da fauna dispersora, mesmo na área explorada, visto que *I. marginata* e *C. canjerana* são espécies zoocóricas.

Sorocea bonplandii e *C. xanthocarpa* apresentaram distribuição aleatória na área preservada, mas distribuição agrupada em pequenas manchas na área com histórico de exploração de madeira. *Sorocea bonplandii* foi abundante nas duas áreas, ocupando com muitos indivíduos quase todas as parcelas de estudo, porém no PEMSF houve um agrupamento muito grande de indivíduos jovens em alguns pontos, caracterizando as manchas. Em uma única subparcela de 5 m x 5 m, por exemplo, foram encontrados 76 indivíduos somente dessa espécie. *Campomanesia xanthocarpa* foi bem menos abundante em ambas as áreas, mas a distribuição agregada na área explorada também é devido a um maior adensamento de indivíduos da primeira classe de tamanho. Um maior grau de agregação nos indivíduos das menores classes de tamanho é comum para espécies arbóreas tropicais (He et al. 1997, Condit et al. 2000, Fonseca et al. 2004). Segundo Hutchings (1997) a germinação pode ser positivamente dependente de densidade, já que a distribuição de micro-sítios favoráveis tende a ser agregada.

Mesmo sem a presença de grandes exemplares adultos na área amostral do PEMSF, *A. polyneuron* apresentou vários indivíduos distribuídos por toda a área explorada de forma aleatória. Esse padrão provavelmente é resultado de um menor número de indivíduos nas primeiras classes de tamanho, que teoricamente são os que tendem a se distribuir de forma mais agrupada (Condit et al. 2000). Na área preservada são encontrados grandes indivíduos da espécie, sendo dois indivíduos próximos a 20 m de altura e três com aproximadamente 30 m de altura, todos próximos aos 20 primeiros metros do eixo y da parcela (a área amostral tem um comprimento de 60 m). A distribuição espacial de *A. polyneuron* na área preservada se mostrou tipicamente uma distribuição em gradiente, ou seja, há uma grande densidade de indivíduos em uma das extremidades da área amostral, que vai diminuindo progressivamente até chegar à outra extremidade, onde estão localizados os maiores espécimes, grandes dispersores em potencial, que alcançam altura acima do dossel da floresta (ver mapa de distribuição Fig. 5 B). *Aspidosperma polyneuron* é uma espécie anemocórica, ou seja, suas sementes são dispersas pelo vento. Indivíduos adultos dessa espécie que ultrapassam o dossel da floresta têm o processo de dispersão de sementes facilitado pelo maior contato com o vento, levando suas sementes o mais longe possível da planta-mãe. A distribuição em gradiente, com mais indivíduos longe dos adultos pode sugerir o sucesso do processo de dispersão de sementes e a influência de inimigos naturais sobre a densidade de plântulas ou distância da planta-mãe (Janzen 1970, Connell 1971). Fonseca et al. (2004) estudando populações de *A. polyneuron* no sudeste do Brasil encontraram uma correlação negativa entre a abundância de plântulas e adultos.

Os resultados indicam que quando comparados os grupos de espécies entre área explorada e não explorada, foram observadas diferenças na distribuição das classes de tamanho, e padrão espacial, demonstrando que os impactos sofridos pela exploração de madeira alteraram a estrutura populacional de algumas espécies. Além disso, os resultados sugerem que o processo de regeneração florestal pode estar ocorrendo, evidenciado principalmente pelo grande número de indivíduos regenerantes (primeiras classes de tamanho), distribuídos por toda a extensão das áreas amostrais. Mesmo as espécies que possuem madeira com alto valor econômico, que foram alvos diretos da exploração e tem um déficit de indivíduos nas maiores classes de tamanho, possuem regenerantes na maioria das parcelas da área explorada, mesmo que em menor quantidade, indicando que os propágulos estão chegando a essa área.

Considerando a estrutura das populações, a diferenciação entre os dois grupos funcionais estudados (subosque e dossel/emergente) não foi muito evidente, mas

algumas diferenças foram observadas. As espécies de subosque parecem ocupar com maior densidade toda a extensão das áreas amostrais, com exceção da população de *I. marginata* que se comportou diferente das demais no PEMSf. As espécies de dossel/emergente diretamente exploradas no PEMSf (*A. polyneuron* e *C. canjerana*) se regeneram, ainda sem ocupar o dossel efetivamente como ocupam na área preservada, enquanto *C. xanthocarpa* se desenvolve bem em ambas as áreas. Através das avaliações das estruturas de tamanho e espacial foi possível entender, mesmo que parcialmente, os efeitos do distúrbio sobre populações arbóreas de diferentes estratos e revelou também indicativos importantes dos processos de regeneração da floresta.

Referências

- ALBRECHT MA AND MCCARTHY BC. 2006. Effects of prescribed fire and thinning on tree recruitment patterns in central hardwood forests. *For Ecol Manage* 226: 88-103.
- AYRES M, AYRES MJ, AYRES DL AND SANTOS SA. 2007. Bioestat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das Ciências Bio-Médicas, Belém: Mamirauá/CNPq, 364 p.
- BATISTA WB AND PLATT WJ. 2003. Tree population responses to hurricane disturbance: syndromes in a south-eastern USA old-growth forest. *J Ecol* 91: 197-212.
- BENDEL RB, HIGGINS SS, TEBERG JE AND PYKE DA. 1989. Comparison of skewness coefficient, coefficient of variation, and Gini coefficient as inequality measures within populations. *Oecologia (Berlin)* 78: 394-400.
- BIANCHINI E, GARCIA CC, PIMENTA JA AND TOREZAN JMD. 2010. Slope variation and population structure of tree species from different ecological groups in South Brazil. *An Acad Bras Cienc* 82: 643-652.
- BOHLMAN SA AND O'BRIEN ST. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirements of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *J Trop Ecol* 22: 123-136.
- BURTON JI, ZENNER EK, FRELICH LE AND CORNETT MW. 2009. Patterns of plant community structure within and among primary and second-growth northern hardwood forest stands. *For Ecol Manage* 258: 2556-2568.
- CARVALHO PER. 1994. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira, Brasília: EMBRAPA/CNPq/SPI.
- CONDIT R ET AL. 2000. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science* 288: 1414-1418.
- CONNELL JH. 1971. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and rain forest trees. In: DEN BOER PJ AND GRADWELL GR. (Eds), *Dynamics of populations*, Wageningen: Pudoc, p. 298-312.

- COOMES DA AND ALLEN RB. 2007. Mortality and tree-size distributions in natural mixed-age forests. *J Ecol* 95: 27-40.
- CRAWLEY MJ. 1997. Life history and environment. In: CRAWLEY MJ (Ed), *Plant Ecology*, Oxford: Blackwell Scientific Publ, p. 97–136.
- D'AMATO AW, ORWIG DA AND FOSTER DR. 2008. The influence of successional processes and disturbance on the structure of *Tsuga canadensis* forests. *Ecol Appl* 18: 1182-1199.
- DENSLOW JS. 1980. Gap partitioning among tropical rainforest trees. *Biotropica* 12: 47-55.
- DINIZ-FILHO JAF, BINI LM AND HAWKINS BA. 2003. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecol Biogeogr* 12: 53-64.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1984. *Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná*, Londrina: Iapar, 413 p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.
- FONSECA MG, MARTINI AMZ AND SANTOS FAM. 2004. Spatial structure of *Aspidosperma polyneuron* in two semi-deciduous forests in Southeast Brazil. *J Veg Sci* 15: 41-48.
- GETZIN S, WIEGAND T, WIEGAND K AND HE F. 2008. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *J Ecol* 96: 807-820.
- GOURLET-FLEURY S, BLANC L, PICARD N, SIST P, DICK J, NASI R, SWAINE MD AND FORNI E. 2005. Grouping species for predicting mixed tropical forest dynamics: looking for a strategy. *Ann For Sci* 62: 785-796.
- GUARIGUATA MR AND OSTERTAG R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206.
- HE F, LEGENDRE P AND LAFRANKIE JV. 1997. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *J Veg Sci* 8: 105-114.
- HUTCHINGS MJ. 1997. The structure of plant population. In: CRAWLEY MJ (Ed), *Plant Ecology*, Oxford: Blackwell Scientific Publ, p. 97–136.
- IAPAR - INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 2000. *Cartas climáticas do estado do Paraná*. Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina.
- JANZEN DH. 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *Am Nat* 104: 501-528.
- KELLY CK ET AL. 2001. Investigations in commonness and rarity: a comparative analysis of co-occurring, congeneric Mexican trees. *Ecol Lett* 4: 618–627.
- LEGENDRE P AND FORTIN M-J. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80: 107–138.

- LEMMON PE. 1956. A spherical densiometer for estimating forest overstorey density. *For sci* 2: 314-320.
- LIEBSCH D, MARQUES MCM AND GOLDENBERG R. 2008. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. *Biol Conserv* 141: 1717-1725.
- LYON J AND SAGERS CL. 2002. Correspondence analysis of functional groups in a riparian landscape. *Plant Ecol* 164: 171-183.
- MAESTRE FT AND ESCUDERO A. 2008. Introducción. In: MAESTRE FT, ESCUDERO A AND BONET A. (Eds), *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*, Madrid: Dykinson, p. 1-33.
- MCLAREN KP, MCDONALD MA, HALL JB AND HEALEY JR. 2005. Predicting species response to disturbance from size class distributions of adults and saplings in a Jamaican tropical dry forest. *Plant Ecol* 181: 69-84.
- METZGER JP. 2009. Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. *Biol Conserv* 142: 1138-1140.
- MORELLATO LPC AND HADDAD CFB. 2000. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. *Biotropica* 32: 786-792.
- ODEN NL. 1984. Assessing the significance of a spatial correlogram. *Geogr Anal* 16: 1–16.
- PIMENTA JA. 1998. Estudo populacional de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae) no Parque Estadual Mata dos Godoy, PR. 158 p. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- POORTER L, HAWTHORNE W, BONGERS F AND SHEIL D. 2008. Maximum size distributions in tropical forest communities: relationships with rainfall and disturbance. *J Ecol* 96: 495-504.
- RAMÍREZ-MARCIAL N. 2003. Survival and growth of tree seedlings in anthropogenically disturbed Mexican montane rain forests. *J Veg Sci* 14: 881-890.
- RIBEIRO MC, METZGER JP, MARTENSEN AC, PONZONI FJ AND HIROTA MM. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol Conserv* 142: 1141-1153.
- ROSENBERG MS. 2001. *PASSAGE – Pattern Analysis, Spatial Statistics, and Geographic Exegesis*. Department of Biology, Arizona State University, Tempe, AZ.
- ROSSI JP AND QUÉNÉHERVÉ P. 1998. Relating species density to environmental variables in presence of spatial autocorrelation: a study case on soil nematodes distribution. *Ecography* 21: 117-123.
- SALDARRIAGA, JG AND UHL C. 1991. Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro. In: GOMEZ-POMPA A, WHITMORE TC AND HADLEY M

- (Eds), Tropical rain forest: regeneration and management, New York: Blackwell, p. 303-312.
- SAPKOTA IP, TIGABU M AND ODÉN PC. 2009. Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepalese Sal (*Shorea robusta*) forests subject to disturbances of different intensities. For Ecol Manage 257: 1966-1975.
- SIEGEL S. 1975. Estatística não paramétrica para ciência do comportamento, Rio de Janeiro: McGraw-Hill.
- SILVA FC AND SOARES-SILVA LH. 2000. Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR. Brazil. Edinb J Bot 57: 107-120.
- SKOV F. 2000. Distribution of plant functional attributes in a managed forest in relation to neighbourhood structure. Plant Ecol 146: 121-130.
- SMITH H. 2000. Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. Nature 407: 585-591.
- SMOUSE PE, LONG JC AND SOKAL RR. 1986. Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. Syst Zool 35: 627-632.
- SOLÍS S, LOBO J AND GRIMALDO M. 2009. Phenology and recruitment of *Caryocar costaricense* (Caryocaceae), an endemic tree species of Southern Central America. Rev Biol Trop 57: 771-780.
- SOUZA AF. 2007. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. Austral Ecol 32: 524-533.
- STURGES HA. 1926. The choice of class interval. J Am Stat Assoc 21: 65-66.
- SWAINE MD AND WHITMORE TC. 1988. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. Vegetatio 75: 81-86.
- TABARELLI M AND MANTOVANI W. 1999. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). Rev Brasil Biol 59: 239-250.
- TABARELLI M, MANTOVANI W AND PERES CA. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. Biol Conserv 91: 119-127.
- TOMÉ MVDF, MIGLIORANZA E, VILHENA AHT AND FONSECA EP. 1999. Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. Rev Inst Flor 11: 13-23.
- TOREZAN JMD. 2006. Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy. Londrina: ITEDES, 169 p.
- TSINGALIA M. 2010. Impacts of selective logging on population structure and dynamics of a canopy tree (*Olea capensis*) in Kakamega forest. Afr J Ecol 48: 569-575.

VICENTE RF. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: TOREZAN JMD (Eds), *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*, Londrina: ITEDES, p. 13-18.

WRIGHT SJ, MULLER-LANDAU HC, CONDIT R AND HUBBELL SP. 2003. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology* 84: 3174–3185.

ZAR JH. 1984. *Biostatistical analysis*. 2 nd ed., New Jersey: Prentice Hall, 130 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da estrutura de populações arbóreas de diferentes estratos florestais forneceu informações importantes do efeito da exploração de madeira sobre o processo de regeneração de uma floresta tropical. Foram encontradas diferenças nas relações alométricas de altura e diâmetro e nas estruturas de tamanho e espacial das populações entre as áreas com diferentes estados de conservação. Os impactos da exploração da área ainda estão evidentes na estrutura de populações das espécies estudadas, apesar de pelo menos 15 anos de cessado o corte seletivo de madeira, um indicativo de que essa atividade tem um impacto sobre a estrutura dessas populações que persiste por um longo período, sem previsão de completa regeneração da floresta.

Indivíduos de duas espécies de dossel (*C. xanthocarpa* e *C. canjerana*) quando menores que 10 m de altura, apresentam o coeficiente angular da reta igual entre a área explorada e preservada, um indicio de que para essas populações as possíveis consequências da exploração da área não influenciaram ou não estão influenciando mais a relação alométrica de diâmetro e altura dos indivíduos. As espécies de subosque *A. concolor* e *S. bonplandii*, consideradas sensíveis às alterações na luminosidade e *A. polyneuron* (dossel/emergente), que foi intensamente explorada na região, apresentaram o coeficiente angular da reta maior na área explorada, provavelmente relacionado ao menor índice de cobertura vegetal, e conseqüentemente maior exposição aos ventos e menor competição por luz, permitindo a esses indivíduos alocar biomassa para o crescimento em espessura. Apesar das diferenças, ambas as espécies são abundantes e apresentam a relação entre diâmetro e altura explicado pelo mesmo modelo de similaridade geométrica nas duas áreas de estudo. Tanto os resultados das relações alométricas quanto os da estrutura de tamanho indicam que *I. marginata* pode estar com problemas de regeneração na área com histórico de exploração de madeira.

A maioria das espécies estudadas apresenta estrutura de tamanho com maiores valores do coeficiente de assimetria na área com histórico de exploração de madeira. Isso indica maior proporção de indivíduos nas primeiras classes de tamanho, provavelmente reflexos diretos do impacto da retirada de indivíduos adultos, mas principalmente maior quantidade de indivíduos nas menores classes de tamanho, possivelmente influenciado pela maior luminosidade no Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF).

Todas as populações apresentaram indivíduos na maioria das parcelas. A maioria das populações apresenta distribuição espacial aleatória, as que possuem algum grau

de agregação é devido, principalmente, a um maior adensamento de regenerantes. Um grande número de indivíduos regenerantes (primeiras classes de tamanho), de todas as espécies estudadas estão distribuídos por toda a extensão das áreas amostrais, principalmente no PEMSF onde o interior da floresta é mais iluminado. Mesmo as espécies que possuem madeira com alto valor econômico (*A. polyneuron* e *C. canjerana*), que foram alvos diretos da exploração e têm um déficit de indivíduos nas maiores classes de tamanho, possuem regenerantes na maioria das parcelas da área explorada, mesmo que em menor quantidade, indicando que os propágulos estão chegando e se estabelecendo nessa área.

A diferenciação entre os dois grupos funcionais estudados (subosque e dossel/emergente) não foi muito evidente, mas algumas diferenças foram observadas. Os dois grupos de espécies apresentam o mesmo padrão de crescimento quando se desenvolvem sob o dossel sombreado da floresta (indivíduos menores que 10 m de altura). Quando incluído todos os indivíduos, observou-se a separação em dois grupos, que coincidem com os grupos ecológicos, tendo os indivíduos das espécies de dossel/emergente maior investimento em crescimento em espessura, principalmente na área preservada. As espécies de subosque parecem ocupar com maior densidade toda a extensão das áreas amostrais com exceção da população de *I. marginata*, que pode estar com problemas de regeneração na área com histórico de exploração de madeira. As espécies de dossel/emergente diretamente exploradas no PEMSF (*A. polyneuron* e *C. canjerana*) se regeneram, ainda sem ocupar o dossel efetivamente como ocupam na área preservada, enquanto *C. xanthocarpa* se desenvolve bem em ambas as áreas.

Aspectos populacionais, como a relação alométrica de diâmetro e altura e as estruturas de tamanho e espacial se mostraram estudos importantes na avaliação dos efeitos do distúrbio sobre as populações e os processos de regeneração da floresta. Para ampliar o conhecimento sobre o processo de regeneração da floresta é importante continuar as avaliações para se ter resultados em longo prazo e acompanhar as variações das características físicas do microambiente e da ecologia populacional dessas e de outras espécies. No entanto, as informações apresentadas nesse estudo foram suficientes para compreender que há diferenças na estrutura de populações entre áreas com diferentes estados de conservação e alguns efeitos da exploração sobre cada uma das espécies estudadas.

REFERÊNCIAS

- Alves LF.; Metzger JP. 2006. A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biota Neotrop* 6: 1-26.
- Anjos L. 1998. Conseqüências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. *Inst Pesq Est Flor* 12: 87-94.
- Archibald S and Bond WJ. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102: 3-14.
- Bianchini E, Garcia CC, Pimenta JA and Torezan JMD. 2010. Slope variation and population structure of tree species from different ecological groups in South Brazil. *An Acad Bras Cienc* 82: 643-652.
- Bohlman SA and O'Brien ST. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirements of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *J Trop Ecol* 22: 123–136.
- Bovolenta YR, Rodrigues DR, Zama MY and Araujo CG. 2009. Estrutura diamétrica da comunidade arbórea da porção oeste do Parque Estadual Mata São Francisco, PR. In: *Simpósio de Ciências Ambientais do Norte do Paraná – SICANP, Bandeirantes, Paraná. Anais do Simpósio de Ciências Ambientais do Norte do Paraná, Bandeirantes.*
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. 2002. *Biodiversidade Brasileira: Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição dos Benefícios da Biodiversidade nos Biomas Brasileiros.* Brasília, 404 p.
- Brokaw NVL. 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66: 682-687.
- Clark DA. 1994. Plant demography. In: McDade LA, Bawa KS, Hespeneide HA and Hartshorn GS. (Eds.). *La Selva – ecology and natural history of a neotropical rain forest*, Chicago: The University of Chicago Press, p. 90-105.
- Danciguer L. 1996. Aspectos da regeneração de duas espécies arbóreas em um fragmento florestal do sudeste brasileiro. *Dissertação de Mestrado – Universidade de Campinas, Campinas.*
- De Steven D. 1988. Light gaps and long-terms seedling performance of a Neotropical canopy tree (*Dipteryx panamensis*, Leguminosae). *J Trop Ecol* 4: 407-411.
- Dent DH and Wright SJ. 2009. The future of tropical species in secondary forests: A quantitative review. *Biol Conserv* 142: 2833-2843.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1984. *Levantamento e Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná*, Londrina: Iapar, 413 p.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.

- Fortin MJ and Dale MRT. 2009. Spatial autocorrelation in ecological studies: a legacy of solutions and myths. *Geogr Anal* 41: 392–397.
- Fundação SOS Mata Atlântica and Inpe. 2001. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica e Ecossistemas Associados no Período de 1995-2000. São Paulo, 55 p.
- Fundação SOS Mata Atlântica and Inpe. 2008. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2000-2005. São Paulo, 157 p.
- Getzin S, Wiegand T, Wiegand K and He F. 2008. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *J Ecol* 96: 807-820.
- Guariguata MR and Ostertag R. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206.
- Harper JL. 1977. Population biology of plants. London: Academy Press, 892 p.
- Hutchings MJ. 1997. The structure of plant population. In: Crawley MJ (Ed), *Plant Ecology*, Oxford: Blackwell Scientific Publ, p. 97–136.
- Iapar - Instituto Agronômico do Paraná. 2000. Cartas climáticas do estado do Paraná. Fundação Instituto Agronômico do Paraná, Londrina.
- Kelly CK et al. 2001. Investigations in commonness and rarity: a comparative analysis of co-occurring, congeneric Mexican trees. *Ecol Lett* 4: 618–627.
- King DA. 1990. The adaptive significance of tree height. *Am Nat* 135: 809-828.
- Kohyama T and Hotta M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Funct Ecol* 4: 515-521.
- Lee EWS, Hau BCH and Corlett RT. 2005. Natural regeneration in exotic tree plantations in Hong Kong, China. *For Ecol Manage* 212: 358-366.
- Lewinsohn TM and Prado PI. 2000. Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento. Campinas: Unicamp, 2000.
- Liebsch D, Marques MCM and Goldenberg R. 2008. How long does the Atlantic Rain Forest take to recover after a disturbance? Changes in species composition and ecological features during secondary succession. *Biol Conserv* 141: 1717-1725.
- Lima RAF. 2005. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. *Rev Brasil Bot* 28: 651-670.
- Lorenzi H. 2000. Árvores brasileiras, Nova Odessa: Plantarum.
- Lyon J and Sagers CL. 2002. Correspondence analysis of functional groups in a riparian landscape. *Plant Ecol* 164: 171-183.
- Maestre FT and Escudero A. 2008. Introducción. In: Maestre FT, Escudero A and Bonet A. (Eds), *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*, Madri: Dykinson, p. 1-33.

- McLaren KP, McDonald MA, Hall JB and Healey JR. 2005. Predicting species response to disturbance from size class distributions of adults and saplings in a Jamaican tropical dry forest. *Plant Ecol* 181: 69-84.
- Medri ME, Bianchini E, Shibatta AO and Pimenta JA. 2002. A bacia do rio Tibagi, Londrina, p. 213–224.
- Metzger JP. 2009. Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. *Biol Conserv* 142: 1138-1140.
- Miranda-Melo AA, Martins FR and Santos FAM. 2007. Estrutura populacional de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. e de *Roupala montana* Aubl. em fragmentos de cerrado no Estado de São Paulo. *Rev Brasil Bot* 30: 501-507.
- Niklas KJ. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk-taper. *Ann Bot* 75: 217-227.
- Paula AS and Rodrigues E. 2002. Degradação da paisagem norte-paranaense: um estudo de fragmentos florestais. *Semina Agrárias* 23: 229-238.
- Pimenta JA. 1998. Estudo populacional de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae) no Parque Estadual Mata dos Godoy, PR. 158 p. Tese de doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Poorter L, Hawthorne W, Bongers F and Sheil D. 2008. Maximum size distributions in tropical forest communities: relationships with rainfall and disturbance. *J Ecol* 96: 495-504.
- Reitz R. 1988. Euforbiáceas. In: Reitz R. (Ed.) *Flora Ilustrada Catarinense*. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues.
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ and Hirota MM. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol Conserv* 142: 1141-1153.
- Richards PW. 1996. *The Tropical Rain Forest: An Ecological Study*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 575 p.
- Ricklefs RE. 2003. *A economia da natureza*. 4 nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan SA, 470 p.
- Rodrigues E. 1993. *Ecologia de fragmentos florestais no gradiente de urbano de Londrina*. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Saldarriaga, JG and Uhl C. 1991. Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro. In: Gomez-Pompa A, Whitmore TC and Hadley M (Eds), *Tropical rain forest: regeneration and management*, New York: Blackwell, p. 303-312.
- Sapkota IP, Tigabu M and Odén PC. 2009. Spatial distribution, advanced regeneration and stand structure of Nepalese Sal (*Shorea robusta*) forests subject to disturbances of different intensities. *For Ecol Manage* 257: 1966-1975.

- Silveira M. 1993. Estrutura vegetacional em uma topossequência no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Silveira TA, Bovolenta YR, Zama MY, Rodrigues DR and Monteiro-Filho AS. 2008. Presença de taquara em relação à abertura do dossel no Parque Estadual Mata São Francisco. In: Congresso Nacional de Botânica, 59, Natal. Anais do 59 Congresso Nacional de Botânica, Natal.
- Soares-Silva LH and Barroso GM. 1992. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. In: Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, 8, Campinas. Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, Campinas, p. 101–112.
- Souza AF. 2007. Ecological interpretation of multiple population size structures in trees: The case of *Araucaria angustifolia* in South America. *Austral Ecol* 32: 524-533.
- Tabarelli M and Mantovani W. 1999. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). *Rev Brasil Biol* 59: 239-250.
- Tabarelli M, Mantovani W and Peres CA. 1999. Effects of habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. *Biol Conserv* 91: 119-127.
- Tomé MVDF and Vilhena AHT. 1996. Levantamento Preliminar de Fragmentos Florestais no Norte do Paraná – Subsídio para conservação florestal e formação de arboreto – estrutura horizontal. In: Simpósio Internacional sobre ecossistemas florestais, 4, Belo Horizonte. Anais do Simpósio Internacional sobre Ecossistemas Florestais, Belo Horizonte, p. 11-13.
- Tomé MVDF, Miglioranza E, Vilhena AHT and Fonseca EP. 1999. Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Rev Inst Flor* 11: 13-23.
- Torezan JMD. 2006. Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy. Londrina: ITEDES, 169 p.
- Tsingalia M. 2010. Impacts of selective logging on population structure and dynamics of a canopy tree (*Olea capensis*) in Kakamega forest. *Afr J Ecol* 48: 569-575.
- Veloso HP, Rangel-Filho ALR and Lima JCA. 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 124 p.
- Vicente RF. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (Eds), Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina: ITEDES, p. 13-18.
- Vieilledent G, Courbaud B, Kunstler G, Dhôte JF and Clark JS. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163: 759-773.
- Walker BH. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conserv Biol* 6: 18-23.
- Wright SJ, Muller-Landau HC, Condit R and Hubbell SP. 2003. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology* 84: 3174–3185.

Yamagawa H and Ito S. 2006. The role of different sources of tree regeneration in the initial stages of natural forest recovery after logging of conifer plantation in a warm-temperate region. *J For Res* 11: 455-460.