



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

DIEGO RESENDE RODRIGUES

**Regeneração de espécies arbóreas em  
Floresta Impactada**

---

Londrina  
2011

DIEGO RESENDE RODRIGUES

**Regeneração de espécies arbóreas em Floresta  
Impactada**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica da Universidade Estadual de Londrina (UEL) para obtenção do Título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Bianchini

---

Londrina

2011

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: Diego Resende Rodrigues

Título: "Regeneração de espécies em floresta impactada".

Data da Defesa: 22 de junho de 2011 - 14:00 hs, na sala 202 do  
Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parecer

Dr. Edmilson bianchini

APROVADO

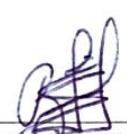
Dra. Dalva Maria da Silva Matos

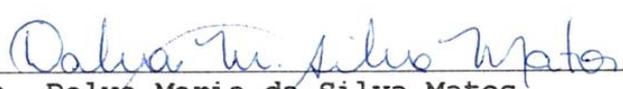
Aprovado

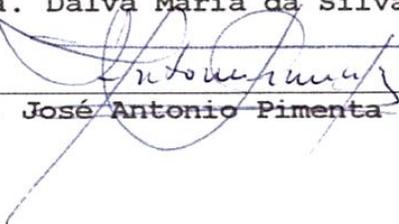
Dr. José Antonio Pimenta

APROVADO

Parecer Final APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Edmilson Bianchini

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Dalva Maria da Silva Matos

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Pimenta

*“O mundo muda constantemente, e, na Natureza, ser constante seria uma inconstância.”*

(Abraham Cowley)

Aos meus Avós Luiz (*i. m.*) e  
Celina, à minha mãe Sandra, aos  
meus irmãos e amigos, alicerces da  
minha vida

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **DEUS**.

Gostaria de agradecer a todos que ajudaram na realização deste trabalho, com ênfase à **Universidade Estadual de Londrina**, ao **Programa de Mestrado em Ciências Biológicas** e a **Capes**.

Ao Professor **Dr. Edmilson Bianchini** pela ótima orientação, amizade, apoio, puxões de orelha, os bate-papos descontraídos na sua sala. Suas sugestões, críticas e experiência foram de extrema importância para o meu aprendizado e para a realização desta dissertação.

Ao Professor **Dr. José Antonio Pimenta** pela grande ajuda por ser praticamente o co-orientador desse trabalho, no esclarecimento de dúvidas, pela amizade, apoio e pela participação na banca de avaliação.

À Professora **Dra. Dalva Maria da Silva Matos** pelas sugestões durante a pré-banca e banca de avaliação.

Ao **Instituto Ambiental do Paraná (IAP)** por autorizar a realização do trabalho no Parque Estadual Mata São Francisco e no Parque Estadual Mata dos Godoy.

Ao meu grande amigo e companheiro de trabalho, que convivi durante a faculdade e o mestrado, **Yves Rafael Bovolenta**, não esquecendo também de toda sua Família que sempre me recebeu de braços abertos.

Às minhas grandes amigas **Maristela Yuka Zama**, **Eloísa de Souza Carvalho** e **Ana Paula Liboni**, que muito nos ajudaram nas idas à campo, nas ideias e ao grande incentivo para a realização do trabalho. À grande amiga **Gabriela Ribeiro de Andrade**, que gentilmente cedeu sua casa em Mogi Guaçu antes da viagem a Manaus para o Congresso de Botânica.

Agradeço a todos meus amigos da graduação e aos amigos da cidade de Bandeirantes-PR.

A toda turma do Mestrado, e as nossas descontraídas conversas tomando aquele suco gelado nos bares em Londrina.

À minha Família, à minha mãe **Sandra Regina Vasconcellos Resende**, meus irmãos, que sempre me apoiaram e entenderam os meus momentos de ausência em casa, em função dos estudos. Em especial gostaria de agradecer meu Avô (*in memoriam*) **Luiz Resende Filho** e minha Avó **Celina Vasconcellos Resende**, que foram as pessoas em quem sempre me espelhei em toda minha vida, sempre me apoiaram com muita força, amor e incentivo.

A todos os meus amigos da cidade de Assis e a todos que eu conheci nessa longa jornada de estudo, que sempre me apoiaram e torceram por mim e que também entenderam minha ausência quando fui embora da cidade para estudar.

Espero que um dia eu possa retribuir todo o apoio e ajuda que tive. Peço desculpas por não colocar o nome de todos ou se esqueci de alguém, pois muita gente contribuiu direta ou indiretamente para a formação deste trabalho.

A todos o meu **MUITO OBRIGADO!**

## SUMÁRIO

1.1 - INTRODUÇÃO GERAL .....	1
1.2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	8
1.2.1 - Alometria como ferramenta no estudo ecológico de plantas .....	8
1.2.2 - Metodologia e análise dos dados das relações alométricas .....	14
1.3 - ÁREAS DE ESTUDO .....	15
1.4 - ESPÉCIES ESTUDADAS .....	18
1.4.1 - Intolerantes à sombra .....	18
1.4.1.1 - <i>Astronium graveolens</i> Jacq. ....	18
1.4.1.2 - <i>Croton floribundus</i> Spreng. ....	19
1.4.1.3 - <i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms. ....	20
1.4.2 - Tolerantes à sombra .....	21
1.4.2.1 - <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl. ....	21
1.4.2.2 - <i>Euterpe edulis</i> Mart. ....	23
1.4.2.3 - <i>Holocalyx balansae</i> Micheli. ....	24
2 - DELIMITAÇÃO DAS PARCELAS DE ESTUDO .....	25
3 - REFERÊNCIAS .....	26
<b>CAPÍTULO 1 - Relações alométricas de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação .....</b>	<b>34</b>
Resumo .....	36
Abstract .....	36
Introdução .....	37
Métodos .....	40
Resultados .....	42
Discussão .....	44
Referências .....	51

<b>CAPÍTULO 2 - Estrutura de tamanho e espacial de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação .....</b>	<b>56</b>
Resumo .....	58
Abstract.....	58
Introdução.....	59
Métodos .....	61
Resultados.....	64
Discussão.....	67
Referências .....	77
<b>4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>82</b>
<b>5 - ANEXO.....</b>	<b>85</b>

## Lista de figuras

- Figura 1** Fragmento florestal do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. Imagem de satélite com indicativo (retângulo amarelo) da localização da área amostral (A1).....17
- Figura 2** Fragmento florestal do Parque Estadual Mata São Francisco, Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil. Imagem de satélite com indicativo (retângulo amarelo) da localização da área amostral (A2).....17
- Figura 3** Exemplos da espécie *Astronium graveolens*. Fotos: A e B: Diego R. Rodrigues.....19
- Figura 4** Exemplos da espécie *Croton floribundus*. Fotos: A – Diego R. Rodrigues; B – Bianca B. Perina. ....20
- Figura 5** Exemplos da espécie *Gallesia integrifolia*. Fotos A e B: Diego R. Rodrigues.....21
- Figura 6** Exemplos da espécie *Chrysophyllum gonocarpum*. Fotos A e B: Diego R. Rodrigues.....22
- Figura 7** Exemplos da espécie *Euterpe edulis*. Fotos A e B: Diego R. Rodrigues.....24
- Figura 8** Exemplos da espécie *Holocalyx balansae*. Fotos A - Diego R. Rodrigues; B – Bianca B. Perina. ....25

## Capítulo 1

- Fig. 1** Regressão entre diâmetro a altura do solo (DAS) e altura ( $\log \text{DAS} = a + b \log \text{altura}$ ) das espécies intolerantes à sombra: *Astronium graveolens* (a, b), *Gallesia integrifolia* (c, d), no Parque Estadual Mata São Francisco (a, c), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (b, d), Londrina, PR, Brasil.....48
- Fig. 2** Regressão entre diâmetro a altura do solo (DAS) e altura ( $\log \text{DAS} = a + b \log \text{altura}$ ) das espécies tolerantes à sombra *Chrysophyllum gonocarpum* (a, b), *Euterpe edulis* (c, d) e *Holocalyx balansae* (e, f), no Parque Estadual Mata São Francisco (a, c, e), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e Parque Estadual Mata dos Godoy (b, d, f), Londrina, PR, Brasil. ....49

## Capítulo 2

- Fig. 1** Frequência relativa de indivíduos por classes de altura das espécies intolerantes à sombra, *Astronium graveolens* (a) e *Gallesia integrifolia* (b), no Parque Estadual Mata São Francisco (barras claras), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (barras escuras), Londrina, PR, Brasil .....73

**Fig. 2** Correlogramas espaciais de *Astronium graveolens* (a) e *Gallesia integrifolia* (b) no Parque Estadual Mata São Francisco (quadrados), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil, e Parque Estadual Mata dos Godoy (círculos), Londrina, PR, Brasil. Os correlogramas não foram globalmente significativos.....74

**Fig. 3** Frequência relativa de indivíduos por classes de altura das espécies tolerantes à sombra, *Chrysophyllum gonocarpum* (a), *Euterpe edulis* (b) e *Holocalyx balansae* (c) no Parque Estadual Mata São Francisco (barras claras), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (barras escuras), Londrina, PR, Brasil.....75

**Fig. 4** Correlogramas espaciais das espécies tolerantes à sombra, *Chrysophyllum gonocarpum* (a), *Euterpe edulis* (b) e *Holocalyx balansae* (c) no Parque Estadual Mata São Francisco (quadrados), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil, e Parque Estadual Mata dos Godoy (círculos), Londrina, PR, Brasil. Símbolos do correlograma preenchidos em vermelho indicam valores de I de Moran significativos ao nível de  $\alpha = 5\%$ .....76

## Lista de tabelas

**Tabela 1** Sumário dos expoentes alométricos  $\infty$  previsto pelos três principais modelos para a relação entre altura do caule H e diâmetro D. Os valores para  $\infty$  são dados em forma de fração (adaptado de Niklas 1995).....11

### Capítulo 1

**Tabela 1** Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro (cm) e altura (m) ( $\log \text{ diâmetro} = a + b \log \text{ altura}$ ) das espécies intolerantes à sombra (IS), *Astronium graveolens* (AG), *Croton floribundus* (CF) e *Gallesia integrifolia* (GI) e das espécies tolerantes à sombra (TS), *Chrysophyllum gonocarpum* (CG), *Euterpe edulis* (EE) e *Holocalyx balansae* (HB) do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil. ....50

**Tabela 2** Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro (cm) e altura (m) ( $\log \text{ diâmetro} = a + b \log \text{ altura}$ ) de cinco espécies do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil. Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Scheffé,  $p < 0,05$ ). .....50

### Capítulo 2

**Tabela 1** Comparações das estruturas de altura das populações de seis espécies em dois remanescentes florestais, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (D) e números de indivíduos (n) encontrados em cada área amostral. PEMSF - Parque Estadual Mata São Francisco, Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil; PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. ....72

**Tabela 2** Teste parcial de Mantel (r) para distribuição espacial e índice de cobertura vegetal no Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil.....74

**RESUMO** - O presente trabalho objetivou estudar aspectos da ecologia populacional de seis espécies arbóreas em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, com diferentes históricos de preservação: o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil (23° 15' S e 50° 45' W, ponto central do fragmento), que sofreu exploração antrópica e o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil (23° 27' S e 51° 15' W, ponto central do fragmento), uma área sem histórico de perturbação. Foram realizados estudos de alometria e de estruturas de altura e espacial em populações arbóreas intolerantes à sombra (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) e tolerantes à sombra (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., e *Holocalyx balansae* Micheli) em ambos os fragmentos. Foram definidas duas áreas amostrais, com fisionomias semelhantes, de 0,3 ha cada, uma em cada fragmento, divididas em parcelas contíguas de 10 m x 10 m, totalizando 30 parcelas. Todos os indivíduos das seis espécies contidos nas áreas foram marcados, numerados e medidos a altura e o diâmetro. Mediu-se o índice de cobertura vegetal (ICV), para verificar, com o uso do teste *t*, uma possível diferença de luminosidade entre as áreas. A análise de covariância (ANCOVA) foi usada para testar as possíveis diferenças nas relações alométricas entre diâmetro e altura das espécies entre as áreas. A estrutura de altura de cada espécie entre as áreas foi comparada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A distribuição espacial das espécies, em cada área, foi avaliada pelo coeficiente de autocorrelação espacial de Moran (*I*). A análise do teste *t* apontou diferença no índice de cobertura vegetal entre as áreas, indicando uma maior luminosidade no PEMSf. As populações de ambas as áreas apresentaram altos valores de  $r^2$  (entre 0,83 e 0,96), indicando baixa variação diâmetro-altura dos indivíduos. Os valores de “*b*” (inclinação da reta) indicaram que as populações do PEMSf têm um investimento maior em diâmetro para uma mesma altura comparado ao PEMG, possivelmente relacionado à maior luminosidade no PEMSf, ocorrendo menor competição por luz. Na mesma área não houve diferença na relação diâmetro-altura entre os grupos funcionais, sugerindo que o crescimento em diâmetro-altura reflete estratégias em resposta a diferentes condições de luminosidade. Foram observadas diferenças na distribuição de indivíduos por classes de altura para algumas espécies, entre as áreas, indicando que os impactos da exploração antrópica alteraram a estrutura espacial das espécies de estudo. Todas as populações apresentaram distribuição aleatória, com exceção das populações de *E. edulis* no PEMG e *H. balansae* no PEMSf, que apresentaram distribuição agregada. A análise dos resultados sugere que está ocorrendo regeneração natural dessas espécies no PEMSf, após um período de perturbação no passado. Os aspectos populacionais estudados demonstraram alguns dos efeitos da exploração antrópica sobre as populações.

**Palavras-chave:** alometria, estrutura de altura, estrutura espacial, Floresta estacional semidecidual, grupos funcionais, exploração antrópica.

**ABSTRACT** - This study aimed to investigate aspects of population ecology of six tree species in two areas with different historical preservation: Mata São Francisco State Park (MSFSP), Santa Mariana-Cornelio Procópio, PR, Brazil (23° 15'S and 50° 45'W, central point of fragment), who suffered exploration anthropogenic, and Mata dos Godoy State Park (MGSP) (23° 27 'S and 51° 15' W, central point of fragment), with no history of disturbance. Studies of allometric relationships, height structure and spatial pattern were performed on shade-intolerant species (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) and shade-tolerant species (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart. and *Holocalyx balansae* Micheli) in both fragments. Sixty plots of 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) were allocated, being 30 contiguous plots in each fragment, with similar physiognomy. All individuals of six species were marked, assessed for total height, diameter. The canopy cover was measured with densiometer to verify a possible difference in luminosity between areas, through the *t* test. The analysis of covariance (ANCOVA) was used to test for possible differences in allometric relationships of height-diameter of species between areas. The height structure of each species between areas was compared by the Kolmogorov-Smirnov test. The spatial distribution of species in each area was evaluated by the spatial autocorrelation coefficient Moran (*I*). The analysis of *t* test revealed differences in canopy cover between areas, suggesting a higher luminosity in MSFSP. All populations had high *r*<sup>2</sup> values (between 0.83 and 0.96), indicating low variation in individuals form. The “b” values (slope of regression) indicated that the populations of MSFSP have a larger investment in diameter for to the same height than individuals of MGSP, possibly related to higher luminosity and less competition for light in MSFSP. In the same area, there wasn't difference in growth pattern between functional groups, suggesting the diameter-height growth pattern reflect growth strategies in response to different light conditions. Differences were observed in the distribution of individuals by height classes between areas for all species, demonstrating the impacts of anthropogenic exploitation on population structure in the studied species. All populations had a random spatial pattern, except *H. balansae* in MSFSP and *E. edulis* in MGSP, which showed an aggregate distribution. The study showed evidences of regeneration of study species due establishment of shade-tolerant species in MSFSP and coexistence of functional groups in both fragments. The populational aspects studied showed some of effects of anthropogenic exploration on populations.

**Keywords:** allometry, size structure, spatial pattern, seasonal semideciduous forest, functional groups, disturbance.

## 1.1 - INTRODUÇÃO GERAL

A Mata Atlântica, considerada uma das cinco mais importantes áreas (*hotspot*) para conservação da biodiversidade do planeta (Myers et al. 2000), apresentava uma área de aproximadamente 1.300.000 Km<sup>2</sup>. Este bioma tem perdido sua biodiversidade causada principalmente pela ação antrópica (Primack e Rodrigues 2001).

Estudos da Fundação SOS Mata Atlântica/INPE (2008), considerando apenas fragmentos com 100 ou mais hectares, mostraram que restam apenas 7,26% do total original. Ribeiro et al. (2009) relataram que ainda restam de 11,4 a 16% do total inicial e ressaltaram que, desses remanescentes florestais, a maioria (cerca de 83% do total de fragmentos) apresenta menos que 50 ha.

O estado do Paraná, originalmente coberto, em sua maior extensão, pelo Bioma Atlântico, foi seriamente afetado pelo desmatamento. No final do século XIX a cobertura vegetal foi reduzida a aproximadamente 83,5% da original, em função da ocupação humana imigrante, e em meados da década de 1960, quase três quartos de floresta nativa já haviam sido retirados pelo homem, restando, atualmente, cerca de apenas 2% do total (Soares e Medri 2002). Uma das principais causas para tal problema foi à fértil terra roxa, que acabou por desencadear uma intensa atividade agrícola, principalmente a partir de 1920, reduzindo toda a cobertura florestal existente a pequenos fragmentos (Anjos 1998).

A fragmentação florestal pode ser entendida como a substituição de grandes áreas de floresta nativa por outros ecossistemas, restando apenas fragmentos florestais isolados, acarretando consequências deletérias para grande parte da biota de floresta nativa (Murcia 1995). Este problema é reconhecido como uma das principais ameaças à biodiversidade (Primack e Rodrigues 2001), podendo resultar na extinção de algumas espécies (Murcia 1995).

Nas últimas décadas, muitos estudos têm buscado compreender os efeitos da ação antrópica sobre os ecossistemas degradados e sobre os seus processos (Roberts e Gilliam 1995). A compreensão destes processos e seus principais fatores condicionantes é um pré-requisito para se desenvolver iniciativas voltadas para a conservação, manejo ou a restauração dos ecossistemas (Dobson et al. 1997; Ashton et al. 2001). Estudos realizados em florestas com histórico de exploração antrópica têm contribuído para elucidar os principais fatores bióticos e abióticos que influenciam os padrões seguidos pela sucessão secundária e consequente regeneração natural em florestas tropicais (Guariguata e Ostertag 2001; Alves e Metzger 2006).

Saldarriaga e Uhl (1991) definem a regeneração florestal como o processo pelo qual a floresta perturbada atinge características de floresta conservada. Esse processo é complexo, e embora seja de grande importância para o manejo e conservação de florestas, não é completamente compreendido. Por isso, há necessidade de mais estudos e informações sobre o processo de regeneração florestal sob condições naturais (Richards 1996). A regeneração de árvores tropicais resulta da interação de inúmeros recursos bióticos e abióticos. Dentre os bióticos pode-se citar a ação dos dispersores e dos predadores de sementes, dos patógenos e dos herbívoros, e como recursos abióticos pode-se citar a luz, a água, os nutrientes do solo entre outros (De Steven 1988).

O histórico de exploração antrópica tem muitas implicações na sucessão florestal e consequente regeneração florestal, pois, diferentes tipos e intensidades de perturbação podem resultar em diferentes estruturas florestais (Alves e Metzger 2006). Segundo Getzin et al. (2008) a exploração altera a estrutura das populações do ambiente florestal. O conhecimento sobre a estrutura populacional pode ajudar a entender as respostas das espécies às mudanças causadas pela exploração (Saunders et al. 1991; Bruna e Kress 2002; Andrade et al. 2007). O estudo da estrutura populacional fornece

informações tanto do presente quanto do passado dos seus indivíduos, representando bons indicadores de ocorrência de regeneração florestal (Agren e Zackrisson 1990).

Estudos de aspectos populacionais, tais como relações alométricas e de estruturas de tamanho e espacial de populações nos fragmentos são importantes para se avaliar os potenciais de perdas e de conservação dos recursos naturais em longo prazo, e entender os processos que regem a regeneração florestal (Carvalho et al. 2005).

Segundo Krebs (1994), uma população é definida como um grupo de organismos de uma mesma espécie que ocupa um determinado espaço ao mesmo tempo. Uma população apresenta comportamento dinâmico devido a eventos como nascimento, morte, imigração e emigração, todos tendo continuidade temporal (Ricklefs 2003). O estudo de ecologia populacional de espécies arbóreas é considerado essencial para o entendimento de processos que regulam a dinâmica e a estrutura de uma comunidade florestal (Santos et al. 1998), pois produzem informações básicas para a compreensão dos padrões e causas das variações espaciais, que podem ser úteis em programas de manejo e conservação florestal.

Segundo Archibald e Bond (2003) indivíduos que crescem sob diferentes habitats com diferentes condições ambientais tendem a apresentar variações na estrutura morfológica, dentre elas a altura e o diâmetro da planta (Sposito e Santos 2001). Sendo assim indivíduos de uma mesma espécie podem apresentar diferentes relações e padrões alométricos (Weiner e Thomas 1992). Begon et al. (2007) afirmou que a relação é dita alométrica quando o tamanho de um indivíduo varia simultaneamente com alguma característica física ou fisiológica, dependendo do ambiente ao qual esta exposto. Por isso a alometria é uma ferramenta importante nos estudos de comparação e da história de vida das espécies (Begon et al. 2007), contribuindo assim para se fazer previsões sobre a ecologia das espécies (Bond et al. 1999).

Os estudos alométricos das espécies arbóreas têm grande importância para o entendimento das diferenças adaptativas apresentadas pelas espécies (King 1990). As relações alométricas das plantas são diretamente influenciadas pelo ambiente, e o estudo dessa interação é base importante para o entendimento da estrutura e dinâmica de populações dos mesmos (King 1996). A arquitetura das plantas representada pelas características morfológicas tais como altura, diâmetro, número de ramos e de folhas e altura do fuste podem ser expressas quantitativamente pelas relações alométricas (Kohyama 1987). Comparações dessas relações constituem uma ferramenta poderosa no estudo da ecologia de florestas e da evolução do hábito arbóreo (Rich et al. 1986), pois segundo O'Brien et al. (1995) a dimensão das plantas e o padrão de alocação de recursos são importantes eixos de diferenciação do nicho promovendo coexistência.

O padrão espacial está associado à distribuição dos organismos no espaço, que sucintamente pode ser definido como a relação ou dependência espacial existente entre os valores de uma variável em diferentes locais (Maestre e Escudero 2008). Esse tipo de estudo pode auxiliar no entendimento da influência das forças bióticas e abióticas que influenciam os processos populacionais de regeneração florestal (Hutchings 1997). Portanto, o conhecimento da distribuição espacial de espécies vegetais auxilia na compreensão dos processos da dinâmica da população em resposta a heterogeneidade ambiental (Getzin et al. 2008).

A distribuição espacial de qualquer população, inclusive de espécies arbóreas, pode ser estudada em diferentes escalas. Por exemplo, em grandes escalas, todas as espécies apresentam padrão agregado, resultante da heterogeneidade espacial de condições ambientais adequadas (Lieberman e Lieberman 1994). Diversos estudos têm reportado que a grande maioria de espécies de plantas tropicais apresenta o padrão agregado, formando manchas (Legendre e Fortin 1989; Bianchini 1998; Hay et al. 2000;

Marques e Joly 2000; Jordano et al. 2006; Bianchini et al. 2010). Esse padrão pode ser consequência, entre outros processos e fatores, da dispersão limitada causada pela fragmentação do habitat, levando os animais frugívoros, por exemplo, a se deslocarem menos pelo ambiente, diminuindo a distância de dispersão, reforçando ainda mais o padrão agregado de deposição de sementes (Jordano et al. 2006).

A estrutura de tamanho de uma população é a síntese de eventos demográficos de recrutamento, mortalidade e taxas de crescimento ao longo do tempo, demonstrando uma riqueza de informações demográficas das espécies (Kelly et al. 2001). Dessa forma pode-se demonstrar os padrões de regeneração no passado e no presente de uma espécie (Knowles e Grant 1983; Agren e Zackrisson 1990). Segundo Wright et al. (2003) estudos de estrutura de tamanho correlacionam-se com a história de vida de árvores de florestas tropical, conseqüentemente através de um simples censo é possível fornecer ideias sobre a ecologia das espécies. Além disso, é considerada como um bom descritor da aptidão da planta e do comportamento da população (Harper e White 1974; Gatsuk et al. 1980). Para árvores tropicais, a estrutura de tamanho é geralmente a mais descrita em trabalhos, porque, segundo Gatsuk et al. (1980), há dificuldade em estimar adequadamente a idade, além disso, o tamanho das plantas geralmente apresenta uma melhor relação com mortalidade e fecundidade, quando comparado com a idade. Segundo Weiner e Solbrig (1984), variações de tamanho entre indivíduos de uma população, tanto no tempo quanto no espaço, são promovidas por variação genética, heterogeneidade de recursos, competição e efeito de herbívoros, parasitas ou patógenos, além da idade.

Dois fragmentos florestais, pertencentes à floresta estacional semidecidual e localizados no norte do Paraná, apresentam históricos de perturbação antrópica diferentes. O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), localizado no município de

Londrina, é um dos mais importantes remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual devido ao seu tamanho, cerca de 680 ha, e ao seu estado de conservação cujo histórico é conhecido (Silveira 2006; Vicente 2006). Por outro lado o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), localizado entre os municípios de Cornélio Procópio e Santa Mariana, apresenta uma área aproximada de 840 ha, com um histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação, principalmente pela extração de madeira e a um incêndio ocorrido há cerca de 40 anos que danificou aproximadamente 20% do fragmento (Tomé et al. 1999). Além disso, fragmentos florestais degradados geralmente apresentam elevada densidade de bambus ou lianas ou a ocorrência de ambos (Tabarelli et al. 1999; Tabarelli e Mantovani 2000).

A análise dos levantamentos florísticos e fitossociológicos realizados no PEMG (Soares-Silva e Barroso 1992) e no PEMSF (Tomé et al. 1999) também sugerem a degradação pretérita do PEMSF, pois nesse, espécies como *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. (pau d'algo), *Croton floribundus* Spreng. (capixingui), e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr. (pau-jacaré), consideradas intolerantes à sombra (Tomé et al. 1999; Lorenzi 2002), figuram entre as mais importantes, segundo o índice de valor de importância (IVI). Tais espécies foram favorecidas pela abertura de clareiras devido ao corte seletivo de madeira, principalmente dos indivíduos de *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg, popularmente conhecida como peroba-rosa, uma espécie tolerante à sombra (Lorenzi 2002; Fonseca et al. 2004). A abertura do dossel da floresta através da queda ou corte de uma ou várias árvores leva ao surgimento de uma clareira. Com isso ocorrem várias mudanças ambientais, principalmente, em relação ao aumento da luminosidade, alterações da temperatura do ar e do solo, umidade, quantidade de serapilheira e nutrientes (Vitousek e Denslow 1986; Denslow et al. 1998). Nesta fase, há maior competição por recursos, maior germinação e rápido desenvolvimento com

maiores incrementos em altura, instabilidade física, e altas taxas de mortalidade e recrutamento das espécies, principalmente as intolerantes à sombra (Brokaw 1985; Hubbell e Foster 1986), algo observado no fragmento PEMSF.

As espécies *Astronium graveolens* Jacq., *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Croton floribundus*, *Gallesia integrifolia* e *Holocalyx balansae* Micheli apresentam alto IVI tanto no PEMG (Soares-Silva; Barroso 1992) quanto no PEMSF (Tomé et al. 1999). *Euterpe edulis* Mart. apresenta diferença muito grande em IVI para as duas áreas, pois no PEMG, a espécie figura entre as mais importantes, enquanto que no PEMSF poucos indivíduos adultos foram encontrados, possivelmente em razão da interferência antrópica pretérita (Tomé et al. 1999).

O objetivo do presente trabalho é fazer um estudo da ecologia das espécies acima citadas, no fragmento PEMSF, para observar se a regeneração destas espécies está ocorrendo. Como referência, será utilizado o PEMG cujo histórico de conservação é conhecido. Para atingir esse objetivo procurou-se responder às seguintes questões: (1) A luminosidade é maior no PEMSF? (2) Existem diferenças no padrão de investimento dos indivíduos comparando-se as duas áreas? (3) Existe diferença no padrão de investimento dos indivíduos entre os grupos funcionais? (4) Existe diferença na estrutura de altura das espécies entre as áreas? (5) O padrão espacial das espécies difere entre as áreas? A expectativa é de que os grupos de espécies apresentem relações alométricas, estrutura de tamanho e espacial diferentes, sendo que no PEMSF os indivíduos tenham um maior investimento em diâmetro em relação à altura, maior predominância de indivíduos intolerantes à sombra e padrão espacial aleatório, causado pelo menor índice de cobertura vegetal, apresentando maior heterogeneidade ambiental, devido a maior luminosidade disponível no interior da floresta, como consequência da exploração antrópica.

## 1.2 – Revisão de Literatura

### 1.2.1 - Alometria como ferramenta no estudo ecológico de plantas

O termo alometria foi criado por Julian Huxley e Georges Teissier em 1936, para evitar uma confusão com a linha de pesquisa do crescimento relativo (Gayon 2000). No seu sentido mais amplo, a alometria designa alterações nas dimensões relativas das partes de um organismo que se correlacionam com mudanças na dimensão global, ou mais concisamente: “a relação entre mudanças no tamanho e forma geral” (Levinton 1988 *apud* Gayon 2000).

Dentro do contexto da ecologia, a alometria é uma propriedade física ou fisiológica que todos os indivíduos apresentam, variando com o tamanho e dependendo da situação ecológica ao qual estão expostos (Begon et al. 2007).

Variações no tamanho e forma dos indivíduos refletem respostas relacionadas às condições ambientais, que podem ser expressas quantitativamente através de relações alométricas, sendo base importante para o entendimento da estrutura e dinâmica de populações dos mesmos (King 1996; Sposito e Santos 2001) e necessários para a compreensão dos aspectos ecológicos das espécies (Bond et al. 1999). Além disso, indicam restrições importantes que determinam a arquitetura das plantas (Hutchings 1997). A arquitetura arbórea é definida como a expressão visível da forma da árvore e é baseada no conceito do modelo arquitetural, uma abstração que se refere ao plano de crescimento geneticamente determinado da árvore (Tomlinson 1987). Além disso, a arquitetura não é apenas um reflexo das condições presentes em que esta crescendo, mas sim todo o resultado dos fatores genéticos e ambientais que tem operado no crescimento arbóreo desde plântula até a maturidade (Archibald e Bond 2003).

As diferentes pressões ambientais que atuam sobre as árvores podem induzir o desenvolvimento de características morfológicas que possibilitam a adaptação da planta

àquele ambiente (Siqueira 2006), sendo o aumento da base do caule, cujo objetivo é prover uma maior sustentação e fixação no solo, umas das principais modificações observadas nos indivíduos arbóreos (Sposito e Santos 2001).

A luz é o fator primário responsável pela evolução e manutenção da forma de vida arbórea (King 1990). É por ela que as espécies arbóreas competem e essa competição é vencida pela espécie que sombreia (O'Brien et al. 1995).

Segundo Niklas (1995) e Bertram (1989), plantas que são sombreadas por árvores vizinhas, tornam-se protegidas dos efeitos mecânicos do vento, tendendo então a crescer mais em altura do que em diâmetro do tronco em relação aos indivíduos que crescem em ambientes abertos ou onde a luz é mais abundante e o efeito mecânico do vento é maior. Bertram (1989) evidenciou também diferenças alométricas interespecíficas quando comparou uma área com maior sombreamento e uma área em que as espécies cresciam em campo aberto, sendo que estas diferenças podem ter sido causadas pela menor competição por luz e maior regime de ventos no campo aberto. Pode-se observar também diferenças alométricas em áreas de estádios sucessionais diferentes, como relatado por Liboni et al. (2010) em estudo sobre comunidades arbóreas em áreas de Floresta Ombrófila Mista na região sul do Brasil. Os autores observaram que áreas mais conservadas de estádios sucessionais mais avançados, ocorre colonização de espécies tolerantes à sombra, que investem maior biomassa em volume de copa (aumentando sua área fotossinteticamente ativa) e, por consequência, em diâmetro, provavelmente devido a menor luminosidade do local. Em áreas com estágio sucessional menos avançado há maior colonização de espécies pioneiras, que são mais eficientes em alocar biomassa para crescimento em altura.

King (1990) constatou, numa floresta do Panamá, que os indivíduos de espécies de sub-bosque geralmente apresentavam uma copa maior do que os indivíduos

jovens de espécies de dossel. Ele interpretou este resultado como uma adaptação para a interceptação de luz, que normalmente ocorre em sub-bosque, contra o crescimento em altura das espécies de dossel.

As relações alométricas entre tamanho e forma apresentam um importante efeito estrutural e funcional na floresta (King 1996). Enquanto o tamanho, formato e posição da copa de uma árvore está relacionado com a quantidade de luz interceptada, o diâmetro do tronco corresponde a sua resistência mecânica contra ventos e a sustentação da própria copa.

A relação diâmetro-altura dos indivíduos arbóreos, em situações competitivas, parece ser moldada por uma combinação de forças, tais como a força vertical da gravidade produzida pelo peso da planta ou pela força horizontal da pressão do vento, para que o caule possa permanecer em pé sustentando a copa em posição aérea (Dean e Long 1986). Percebe-se então que crescer em diâmetro ou em altura representa um conflito (*trade-off*) na história de vida de uma espécie arbórea (King 1990; Alves et al. 2004).

Vários estudos foram desenvolvidos para demonstrar a influência dessas forças produzindo modelos para descrever a relação entre altura e diâmetro do caule (Dean e Long 1986). Os três principais modelos de estabilidade mecânica propostos (tabela 1) foram derivados de estudos da engenharia principalmente de estudos com vigas de sustentação, porém foram adaptados para descrever essa relação mecânica das árvores (Niklas 1995).

**Tabela 1** Sumário dos expoentes alométricos ( $\infty$ ) previsto pelos três principais modelos para a relação entre altura do caule H e diâmetro D. Os valores para  $\infty$  são dados em forma de fração (adaptado de Niklas 1995).

	Similaridade Elástica	Tensão Constante	Similaridade Geométrica
$D \propto H$	3/2	2/1	1/1

O modelo de similaridade elástica, proposto por McMahon (1973), compara o tronco de uma árvore com um cilindro de comprimento “l” e diâmetro “d”, carregado por uma força “P”, que representa o peso total da coluna agindo no centro de sua massa. Essa coluna quebrará se a força (de compressão) de estresse aplicado  $P/A$ , onde  $A = \pi d^2/4$ , exceder o estresse máximo de compressão,  $\sigma_{\text{máx.}}$ . Caso a coluna (caule), for suficientemente fina, poderá ocorrer também uma quebra, fenômeno conhecido como esforço elástico, por meio de um deslocamento lateral pequeno, causado, por exemplo, por uma mínima rajada de vento, permitindo ao peso aplicar um tombamento momentâneo, na qual as forças elásticas da coluna curvada não consigam resistir. O mesmo autor considerou sendo “fino o suficiente” quando a relação comprimento/diâmetro for maior que 25, ou seja, a altura da árvore limita-se a 1/4 da altura que poderia levar um caule de diâmetro uniforme dobrando-se sob seu próprio peso.

McMahon (1973) citou a fórmula criada por GreenHill em 1881, para calcular a altura crítica de tombamento:

$$H = C (E/\rho)^{1/3} d^{2/3}$$

Onde:

C = Constante de proporcionalidade;

E = Módulo de elasticidade de *Young*;

$\rho$  = Densidade da madeira que constitui o caule;

d = Diâmetro.

Com base na fórmula é possível dizer que a altura esta relacionada diretamente ao logaritmo do diâmetro com uma inclinação de  $2/3$  ou  $0,67$ . Essa fórmula foi testada em 576 indivíduos arbóreos nos Estados Unidos, segundo dados da Associação Florestal Americana (American Forestry Association) e nenhuma delas chegou ou passou desse limite. Portanto a relação diâmetro-altura seria  $D \propto H^{3/2}$ , onde  $D$  é o diâmetro e  $H$  a altura.

O modelo de similaridade geométrica significa que, se as plantas retêm isometria durante o crescimento de tal maneira que as estruturas principais permanecem geometricamente semelhantes, então a escala de altura tem proporção direta com o diâmetro, ou seja,  $D \propto H^{1.0}$  (McMahon e Bonner 1983 *apud* Rich et al. 1986; Norberg 1988 *apud* Alves e Santos 2002).

O modelo de tensão constante é baseado na fórmula de flexão para vigas de sustentação. Segundo Dean e Long (1986), este modelo prediz que troncos cônicos equalizam o estresse produzido pela pressão do vento ao longo do tronco. Sua relação pode assim ser escrita:  $H \propto D^{1/2}$  ou  $D \propto H^2$  (McMahon 1973; Dean e Long 1986).

Tentativas de caracterizar um determinado modelo de estabilidade mecânica para determinada espécie como sendo uma relação única e uniforme, tem levado a resultados equivocados e poucos explorados biologicamente (Bertram 1989; Niklas 1995), uma vez que resultados encontrados para uma mesma espécie se ajustavam a dois modelos alométricos diferentes, casos de Bertram (1989) e McMahon e Kronauer (1976).

Essa não linearidade resulta do fato que o crescimento diamétrico do tronco é indeterminado, pois o xilema secundário continua a ser adicionado ao tronco ano após ano e, além disso, a taxa média de crescimento em altura das árvores declina com o aumento da idade das mesmas (Niklas 1995). Alves et al. (2004) analisando as relações

entre o diâmetro e a altura da palmeira neotropical *Euterpe edulis*, encontrou que as regressões altura-diâmetro não se ajustaram a nenhum dos modelos de estabilidade mecânica.

Niklas (1995) aponta a luminosidade, a ontogenia do caule (transição entre crescimento primário e secundário) aliado as diferentes fases de crescimento em altura como principais fatores que alteram o expoente alométrico e que por isso uma determinada espécie arbórea tende a se ajustar a mais de um modelo mecânico ao longo de sua vida.

Espera-se então que o modelo de similaridade geométrica possa ocorrer nas menores classes de tamanho dos indivíduos de espécies de dossel ou subosque (King 1990, 1996; Kohyama e Hotta 1990; Furtado 2005) e em espécies dos estádios iniciais de sucessão (Alvarez-Buylla e Martinez-Ramos 1992; Sposito e Santos 2001), enquanto que o modelo elástico ou de estresse constante deverá ser alcançado geralmente nas maiores classes de tamanho, característica de indivíduos adultos de espécies de dossel ou emergentes, dependendo da situação ao qual o indivíduo estiver exposto (King 1990; Kohyama e Hotta 1990; Niklas 1995; O'Brien et al. 1995; King 1996; Sterck e Bongers 1998). Portanto a arquitetura varia em função do local do indivíduo além do seu tamanho (Niklas 1995; Sterck e Bongers 1998; Alves e Santos 2002).

Os trabalhos de Shukla e Ramakrishnan (1986), King (1990, 1996), Poorter e Werger (1999), Sterck (1999), Sposito e Santos (2001), Sterck e Bongers (2001), Sterck et al. (2001), Poorter et al. (2003, 2005, 2006) entre outros utilizaram dados sobre a copa relacionando com altura dos indivíduos. Todos encontraram resultados semelhantes dentre os quais pode-se citar:

- O comprimento e a área da copa aumentaram com a altura, reflexo de uma maior exposição da copa à luz, proporcionando um maior investimento na formação da copa

para maior captação de luz para fotossíntese. O diâmetro do caule também aumentou para suportar mecanicamente o maior peso da copa.

- Espécies tolerantes à sombra tiveram uma maior área de copa e um menor incremento em altura, consequência da própria ontogenia da espécie, e também por apresentarem maior copa há maior investimento em crescimento de diâmetro de caule para fugir do limite de quebra;
- As espécies de dossel começaram a expandir suas copas quando atingiram o dossel, ou seja, houve maior investimento em altura em relação à formação da copa. Espécies de dossel parecem cessar o crescimento em altura, passando a investir mais recursos para reprodução.
- Padrões de crescimento são altamente espécies-específicos.

### 1.2.2 - Metodologia e análise dos dados das relações alométricas

A arquitetura das plantas representada pelas características morfológicas tais como altura, diâmetro, número de ramos e folhas, altura de fuste, pode ser expressa quantitativamente pelas relações alométricas (Kohyama 1987).

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:  $y = a \cdot x^b$ , ou  $\log y = \log a + b \log x$ , onde “**a**” e “**b**” são parâmetros obtidos através de regressão linear (King 1990; Kohyama e Hotta 1990; Sokal e Rohlf 2000). Nas comparações da forma dos indivíduos entre áreas ou entre espécies, as diferenças poderão ocorrer tanto em **a** (o intercepto de  $y$ ) como em **b** (a inclinação da reta). Se o valor de **b** for diferente entre as áreas ou espécies, o maior valor de **b** apresentará maior incremento de  $y$  por incremento de  $x$ . Se a inclinação não

diferir, mas a constante **a** for diferente entre áreas ou espécies, aquela com maior valor de **a** apresentará maiores valores de **y** para qualquer valor de **x** (Kohyama e Hotta 1990).

A análise de covariância (ANCOVA) é utilizada para testar a diferença entre as retas (Snedecor e Cochran 1967). Comparações múltiplas entre as retas são feitas pelo teste a posteriori de Scheffé ( $p < 0,05$ ) (Huitema 1980; Zar 1984), por este ser o teste mais adequado quando o número de casos é diferente para os tratamentos.

### **1.3 - Áreas de Estudo**

O presente estudo foi desenvolvido em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, o Parque Estadual Mata São Francisco e o Parque Estadual Mata dos Godoy.

O Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) foi criado a partir do decreto lei nº 4.333 de 05.12.1994. Está sob as coordenadas: latitude 23° 15' S e longitude 50° 45' W (centro do fragmento) (Tomé et al. 1999) e pertence à Bacia do Rio Cinzas. O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), caracteriza-se como Cfa, com precipitação média entre 1.200 a 1.400 mm distribuídos irregularmente durante o ano (IAPAR 2000).

Segundo a Embrapa (1999) os tipos de solo predominante são o Latossolo Vermelho Eutroférico e o Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleiosolos. O Parque é ilhado por culturas de cereais, cana-de-açúcar, pastagem e está sujeito a problemas específicos, como a competição com gramíneas e agrotóxicos (Tomé et al. 1999). Observa-se grande presença de bambus e lianas no fragmento além dos restos da base do caule de indivíduos que foram cortados, provavelmente em função da exploração madeireira (Tomé et al. 1999; observação pessoal).

O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) foi criado pelo Decreto Estadual nº 5150 de 05 de junho de 1989. Está sob as coordenadas: latitude 23° 27' S e longitude 51° 15' W (centro do fragmento). O fragmento está cercado por plantações, pastagens, reflorestamentos e capoeiras (Silva e Soares-Silva 2000; Silveira 2006). O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo classificação de Köppen (1948), com precipitação média entre 1.400 a 1600 mm distribuídos irregularmente durante o ano (IAPAR 2000). As unidades de solo predominantes são o Latossolo Vermelho Eutroférico, Nitossolo Vermelho Eutroférico e associações com Neossolos Litólicos (Embrapa 1999). Trata-se de um remanescente florestal conservado e de histórico conhecido, tendo um relevo com planície suave na porção norte e com algumas colinas paralelas com declive moderado na parte sul (Silveira 1993; Silveira 2006). O PEMG dista aproximadamente 76 km em linha reta, do PEMSF.

Para o estudo da regeneração das espécies, comparando dois locais com diferentes graus de impactação, foram definidas duas áreas amostrais, fisionomicamente semelhantes (topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas), cada uma com 0,3 hectare, sendo uma no PEMG (Fig. 1) e outra no PEMSF (Fig. 2). Nestas áreas foram desenvolvidos estudos sobre a estrutura espacial, a estrutura de tamanho e de relações alométricas de seis espécies de floresta estacional semidecidual.



**Fig. 1** Fragmento florestal do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. Imagem de satélite com indicativo (retângulo amarelo) da localização da área amostral (A1).



**Fig. 2** Fragmento florestal do Parque Estadual Mata São Francisco, Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil. Imagem de satélite com indicativo (retângulo amarelo) da localização da área amostral (A2).

## 1.4 - Espécies estudadas

As espécies foram selecionadas pelo IVI (Brower e Zar 1984) em levantamentos fitossociológicos nos dois remanescentes (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999). As espécies selecionadas são comuns em fragmentos de floresta estacional semidecidual da região (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Silva e Soares-Silva 2000; Dias et al. 2002; Lorenzi 2002). Utilizando dados da literatura (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Lorenzi 2002), as espécies foram divididas em dois grupos conforme a classificação de Swaine e Whitmore (1988): intolerantes à sombra – *Astronium graveolens*, *Gallesia integrifolia* e *Croton floribundus*; e tolerantes à sombra: *Chrysophyllum gonocarpum*, *Euterpe edulis*, *Holocalyx balansae*. A espécie *E. edulis* foi selecionada para o estudo, mesmo não sendo uma espécie lenhosa, em razão da diferença no seu IVI entre as áreas.

### 1.4.1 - Intolerantes à sombra

#### 1.4.1.1 - *Astronium graveolens* Jacq.

A espécie *A. graveolens* (Fig. 3) pertence à família Anarcadiaceae e é popularmente conhecida como guaritá (PR), gibatão (ES), aroeirão (RS), entre outros. Possui altura que varia entre 15 a 25 m, de 40 a 60 cm de diâmetro de tronco (liso), apresentando folhas compostas imparipinadas. Planta decídua, heliófita, ocorrendo geralmente em agrupamentos descontínuos em terrenos rochosos e secos. Sua ocorrência vai desde o sul da Bahia até o Rio Grande do Sul, podendo ser encontrada também no Mato grosso do Sul. Todo ano produz grande quantidade de sementes viáveis. Floresce durante os meses de agosto a setembro, período em que a planta encontra-se sem folhas, e seus frutos anemocóricos amadurecem no período de outubro a novembro (Lorenzi 2002). Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos

em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *A. graveolens* ocupa a 37<sup>a</sup> posição em IVI no PEMG (Soares-Silva e Barroso 1992) e 12<sup>a</sup> posição no fragmento florestal PEMSF (Tomé et al. 1999).



**Fig. 3** Exemplos da espécie *Astronium graveolens*. Fotos A e B : Diego R. Rodrigues.

#### 1.4.1.2 – *Croton floribundus* Spreng.

A espécie *C. floribundus* (Fig. 4) pertence à família Euphorbiaceae e é popularmente conhecida como capixingui, velame, tapixingui ou capexingui. Possui altura que varia entre seis a 15 m, com tronco de 20 a 30 cm de diâmetro. Planta pioneira, decídua ou semidecídua, heliófita, sendo característica de floresta secundária e em clareira no interior de fragmentos florestais, ocorrendo, sobretudo nas bordas. Distribui-se basicamente na região sudeste do Brasil principalmente na floresta estacional semidecidual. Produz anualmente grande quantidade de frutos, que apresentam deiscência explosiva com dispersão autocórica das sementes (Lorenzi 2002; Yamamoto et al. 2007). Floresce durante os meses de outubro a dezembro e a maturação dos frutos ocorre entre os meses de janeiro a fevereiro (Lorenzi 2002).

Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *C. floribundus* ocupa a 3ª posição em IVI no PEMG, sendo uma população predominantemente de adultos (Soares-Silva; Barroso 1992) e 2ª posição no fragmento florestal PEMSf (Tomé et al. 1999).



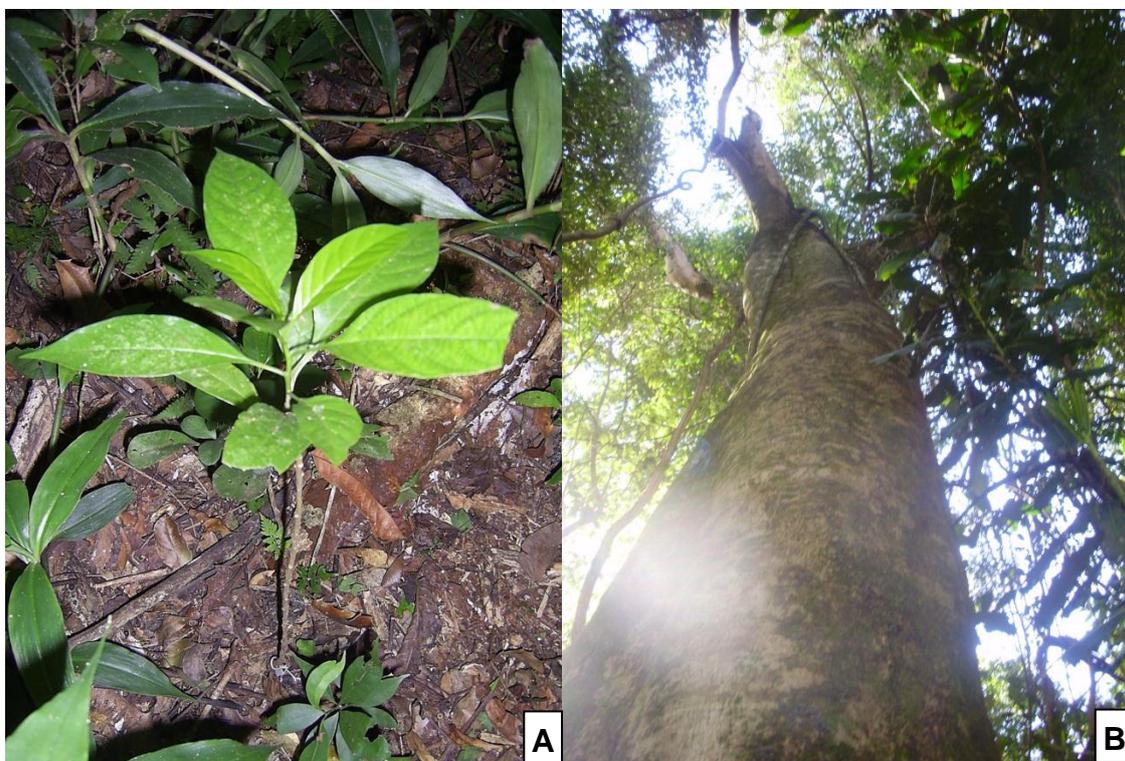
**Fig. 4** Exemplos da espécie *Croton floribundus*. Fotos: A – Diego R. Rodrigues; B – Bianca B. Perina.

#### 1.4.1.3 - *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms

A espécie *G. integrifolia* (Fig. 5) pertence à família Phytolaccaceae e é popularmente conhecida como pau-d'alho, guararema ou ibirarema. Possui altura que varia entre 15 a 30 m apresentando uma copa ampla e densa com um tronco variando de 70-140 cm de diâmetro. Planta heliófila, sendo característica de floresta ombrófila densa e da floresta estacional semidecidual da bacia do Paraná. Ocorre principalmente em terrenos profundos e de alta fertilidade, sendo considerada uma espécie bioindicadora de

solo fértil. Pode ser encontrada tanto em interior de floresta conservada quanto em floresta secundária. Floresce durante os meses de fevereiro a abril e seus frutos alados amadurecem no período de setembro a outubro. A cada dois anos produz uma grande quantidade de sementes viáveis (Lorenzi 2002).

Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *G. integrifolia* ocupa a 9ª posição em IVI no PEMG (Soares-Silva e Barroso 1992) e 1ª posição no fragmento florestal PEMSF (Tomé et al. 1999).



**Fig. 5** Exemplares da espécie *Galesia integrifolia*. Fotos: A e B: Diego R. Rodrigues.

#### 1.4.2 - Tolerantes à sombra

##### 1.4.2.1 - *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.

A espécie *C. gonocarpum* (Fig. 6) pertence à família Sapotaceae e é popularmente conhecida como aguái, aguái-da-terra, guatambu de sapo, etc. Possui

altura que varia entre 10 a 20 m e de 50 a 80 cm de diâmetro de tronco. Planta lactescente, semidecídua, esciófita, seletiva higrófito, sendo característica em florestas pouco antropizadas de floresta estacional semidecidual da Bacia do Paraná. Distribui-se irregularmente em fundos de vale e início de encostas, ou em locais planos onde o solo contém maior teor de umidade. Ocorre no Rio de Janeiro e Minas Gerais até o Rio Grande do Sul. Seus frutos são muito apreciados por pássaros, sendo suas sementes dispersas por zoocoria. Floresce a partir de meados de setembro até novembro e seus frutos amadurecem no período de agosto a outubro (Lorenzi 2002; Bianchini et al. 2006).

Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *C. gonocarpum* ocupa a 14<sup>a</sup> posição em IVI nos dois fragmentos (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999).



**Fig. 6** Exemplos da espécie *Chrysophyllum gonocarpum*. Fotos: A e B : Diego R. Rodrigues.

#### 1.4.2.2 - *Euterpe edulis* Mart.

A espécie *E. edulis* (Fig. 7) pertence à família Arecaceae e é popularmente conhecida como palmitero, juçara, içara entre outros. Possui altura que varia de oito a 15 m e apresenta um tipo de caule denominado estipe simples, de 10 a 20 cm de diâmetro e dele se extrai o palmito (região apical do caule). Ocorre de forma expressiva na bacia do rio Paraná, sendo encontrada principalmente em beira dos rios, mas devido à ação antrópica, tornou-se quase extinta (Lorenzi 2002) e, atualmente, só se observa abundância de indivíduos dessa espécie em áreas protegidas e em locais de difícil acesso (Fantini et al. 1997). Apresenta mecanismo de regeneração do tipo banco de plântulas, ou seja, as plântulas ficam agrupadas próximas das plantas parentais (Reis 1995). A dispersão das sementes é feita por muitas espécies de aves, primatas, morcegos, marsupiais, entre outros que se alimentam dos seus frutos (Cerisola et al. 2007). Floresce durante um longo período, com início em setembro, prolongando-se até dezembro. A maturação dos frutos ocorre de abril a agosto (Lorenzi 2002).

Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *E. edulis* ocupa a 2<sup>a</sup> posição em IVI no PEMG (Soares-Silva; Barroso, 1992) e 37<sup>a</sup> posição no fragmento florestal PEMSF (Tomé et al. 1999).



**Fig. 7** Exemplares da espécie *Euterpe edulis*. Fotos: A e B : Diego R. Rodrigues.

#### **1.4.2.3 - *Holocalyx balansae* Micheli**

A espécie *H. balansae* (Fig. 8) pertence à família Fabaceae-Caesalpinioideae (Leguminosae) e é popularmente conhecida como alecrim-de-campinas, alecrim, pau-alecrim, etc. Possui altura que varia entre 15 e 25 m, com tronco fenestrado que varia de 50 a 80 cm de diâmetro. Ocorre desde São Paulo até o Rio Grande do Sul, abrangendo a floresta ombrófila densa e a estacional semidecidual da bacia do Paraná. Planta semidecídua, prefere solos rochosos e úmidos de boa fertilidade, mas não encharcados. Apesar de ser uma espécie tolerante a sombra, de interior de floresta densa, tolera bem insolação direta. Os frutos são muito apreciados por morcegos e suas sementes são dispersas por zoocoria. Floresce mais que uma vez por ano, sendo mais intenso nos meses de outubro a novembro e seus frutos amadurecem principalmente no período de dezembro a fevereiro (Lorenzi 2002).

Em estudos florísticos e fitossociológicos desenvolvidos em ambos os fragmentos florestais, foi observado que *H. balansae* ocupa a 15<sup>a</sup> posição em IVI no PEMG (Soares-Silva e Barroso 1992) e 35<sup>a</sup> posição no fragmento florestal PEMSF (Tomé et al. 1999).



**Fig. 8** Exemplos da espécie *Holocalyx balansae*. Fotos: A – Diego R. Rodrigues; B – Bianca B. Perina.

## 2 – Delimitação das parcelas de estudo

As duas áreas amostrais foram divididas em parcelas contíguas de 10 m x 10 m, totalizando 30 parcelas em cada local. Para o estudo de distribuição espacial e melhor visualização dos resultados subdividiu-se as parcelas em quatro subparcelas de 5 m x 5 m, totalizando 120 parcelas.

### 3- Referências

- Agren J, Zackrisson O (1990) Age and size structure of *Pinus sylvestris* populations on mires in central and northern Sweden. *J Ecol* 78: 1049-1062
- Alvarez-Buylla ER, Martínez-Ramos M (1992) Demography and allometry of *Cecropia obtusifolia*, a neotropical pioneer tree - an evaluation of the climax pioneer paradigm for tropical rain forest. *J Ecol* 80: 275-290
- Alves LF, Metzger, JP (2006) A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biot Neo* 6: 1-26
- Alves LF, Martins FR, Santos FAM (2004) Allometry of a neotropical palm, *Euterpe edulis* Mart. *Acta Bot Bras* 18: 369-374
- Alves LF, Santos FAM (2002) Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *J Trop Ecol* 18: 245-260
- Andrade PM, Santos FAM, Martins FR (2007) Size structure and fertility in an *Eriocnema fulva* Naudin (Melastomataceae) population in Southeastern Brazil. *Braz J Biol* 67: 685-693
- Anjos L (1998) Consequências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. *IPEF* 12: 87-94
- Archibald S, 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
- Ashton MS, Gunatilleke CVS, Singhakumara BMP, Gunatilleke IAUN (2001) Restoration pathways for rain forest in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models. *For Ecol Manage* 154: 409-430
- Begon M, Townsend C, Harper JL (2007) *Ecology from individuals to ecosystems*, 4th edn. Artimed, Porto Alegre.
- Bertram JEA (1989) Size-dependent differential scaling in branches: the mechanical design of trees revisited. *Trees* 4: 242-253
- Bianchini E (1998) *Ecologia de população de Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. E Eichler.) Engl. no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina-PR. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Bianchini E, Pimenta JA, Santos FAM (2006) Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl. (Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. *Rev Brasil Bot* 29: 595-602
- Bianchini E, Garcia CC, Pimenta JA, Torezan JMD (2010) Slope variation and population structure of trees species from different ecological groups in South Brazil. *An Acad Bras Cienc* 82: 643-652

- Bond WJ, Honig M, Maze KE (1999) Seed size and seedling emergence: an allometric relationship and some ecological implications. *Oecologia* 120: 132-136
- Brokaw NVL (1985) Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66: 682-687
- Brower JE, Zar JH (1984) Field and laboratory methods for general ecology, 2nd edn. Wm C Brown Publ, Dubuque.
- Bruna EM, Kress WJ (2002) Habitat fragmentation and the demographic structure of an Amazonian understory herb (*Heliconia acuminata*). *Conserv Biol* 16: 1256-1266
- Carvalho DA, Oliveira-Filho AT, Van den Berg E, Fontes MAL, Vilela EA, Melo Marques JJGS, Carvalho WAC (2005) Variações florísticas e estruturais do componente arbóreo de uma floresta ombrófila alto - Montana as margem do rio Grande, Bocaina de Minas, MG, Brasil. *Acta Bot Bras* 19: 91-109
- Cerisola C, Antunes AZ, Port-Carvalho M (2007) Consumo de frutos de *Euterpe edulis* Martius (Arecaceae) por vertebrados no Parque Estadual Alberto Löfgren, São Paulo, Sudeste do Brasil. *Rev Inst Flor* 1: 167-171
- Dale MRT (1999) Spatial pattern analysis in plant ecology. Cambridge University Press Publ, Cambridge.
- De Steven D (1988) Light gaps and long-term seedling performance of a Neotropical canopy tree (*Dipteryx panamensis*, Leguminosae). *J trop Ecol* 4: 407-411
- Dean TJ, Long JN (1986) Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Ann Bot* 58: 833-840
- Denslow JS, Ellison AM, Sanford RE (1998) Treefall gap size effects on above- and below-ground processes in a tropical wet forest. *J Ecol* 86: 597-609
- Dias MC, Vieira, AOS, Paiva MRC (2002) Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi. In: Medri M, Bianchini E, Shibata O, Pimenta JA (eds) A bacia do rio Tibagi. UEL, Londrina, pp 109-124.
- Dobson AP, Bradshaw AD, Baker AJM (1997) Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 515-522
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro.
- Fantini AC, Nodari RO, Reis MS, Mantovani A, Odorizzi O, Ribeiro JR (1997) Estimativa da produção de palmito em plantas de palmiteiro (*Euterpe edulis* Martius) a partir de características fenotípicas. *Rev Árvore* 21: 49-57
- Fonseca MG, Martini AMZ, Santos FAM (2004) Spatial structure of *Aspidosperma polyneuron* in two semideciduous forests in Southeast Brazil. *J Veg Sci* 15:41-48

- Fundação SOS Mata Atlântica; INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2008) Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2000-2005, São Paulo.
- Furtado GA (2005) Estrutura de uma população de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (Rutaceae) numa Floresta Estacional Semidecídua no sudeste do Brasil. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Gatsuk LE, Smirnova OV, Vorontzova I, Zaugolnova LB, Zhukova LA (1980) Age states of plants of various growth forms: a review. *J Ecol* 68: 675-696
- Gayon J (2000) History of the concept of allometry. *Am Zool* 40: 748-758
- Getzin S, Wiegand T, Wiegand K, He F (2008) Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *J Ecol* 96: 807-820
- Guariguata MR, Ostertag R (2001) Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206
- Harper JL, White J (1974) The demography of plants. *An Rev Ecol Syst* 5: 419-463
- Hay JD, Bizerril MX, Calouro AM, Costa EMN, Ferreira AA, Gastal MLA, Goes Júnior CD, Manzan DJ, Martins CR, Monteiro JMG, Oliveira SA, Rodrigues MCM, Seyfarth JAS, Walter BMT (2000) Comparação do padrão da distribuição espacial em escalas diferentes de espécies nativas do cerrado, em Brasília, DF. *Rev Brasil Bot* 23: 341-347
- Hubbell SP, Foster RB (1997) Canopy gaps and the dynamics of a neotropical forest. In: Crawley MJ (ed) *Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publ, Oxford, pp 77-96.
- Huitema BE (1980) *The analysis of covariance and alternatives*. Wiley Publish, New York.
- Hutchings MJ (1997) The structure of plant population. In: Crawley MJ (ed) *Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publish, Oxford, pp 97-136.
- IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná (2000) *Cartas Climáticas do Estado do Paraná*. Disponível em: <<http://www.iapar.br>>. Acesso: 01/ 09/ 2008
- Jordano P, Galetti M, Pizo MA, Silva WR (2006) Ligando frugivoria e dispersão de sementes à biologia da conservação. In: Duarte CF, Bergallo HG, Santos MA, Va AE (eds) *Biologia da conservação: essências*. Editorial Rima, São Paulo, pp 411- 436.
- Kelly CK, Smith HB, Buckley YM, Carter R, Franco M, Johnson W, Jones T, May B, Ishiwara RP, Perez-Jimenez A, Magallanes AS, Steers H, Waterman C (2001) Investigations in commonness and rarity: a comparative analysis of co-occurring, congeneric Mexican trees. *Ecol Lett* 4: 618-627
- King DA (1990) Allometry of saplings and understorey trees of a Panamanian forest. *Func Ecol* 4: 27-32

- King DA (1996) Allometry and life history of tropical trees. *J Trop Ecol* 12: 25-44
- Knowles P, Grant M (1983) Age size structure analyses of engelmann spruce, ponderosa pine, lodgepole pine, and limber pine in Colorado. *Ecology* 64:1-9
- Kohyama T (1987) Significance of architecture and allometry in saplings. *Func Ecol* 1: 399-404
- Kohyama T, Hotta M (1990) Significance of allometry in tropical samplings. *Func Ecol* 4: 515- 521
- Köppen W (1948) *Climatologia: com um estudio de los climas de la Tierra*. Fondo de cultura econômica, México.
- Krebs CJ (1994) *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 4th edn. Harper Collins College Publish, New York.
- Legendre P, Fortin MJ (1989) Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80: 107-138
- Liboni AP, Rodrigues DR, Perina BB, Rosa VPR, Bovolenta YR, Bianchini E, Pimenta JA (2010) Relações alométricas da comunidade arbórea de diferentes áreas de uma floresta ombrófila mista do sul do Brasil. *Semina Cien Biol* 32: 125-132
- Lieberman M, Lieberman D (1994) Patterns of density and dispersion of forest trees. In: Mcdade LA, Bawa KS, Hespeneide HA, Hartshorn GS (eds) *La Selva - ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press Publ, Chicago, pp 90-105.
- Lorenzi H (2002) *Árvores brasileiras*. 5th edn. Plantarum, Nova Odessa.
- Maestre FT, Escudero A (2008) Introducción. In: Maestre FT, Escudero A, Bonet A. (eds), *Introducción al Análisis Espacial de Datos en Ecología y Ciencias Ambientales: Métodos y Aplicaciones*, Madri: Dykinson, pp 1-33.
- Marques MCM, Joly CA (2000) Estrutura e dinâmica de uma população de *Calophyllum brasiliense* Camb. em floresta higrófila do sudeste do Brasil. *Rev Brasil Bot* 23: 107-112
- Martínez-Sánchez JL (2008) Allometric variation of shade-tolerant tree species in a mexican tropical rain forest. *Biol Neo* 5: 41-51.
- McMahon T (1973) Size and shape in Biology. *Science* 179: 1201-1204
- McMahon T, Kronauer RE (1976) Tree structures: deducing the principle of mechanical design. *J Theor Biol* 59: 443-466
- Murcia C (1995) Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Tren Ecol Evol* 10: 58-62

- Myers N, Mittermeier R, Mittermeier C, Fonseca G, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858
- Niklas KJ (1995) Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk taper. *Ann Bot* 75: 217-227
- O'Brien ST, Hubbell SP, Spiro P, Richard C, Foster RB (1995) Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939
- Poorter L, Werger MJA (1999) Light environment, sapling architecture, and leaf display in six rain forest tree species. *Am J Bot* 86: 1464-1473
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2003) Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84: 602-608
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2005) Beyond the regeneration phase: differentiation of height–light trajectories among tropical tree species. *J Ecol* 93: 256-267
- Poorter L, Bongers LE, Bongers F (2006) Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301
- Primack R, Rodrigues E (2001) *Biologia da Conservação*, 2nd edn. Planta, Londrina.
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, 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
- Reis A (1995) Dispersão de sementes de *Euterpe edulis* Martius – (Palmae) em uma Floresta Ombrófila Densa Montana da encosta Atlântica em Blumenau. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- Rich PM, Helenurm K, Kearns D, Morse SR, Palmer MW, Short L (1986) Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican tropical wet forest. *Bulle Tor Bot Club* 113: 241-246
- Richards PW (1996) *The tropical rain forest: an ecological study*, 2nd edn. Cambridge University Press Publ, Cambridge.
- Ricklefs RE (2003) *A economia da natureza*, 4th edn. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Roberts MR, Gilliam FS (1995) Patterns and mechanism of plant diversity in forested ecosystems: implication for forest management. *Ecol App* 5: 969-77
- Santos FAM, Pedrini F, Alves L, Sanchez M (1998) Structure and dynamics of tree species of the Atlantic forest. *An Acad Bras Cien* 70: 873-880

- Saldarriaga JG, Uhl C (1991) Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro, In: Gomez-Pompa A, Whitmore TC, Hadley M (eds) Tropical rain forest: regeneration and management. Blackwell Scientific Publ, New York, pp 303-312.
- Saunders DA, Hobbs RJ, Margolis CR (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conserv Biol* 7: 18-32
- Shukla RP, Ramakrishnan PS (1986) Architecture and growth strategies of tropical trees in relation to successional status. *J Ecol* 74: 33-46
- Silva FC, Soares-Silva LH (2000) Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR, Brazil. *Edinb J Bot* 57: 107-120
- Silveira M (1993) Estrutura vegetacional em uma topossequência no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Silveira MA (2006) A vegetação do Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (Org) Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy. ITEDES, Londrina, pp 19-27.
- Siqueira AS (2006) Alometria de *Caryocar brasiliense* (Bombacaceae) em diferentes fisionomias do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas, GO. *Biot Neo* 6: 1-6
- Snedecor GW, Cochran WG (1967) *Statistical Methods*, 6th edn. Iowa State University Press Publ, Iowa.
- Soares FS, Medri M (2002) Alguns aspectos da colonização da bacia do rio Tibagi. Medri M, Bianchini E, Shibata O, Pimenta JA (eds) A bacia do rio Tibagi. UEL, Londrina, pp 69-79.
- Soares-Silva LH, 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 Brasileira de Botânica, Campinas, pp 101-112.
- Sokal RR, Rohlf FJ (2000) *Biometry*, 6th edn. W.H. Freeman Publ, San Francisco.
- Sposito TC, Santos FAM (2001) Scaling of stem and crown in eighth *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *Am J Bot* 88: 939-949
- Sterck FJ (1999) Crown development in tropical rain forest trees in gaps and undestorey. *Plant Ecol* 143: 89-98
- Sterck FJ, Bongers F (1998) Ontogenetic changes in size, allometry and mechanical design of tropical rainforest trees. *Am J Bot* 85: 266-272
- Sterck FJ, Bongers F (2001) Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Ecology* 89: 1-13

- Sterck FJ, Bongers F, Newbery DM (2001) Tree architecture in a Bornean low land rain forest: intra specific and interspecific patterns. *Plant Ecol* 153: 279-292
- Swaine MD, Whitmore TC (1988) On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio* 75: 81-86
- Tabarelli M, Mantovani W (2000) Gap-phase regeneration in a tropical montane forest: the effects of gap structure and bamboo species. *Plant Ecol* 148: 149-155
- Tabarelli M, Mantovani W, 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 MV, Miglioranza E, Vilhena AH, Fonseca EP (1999) Composição Florística e Fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Rev Inst Flore* 11: 13-23
- Tomlinson PB (1987) Architecture of tropical plants. *Ann R Ecol Syst* 18: 1-21
- Vicente RF (2006) O Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (org) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina, pp 13-28.
- Vitousek PM, Denslow JS (1986) Nitrogen and phosphorus availability in treefall gaps of a lowland tropical rain forest. *J Ecol* 74: 1167-1178
- Weiner J, Solbrig OT (1984) The meaning and measurement of size hierarchies in plant populations. *Oecologia* 61: 334-33
- Weiner J, Thomas SC (1992) Competition and allometry in three species of annual plants. *Ecology* 73: 648-656
- Wright SJ, Muller-Landau HC, Condit R, Hubbell SP (2003) Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology* 84: 3174-3185
- Yamamoto LF, Kinoshita LS, Martins FR (2007) Síndromes de polinização e de dispersão em fragmentos da Floresta Estacional Semidecídua Montana, SP, Brasil. *Acta Bot Bras* 21: 553-573
- Zar JH (1984) *Biostatistical Analysis*, 2nd edn. Prentice Hall Publ, New Jersey.

Os resultados estão apresentados sob a forma de dois artigos que seguem as normas da  
Revista Ecological Research (Anexo)

## **Capítulo 1**

Relações alométricas de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação

Relações alométricas de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta  
estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação

DIEGO RESENDE RODRIGUES <sup>1\*</sup> e EDMILSON BIANCHINI <sup>2</sup>

- 1- Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina ([diegorr2001@yahoo.com.br](mailto:diegorr2001@yahoo.com.br))
  - 2- Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 6001, Londrina, PR. CEP – 86051970
- \* - Autor para correspondência

**RESUMO** - Os efeitos da exploração antrópica podem causar diferenças morfológicas das árvores, causada pela variação da disponibilidade de recursos, por exemplo, a luminosidade. O presente estudo tem por objetivo comparar a alometria de seis espécies arbóreas em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, com diferentes históricos de preservação. Foram determinadas as relações alométricas de diâmetro-altura em populações arbóreas intolerantes à sombra (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) e tolerantes à sombra (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., e *Holocalyx balansae* Micheli). Foram definidas duas áreas amostrais de 3000 m<sup>2</sup> (0,3 ha) cada, sendo uma no PEMSF e outra no PEMG. Todos os indivíduos das seis espécies contidos nas áreas foram marcados e medidos a altura e diâmetro. Foram observadas diferenças nos padrões de investimento dos indivíduos entre áreas, possivelmente devido à maior luminosidade na área explorada. As populações do PEMSF tiveram maiores valores de b (inclinação da reta), indicando maior incremento em diâmetro para uma mesma altura quando comparados ao PEMG. As espécies dos dois grupos funcionais apresentaram mesmo padrão de investimento (diâmetro-altura) dentro da mesma área. O estudo indica que esta havendo regeneração florestal, devido ao estabelecimento de espécies tolerantes à sombra no PEMSF. Os resultados obtidos demonstram que as modificações ambientais provocadas pela exploração antrópica foram importantes para explicar a diferença no padrão de crescimento dos indivíduos em áreas com diferentes estados de preservação.

**Palavras-chave:** Alometria, luminosidade, regeneração florestal, exploração antrópica.

**ABSTRACT** - The anthropic exploitation effects can cause differences in tree morphological characteristics, mainly caused by resources variation, e.g. luminosity. This study aimed compare allometry of six tree species in two distinct fragments of seasonal semideciduous forest with different historical preservation. The allometric relationships of height-diameter of shade-intolerant populations (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) and shade-tolerant species (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart. and *Holocalyx balansae* Micheli) were determined. It was defined two areas of 3000 m<sup>2</sup> (0,3 ha) in each fragment. All individuals of six species were marked, assessed for total height and diameter. It was observed differences in growth pattern of individuals between areas, possibly due to higher luminosity in the explored area (PEMSF). The populations of PEMSF had higher b values (slope of regression) indicating a more investment in diameter to the same total height as compared to conserved area (PEMG). The species of two functional groups had the same growth pattern in the same area. The study showed evidences of forest regeneration due establishment of shade-tolerant species in PEMSF. The results showed that environmental changes caused by anthropogenic exploitation were very important to explain differences in growth pattern in areas with different historical preservation.

**Keywords:** Allometry, luminosity, regeneration, anthropogenic exploration, ecological groups.

## **Introdução**

Nas duas últimas décadas, um grande número de estudos tem focado nos mecanismos ecológicos e consequências resultantes da expansão das atividades humanas sobre as florestas tropicais (Laurance et al. 2002; Dunn 2004; Lindenmayer e Hobbs 2004; Bragagnolo et al. 2007; Dent e Wright 2009). O conhecimento e a compreensão dessas consequências são essenciais para o planejamento da ocupação, desenvolvimento e a recuperação de florestas tropicais (Dobson et al. 1997; Harrison e Bruna 1999; Ashton et al. 2001; Wallington et al. 2005; Lindenmayer et al. 2006; Bragagnolo et al. 2007). Os distúrbios causados pela exploração antrópica, principalmente a retirada de madeira, alteram as condições de sobrevivência e desenvolvimento de plantas, pois criam novos habitats, com umidade, temperatura e luminosidade diferentes (Guariguata e Ostertag 2001; Liebsch et al. 2008; Burton et al. 2009). Estudos realizados em florestas com histórico de exploração antrópica têm contribuído para elucidar as principais variáveis bióticas e abióticas que influenciam os padrões seguidos pela sucessão e regeneração em florestas tropicais (Guariguata e Ostertag 2001). Os processos envolvendo a regeneração natural de florestas tropicais que sofreram algum tipo de exploração, principalmente relacionados à estrutura de populações, são importantes para a conservação e o manejo, ainda não são completamente entendidos (Richards 1996).

Estudos, como as relações alométricas de populações, são importantes no conhecimento da estrutura das populações e no estudo de ecologia de florestas (Kohyama 1987; Sposito e Santos 2001; Bohlman e O'Brien 2006; Martínez-Sánchez 2008), pois permitem os estudos de comparação e da história de vida das espécies (Begon et al. 2007). A relação é alométrica quando o tamanho do indivíduo varia juntamente com uma característica física ou fisiológica dependendo da situação

ecológica ao qual está exposto (Begon et al. 2007). Sendo assim, indivíduos que crescem sob diferentes condições ambientais tendem a apresentar diferenças em sua morfologia, por exemplo, a altura e diâmetro do tronco do vegetal, apresentando diferentes relações alométricas (Weiner e Thomas 1992). Essas variações morfológicas segundo King (1996), Sterck e Bongers (2001), Vielledent et al. (2010) fazem parte do desenvolvimento plástico da planta, ou seja, são influenciados pelas características do habitat e das pressões ambientais aos quais estão expostos.

A luz é o fator primário responsável pela evolução e manutenção da forma de vida arbórea (King 1990a), pois os indivíduos captam a luz para realizar fotossíntese e, com isto, acumulam biomassa que pode ser usada no crescimento, na sustentação, na reprodução, etc. O balanço entre esses investimentos reflete diferentes estratégias adaptativas das espécies e isso pode ser evidenciado através da relação entre o tamanho e forma das plantas (Niklas 1995). Vielledent et al. (2010) afirmam que, numa floresta, o tamanho e a forma de qualquer indivíduo afetam diretamente sua capacidade de alocação de recursos, determinantes para sua sobrevivência, desenvolvimento, reprodução e competitividade.

As florestas tropicais são caracterizadas estruturalmente por apresentar dossel alto e complexo. Do dossel ao subosque há uma mudança de microclima, tais como diminuição da velocidade do vento e da luminosidade, aumento da umidade relativa do ar e diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> (Poorter et al. 2006). Os níveis de irradiação variam de 100% acima do dossel até apenas 1-2% próximo ao solo, tornando-se um recurso limitante para o desenvolvimento dos indivíduos no interior da floresta (Sterck 1999; Poorter et al. 2003; Poorter et al. 2005; Osunkoya et al 2007), podendo também chegar a 30% ou mais em grandes clareiras (Barton et al. 1989; Poorter et al. 2006). Espécies de floresta tropical competem pelos gradientes de luz e essa competição é

vencida por quem sombreia quem (O'Brien et al. 1995; Vieilledent et al. 2010). Segundo Poorter et al. (2003) a interceptação de luz é de suma importância para os indivíduos arbóreos e a permanência destes no ambiente depende em grande parte de sua arquitetura.

Os efeitos da exploração antrópica podem causar diferenças na alometria das árvores, pois a mudança na forma das mesmas é causa e consequência da variação da disponibilidade de recursos como, por exemplo, a luminosidade (Vieilledent et al. 2010; Heineman et al. 2011). Florestas secundárias geralmente apresentam uma menor densidade de árvores de grande porte, devido à extração de madeira, e consequentemente uma redução significativa na cobertura do dossel e aumento da luminosidade, alterando as condições microclimáticas da floresta, prejudicando a germinação e o estabelecimento de espécies características de interior de floresta (Raich e Khoon 1990; Guariguata e Ostertag 2001; Alves e Metzger 2006; Liebsch et al. 2008; Burton et al. 2009; Dent e Wright 2009). Essas espécies, segundo Swaine e Whitmore (1988), são denominadas de tolerantes à sombra, pois requerem baixa luminosidade para germinação, estabelecimento e sobrevivência. Em contrapartida, as intolerantes à sombra requerem alta luminosidade para os mesmos processos. Segundo Swaine e Whitmore (1988), esses são os dois principais grupos funcionais presentes em florestas tropicais.

O presente estudo tem por objetivo comparar a alometria de seis espécies arbóreas em dois fragmentos florestais, um com histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação, e outro com histórico de preservação conhecido. As espécies foram divididas em intolerantes e tolerantes à sombra (Swaine e Whitmore 1988). Foram levantadas as seguintes questões: (1) Existe diferença de luminosidade entre as áreas? (2) Existem diferenças no padrão de investimento dos

indivíduos comparando-se as duas áreas? (3) Ocorrem variações no padrão de crescimento dos indivíduos entre os grupos funcionais? Espera-se que haja uma maior luminosidade no interior da floresta do PEMSF, causada pela exploração de madeira, como consequência apresentando diferença nas relações alométricas dos indivíduos entre as áreas, sendo que no PEMSF os indivíduos tenham um maior investimento em diâmetro em relação á altura.

## **Métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi conduzido em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual: o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) e o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG). O PEMSF, que possui histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação pelo corte de madeira e extração do palmitreiro (*Euterpe edulis* Mart.), está situado entre os municípios de Santa Mariana e Cornélio Procopio, estado do Paraná, Brasil, nas coordenadas 23° 15' S e 50° 45' W (centro do fragmento), com aproximadamente 840 hectares. O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), com histórico de conservação conhecido (Silveira 2006), localiza-se no município de Londrina, estado do PR, Brasil, nas coordenadas 23° 27' S e 51° 15' W (centro do fragmento), com área aproximada de 650 ha. O clima de ambas as áreas, segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se como Cfa, com precipitação média entre 1.200 a 1.400 mm no PEMSF e 1.400 a 1600 mm no PEMG, ambas distribuídas irregularmente durante o ano (IAPAR 2000). As unidades de solo predominantes no PEMSF são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos (Embrapa 1999) e Latossolo Vermelho

eutroférico, Nitossolo Vermelho eutroférico e associações com Neossolos Litólicos para o PEMG (Embrapa 1999), todos considerados como solos de alta fertilidade.

### **Seleção das espécies**

As espécies foram selecionadas pelo índice de valor de importância (IVI) (Brower e Zar 1984) em levantamentos fitossociológicos nos dois remanescentes (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999). As espécies selecionadas são comuns em fragmentos de floresta estacional semidecidual da região (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Dias et al. 2002). Utilizando dados da literatura (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Lorenzi 2002), as espécies foram divididas em: intolerantes à sombra – *Astronium graveolens* Jacq., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms e *Croton floribundus* Spreng.; e tolerantes à sombra - *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., *Holocalyx balansae* Micheli. *Euterpe edulis* foi selecionada para o estudo, mesmo não sendo uma espécie lenhosa, em razão da diferença no seu IVI entre as áreas.

### **Área amostral**

Foram definidas duas áreas amostrais de 0,3 ha cada, fisionalmente semelhantes (topografia semelhante, longe dos efeitos de borda e sem a infestação de bambu e lianas), sendo uma em cada fragmento.

Todos os indivíduos das seis espécies contidos nas áreas foram marcados com plaquetas metálicas numeradas e medidos a altura e o diâmetro à altura do solo (DAS). Os indivíduos com até 3 m de comprimento tiveram altura medida com auxílio de uma trena de carpinteiro e o DAS medido com paquímetro. Para os indivíduos maiores que 3 m, a altura foi medida com uma trena eletrônica da marca BOSCH, e a circunferência à altura do solo (CAS) mensurada com fita métrica, tendo seu valor convertido para DAS,

através da fórmula  $DAS = CAS/\pi$ . Quando não foi possível medir a altura, o valor foi estimado visualmente tendo como referência uma trena de carpinteiro. Foi realizada uma amostragem em cada área entre os anos de 2009 e 2010.

### **Coleta e análise de dados**

Calculou-se o índice de cobertura do dossel, a fim de verificar se houve diferença de luminosidade entre as áreas e se a luminosidade influenciou na forma dos indivíduos. Os índices de cobertura foram obtidos utilizando-se um densiômetro esférico de copa segundo metodologia de Lemmon (1956). Os índices de cobertura médios das áreas amostrais foram comparados pelo teste t (Zar 1984).

Utilizou-se a relação alométrica entre o diâmetro (cm) e a altura (m) para verificar variações do padrão de crescimento dos indivíduos. Foi feita uma análise de regressão linear das variáveis log-transformados (logaritmo de base 10) no programa BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007). Posteriormente, no programa StatistiXL (versão 1.8, 2007), realizou uma análise de covariância (ANCOVA) para testar as diferenças entre as retas (Snedecor e Cochran 1967). Quando necessário, comparações múltiplas entre as retas foram feitas pelo teste a posteriori de Scheffé ( $P < 0,05$ ) (Zar 1984), por ser este o teste mais adequado quando o número de casos é diferente para os tratamentos.

### **Resultados**

O PEMSF apresentou uma média de 83,5% ( $EP = \pm 0,85\%$ ) de índice de cobertura vegetal, sendo que seis parcelas tiveram índices de cobertura menores que 80%, 21 parcelas entre 80% - 90% e apenas três parcelas com índice de cobertura acima de 90%. O PEMG apresentou uma média de 94% ( $EP = \pm 0,36\%$ ) de índice de cobertura, tendo 28 parcelas acima de 90% de índice de cobertura vegetal e duas parcelas entre 80% - 90%. O teste t apontou diferença significativa ( $p < 0,001$ ) entre as

áreas, sendo que o PEMSF, área mais explorada, apresenta um dossel mais aberto e consequentemente mais iluminado.

Foi observado um total de 4.815 indivíduos nas duas áreas amostrais, sendo 3.303 no PEMG e 1.512 no PEMSF (Tabela 1). Não foi possível analisar a alometria para *C. floribundus* devido ao baixo número de indivíduos em ambas as áreas amostrais, sendo apenas 12 indivíduos no PEMSF e três no PEMG. Observou-se no PEMSF maior número de indivíduos intolerantes à sombra, enquanto que no PEMG teve maior número de indivíduos tolerantes à sombra (Tabela 1).

As regressões entre diâmetro e altura foram positivas e significativas ( $p < 0,001$ ) tanto para as espécies intolerantes à sombra (Fig. 1, Tabela 1) quanto para as espécies tolerantes à sombra (Fig. 2, Tabela 1), com altos valores de coeficiente de determinação ( $r^2$ ), indicando baixa variabilidade na forma dos indivíduos.

Tanto as espécies intolerantes à sombra quanto as espécies tolerantes à sombra apresentaram diferenças significativas na inclinação da reta entre as áreas ( $p < 0,001$ ) (Tabela 1). A inclinação da reta (coeficiente angular) de todas as espécies, exceto *G. integrifolia*, foi maior na área com histórico de exploração (PEMSF), indicando que os indivíduos desta área têm maior incremento de diâmetro por aumento de altura.

Os maiores valores de  $b$  (inclinação da reta) foram apresentados por *G. integrifolia* no PEMG e *A. graveolens* e *C. gonocarpum* no PEMSF (Tabela 1, 2), *H. balansae* apresentou o menor valor de  $b$  nas duas áreas (Tabela 1, 2).

Quando comparados os grupos funcionais, observou-se que houve diferença entre áreas, ou seja, o grupo de espécies intolerantes à sombra do PEMSF apresentou forma diferente deste grupo no PEMG (Tabela 1). O mesmo resultado foi observado para o grupo de espécies tolerantes à sombra. Dentro da mesma área os dois grupos

funcionais apresentaram a mesma relação de crescimento entre diâmetro-altura (Tabela 2).

### **Discussão**

Os valores de  $b$  das populações do PEMSF foram maiores do que as do PEMG, indicando que para uma mesma altura os indivíduos do PEMSF terão maior investimento em diâmetro, sugerindo que a diferença de luminosidade entre as áreas parece ser um fator importante na determinação das diferenças nas relações alométricas das espécies. Isso provavelmente esteja relacionado à menor competição por luz no PEMSF, permitindo aos indivíduos adultos alocar biomassa para o crescimento em espessura, aumentando a margem de segurança (Niklas 1995).

King (1990), Sterck et al. (2001), Poorter et al. (2003) afirmaram que a competição por luz é o fator primário responsável pela evolução e manutenção da forma de vida arbórea, e uma pequena margem a mais de luz pode ser fundamental para um indivíduo assimilar uma maior quantidade de carbono (Bohlman e O'Brien 2006; Osunkoya et al. 2007).

A luminosidade é de fundamental importância em florestas tropicais, pois é o principal recurso limitante (principalmente nos estratos inferiores) para os indivíduos arbóreos (Chazdon e Fetcher 1984; Sterck et al. 2001), a presença de diferentes grupos funcionais com diferentes requisitos de luz (Swaine e Whitmore 1988), que se encontram em ambientes com diferentes taxas de luminosidade (Sterck et al. 2001; Poorter et al. 2006) e a arquitetura dos indivíduos arbóreos é determinada pelo modo e a taxa de luz que é interceptada pelos indivíduos (Sterck et al. 2001; Poorter et al. 2006).

No PEMG, são favorecidos os indivíduos que alocam recursos para o crescimento em altura, pois encontram-se sob um dossel fechado e com menor disponibilidade de luz, o que possibilita alcançar ambiente mais iluminado (Rich et al.

1986; Kohyama 1987; Holbrook e Putz 1989; King 1990a, 1990b, 1996; Kohyama e Hotta 1990; Poorter et al. 2003; Poorter et al. 2006). Em contrapartida, no PEMSF os indivíduos estão em um local com maior disponibilidade de luz, possivelmente alocando maior quantidade de assimilados para expansão de copa, pois interceptam maior quantidade de luz (King 1990b; Kohyama e Hotta 1990; Niklas 1995; O'Brien et al. 1995; King 1996; Sterck e Bongers 1998; Sterck 1999; Osunkoya et al. 2007; Martínez-Sanchez 2008). A alocação de recursos para o crescimento em diâmetro também é importante para reduzir a possibilidade de quebra da planta em função do seu próprio peso (McMahon 1973; Dean e Long 1986; King 1986; Sterck e Bongers 1998; Sterck 1999; Osunkoya et al. 2007; Aiba e Nakashizuka 2009).

O alto valor da  $b$  para a população de *G. integrifolia* no PEMG pode ser explicado pela presença de dois indivíduos com mais de 40 cm de diâmetro. Se fossem retirados da análise, o valor de  $b$  cairia de 4,063 para 0,917. Segundo Niklas (1995), essa não linearidade dos dados alométricos resulta do fato que o crescimento diamétrico do tronco é indeterminado, pois o tecido secundário continua a ser adicionado ao tronco ano após ano e a taxa média de crescimento em altura das árvores declina com o aumento da idade das mesmas.

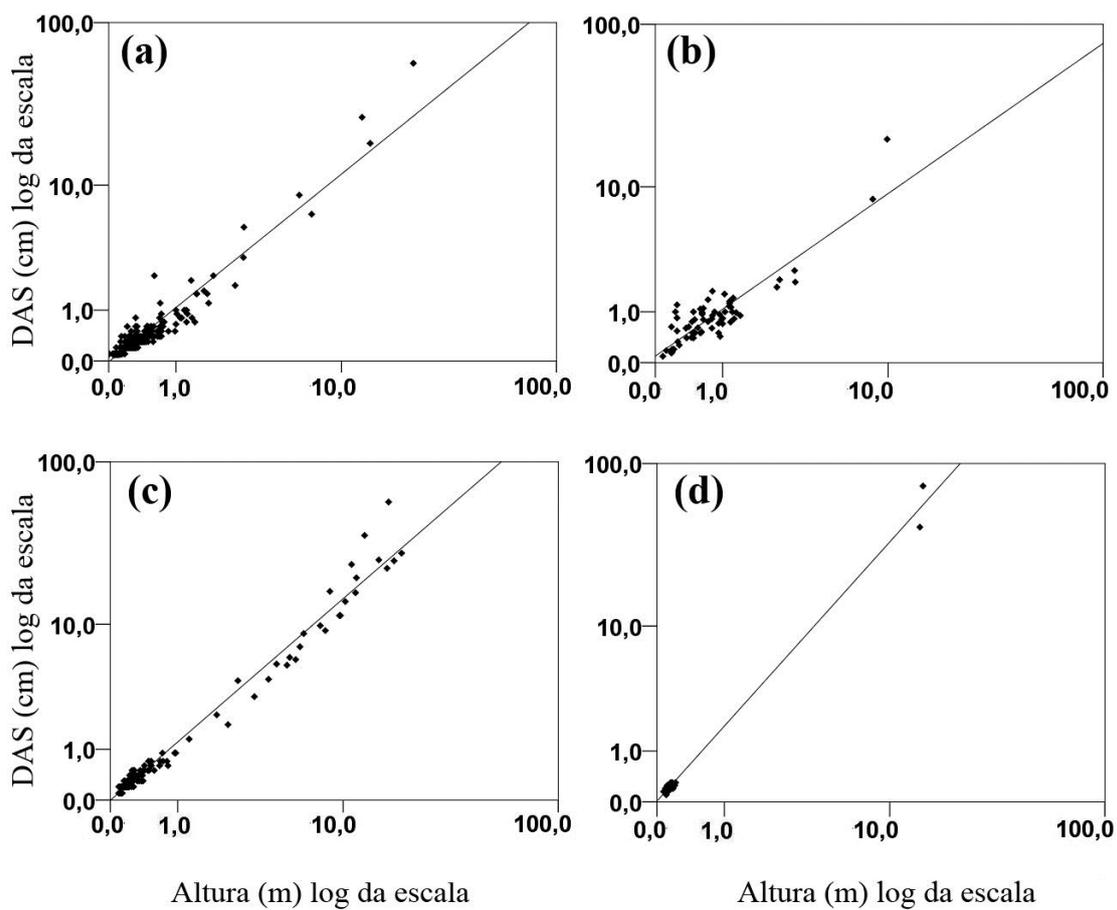
Liboni et al. (2010), em estudo sobre comunidades arbóreas em áreas de Floresta Ombrófila Mista na região sul do Brasil, encontraram um valor de  $b = 2,16$  para a área mais conservada e sem histórico de perturbação e de  $b = 2,57$  para a área menos conservada e em que houve exploração antrópica pretérita. Embora os valores não difiram estatisticamente, a tendência sugere que em áreas com maior disponibilidade de luz ocorre maior investimento em diâmetro que em altura, similar ao observado neste estudo.

Os grupos funcionais apresentaram a mesma relação de crescimento entre diâmetro-altura quando comparados na mesma área (PEMSF ou PEMG). No PEMSf, as populações apresentaram maior investimento em diâmetro e no PEMG, maior investimento em altura, sugerindo que os grupos funcionais dentro da mesma área crescem sob condições ambientais de luminosidade semelhantes (Aiba e Kohyama 1996). Devido a menor competição por luz no PEMSf, os indivíduos apresentaram uma relação altura-diâmetro que permitiu um crescimento em altura sem comprometimento da estabilidade mecânica, sugerindo maior alocação em recursos para expansão da copa, interceptando uma maior quantidade de luz presente na área, e em diâmetro para reduzir a probabilidade de quebra (King 1990a; Sposito e Santos 2001). No PEMG, local menos iluminado, os indivíduos devem fazer uso eficiente da biomassa para crescer em altura com a finalidade de alcançar o ambiente mais iluminado do estrato superior da floresta (King 1990a; Aiba e Kohyama 1996). Esse padrão de crescimento diferiu em cada grupo funcional, quando se comparou as áreas, apontando que os impactos sofridos pela exploração de madeira alteraram a estrutura morfológica dos indivíduos, indicando que o crescimento em diâmetro e altura refletem estratégias de crescimento em resposta a diferentes condições de luminosidade (Kohyama 1987; Kohyama e Hotta 1990; Aiba e Kohyama 1996).

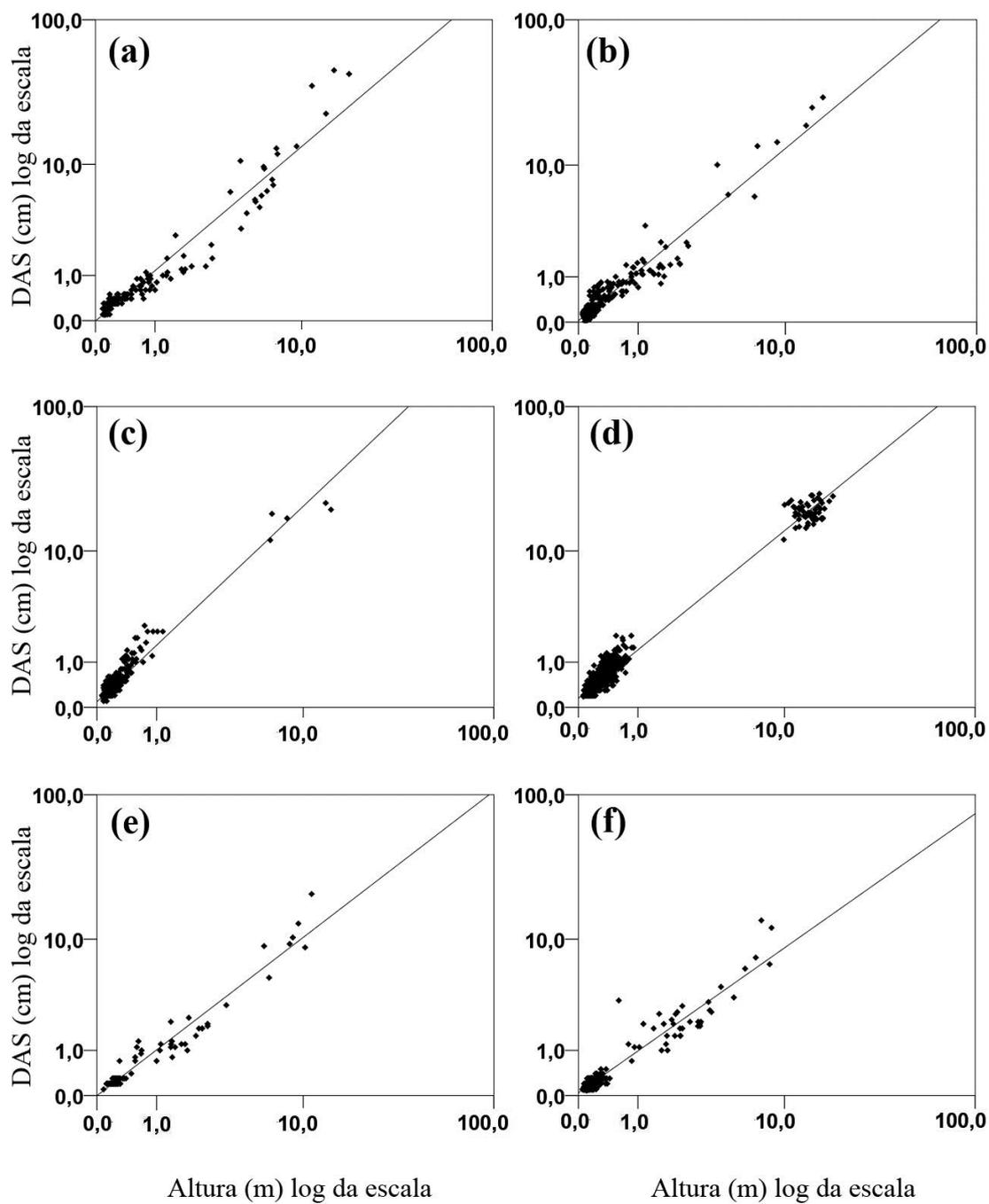
A análise dos resultados indicam que as espécies de estudo estão regenerando no PEMSf, evidenciado principalmente pelo grande número de indivíduos tolerantes à sombra presentes no PEMSf, indicando a presença de microsítios favoráveis para o desenvolvimento dessas espécies que são características de floresta conservada. A chegada dos indivíduos ao dossel da floresta, entre 10 e 20 m de altura nessa formação florestal (Bianchini et al. 2001), os indivíduos passam a se desenvolver em um ambiente com maior luminosidade, conseqüentemente ocorrendo a expansão de suas copas

(Niklas 1995). Isto contribui para o aumento da cobertura do dossel, afetando principalmente os indivíduos de menor tamanho, favorecendo uma maior germinação e regeneração de espécies tolerantes à sombra.

A diferença de luminosidade entre as áreas está relacionada com as variações morfológicas de altura-diâmetro dos indivíduos. No PEMSF, em razão da exploração de madeira que acabou gerando grandes clareiras, houve maior recrutamento de indivíduos de espécies intolerantes à sombra. A maior luminosidade no PEMSF pode ter gerado menor competição por luz, e como consequência, alocação de recursos para o crescimento em diâmetro. O maior diâmetro reduziria a possibilidade de quebra em função de pressões ambientais a presença de lianas e a pressão do próprio peso. A diferença no padrão de crescimento altura-diâmetro dos indivíduos do PEMSF comparados aos do PEMG demonstram um dos resultados do impacto da exploração antrópica no PEMSF, no entanto, o processo de regeneração das espécies de estudo está ocorrendo neste local. Os resultados obtidos demonstram que as modificações ambientais provocadas pela exploração antrópica foram importantes para explicar a diferença no padrão de investimento dos indivíduos em áreas com diferentes estados de preservação.



**Fig. 1** Regressão entre diâmetro a altura do solo (DAS) e altura ( $\log \text{DAS} = a + b \log \text{altura}$ ) das espécies intolerantes à sombra: *Astronium graveolens* (a, b), *Gallesia integrifolia* (c, d), no Parque Estadual Mata São Francisco (a, c), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (b, d), Londrina, PR, Brasil.



**Fig. 2** Regressão entre diâmetro a altura do solo (DAS) e altura ( $\log \text{DAS} = a + b \log \text{altura}$ ) das espécies tolerantes à sombra *Chrysophyllum gonocarpum* (a, b), *Euterpe edulis* (c, d) e *Holocalyx balansae* (e, f), no Parque Estadual Mata São Francisco (a, c, e), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil e Parque Estadual Mata dos Godoy (b, d, f), Londrina, PR, Brasil.

**Tabela 1** Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro (cm) e altura (m) ( $\log \text{ diâmetro} = a + b \log \text{ altura}$ ) das espécies intolerantes à sombra (IS), *Astronium graveolens* (AG), *Croton floribundus* (CF) e *Gallesia integrifolia* (GI) e das espécies tolerantes à sombra (TS), *Chrysophyllum gonocarpum* (CG), *Euterpe edulis* (EE) e *Holocalyx balansae* (HB) do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil.

Espécies	b		a		r <sup>2</sup>		N	
	PEMSF	PEMG	PEMSF	PEMG	PEMSF	PEMG	PEMSF	PEMG
<b>IS</b>	1,711	1,382***	-0,2697	-0,163	0,90***	0,84***	518	98
AG	2,064	1,482***	-0,3366	-0,3308	0,91***	0,83***	387	64
CF	-	-	-	-	-	-	12	3
GI	1,783***	4,063	-0,4448	-0,3142	0,84***	0,93***	119	31
<b>TS</b>	1,785	1,415***	-0,1031	0,0608	0,83***	0,93***	994	3205
CG	2,065	1,654***	-0,7441	-0,1156	0,86***	0,95***	159	414
EE	1,718	1,378***	0,0411	0,1338	0,94***	0,97***	735	2081
HB	1,269	1,056***	-0,1799	0,017	0,89***	0,86***	100	710

b = inclinação da reta (ANCOVA \*\*\*(p<0,001)); a = intercepto em y; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação (ANOVA \*\*\* p< 0,001); N = número de indivíduos.

**Tabela 2** Estimativa dos parâmetros das regressões lineares para o diâmetro (cm) e altura (m) ( $\log \text{ diâmetro} = a + b \log \text{ altura}$ ) de cinco espécies do Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil. Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo Teste de Scheffé, p < 0,05).

Espécies	b	
	PEMSF	PEMG
<b>Intolerantes à sombra</b>	1,711	1,382
<i>Astronium graveolens</i>	2,064a	1,482c
<i>Croton floribundus</i>	-	-
<i>Gallesia integrifolia</i>	1,784b	4,063a
<b>Tolerantes à sombra</b>	1,785	1,415
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	2,065a	1,654b
<i>Euterpe edulis</i>	1,718b	1,378c
<i>Holocalyx balansae</i>	1,270c	1,057d

## Referências

- Aiba M, Nakashizuka T (2009) Architectural differences associated with adult stature and wood density in 30 temperate tree species. *Func Ecol* 23: 265-273
- Aiba S, Kohyama T (1996) Tree species stratification in relation to allometry and demography in a warm-temperate rain forest. *J Ecol*, 84: 207-218
- Alves LF, Metzger JP (2006) A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Bio Neot* 6: 1-26
- Ayres M, Ayres Júnior M, Ayres DL, Santos AA (2007) BIOESTAT – Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Ong Mamiraua, Belém.
- Archibald S, 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
- Ashton MS, Gunatilleke CVS, Singhakumara BMP, Gunatilleke IAUN (2001) Restoration pathways for rain forest in southwest Sri Lanka: a review of concepts and models. *For Ecol Manage* 154: 409-430
- Barton MA, Fetcher N, Redhead S (1989) The relationship between trefall gap size and light flux in a Neotropical rain forest in Costa Rica. *J Trop Ecol* 5:437-439
- Begon M, Townsend C, Harper JL (2007) *Ecology from Individuals to Ecosystems*, 4th edn. Artimed, Porto Alegre.
- Bianchini E, Pimenta JA, 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
- Bragagnolo C, Nogueira AA, Pinto-da-Rocha R, Pardini R (2007) Harvestmen in an Atlantic forest fragmented landscape: Evaluating assemblage response to habitat quality and quantity. *Biol Conserv* 139: 389–400
- Bohlman SA, 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, Zar JH (1984) *Field and laboratory methods for general ecology*. 2nd edn. Wm Brown Publ, Dubuque.
- Burton JI, Zenner EK, Frelich LE, 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
- Chazdon RL, Fetcher N (1984) Photosynthetic light environments in a lowland Tropical Rain Forest in Costa Rica. *J Ecol* 72: 553-564

- Dean TJ, Long JN (1986) Validity of constant-stress and elastic-instability principles of stem formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. *Ann Bot* 58: 833-840
- Dent DH, Wright SJ (2009) The future of tropical species in secondary forests: a quantitative review. *Biol Conserv* 142: 2833-2843
- Dias MC, Vieira, AOS, Paiva MRC (2002) Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi, In: Medri M, Bianchini E, Shibata O, Pimenta JA (eds) A bacia do rio Tibagi. UEL, Londrina, pp 109-124.
- Dobson AP, Bradshaw AD, Baker AJM (1997) Hopes for the future: restoration ecology and conservation biology. *Science* 277: 515-522
- Dunn R (2004) Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration. *Conserv Biol* 18: 302-309
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Guariguata MR, Ostertag R (2001) Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206
- Harrison S, Bruna E (1999) Habitat fragmentation and large-scale conservation: what do we know for sure?. *Ecography* 22: 225-232
- Heineman KD, Jensen E, Shapland A, Bogenrief B, Tan S, Rebarber R, Russo SE (2011) The effects of belowground resources on aboveground allometric growth in Bornean tree species. *For Ecol Manage* 261: 1820-1832
- Holbrook NM, Putz FE (1989) Influence of neighbors on tree form: effects of lateral shade and prevention of sway on the allometry of *Liquidambar styraciflua* (swett gum). *Am J Bot* 76: 1740-1749
- IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná (2000) Cartas Climáticas do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br>>. Acesso: 01/ 09/ 2008
- King DA (1986) Tree form, height growth, and susceptibility to wind damage in *Acer saccharum*. *Ecology* 67: 980-990
- King DA (1990a) Allometry of saplings and understory trees of a Panamanian forest. *Func 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. *Func Ecol* 1: 399-404

- Kohyama T, Hotta M (1990) Significance of allometry in tropical saplings. *Func Ecol* 4: 515- 521
- Laurance WF, Lovejoy TE, Vasconcelos H, Bruna E, Didham R, Stouffer P, Gascon C, Bierregaard R, Laurance SG, Sampaio E (2002) Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-year investigation. *Conserv Biol* 16:605–618
- Lemmon PE (1956) A spherical densiometer for estimating forest overstorey density. *For Scie* 2: 341-320
- Liboni AP, Rodrigues DR, Perina BB, Rosa VPR, Bovolenta YR, Bianchini E, Pimenta JA (2010) Relações alométricas da comunidade arbórea de diferentes áreas de uma floresta ombrófila mista do sul do Brasil. *Semina Ciên Biol* 32: 125-132
- Liebsch D, Marques MCM, 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
- Lindenmayer DB, Hobbs RJ (2004) Fauna conservation in Australian plantation forests – a review. *Biol Conserv* 119: 151-168
- Lorenzi H (2002) *Árvores brasileiras*. 5th edn. Plantarum, Nova Odessa.
- Martínez-Sánchez JL (2008) Allometric variation of shade-tolerant tree species in a mexican tropical rain forest. *Bio Neot* 5: 41-51
- Mcmahon T (1973) Size and shape in Biology. *Science* 179: 1201-1204
- Niklas KJ (1995) Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk taper. *Ann Bot* 75: 217-227
- O'Brien ST, Hubbell SP, Spiro P, Richard C, Foster RB (1995) Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939
- Osunkoya OO, Omar-ali K, Amit N, Dayan J, Daud DS, Sheng TK (2007) Comparative height-crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *Am J Bot* 12: 1951-1962
- Poorter L, Bongers L, Bongers F (2006) Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2003) Architecture of 53 Rain Forest Tree Species Differing in Adult Stature and Shade Tolerance. *Ecology* 84: 602-608
- Poorter L, Bongers F, Sterck FJ, Wöll H (2005) Beyond the regeneration phase: differentiation of height– light trajectories among tropical tree species. *J Ecol* 93: 256–267

- Raich JW, Khoon GW (1990) Effects of canopy openings on tree seed germination in Malaysian dipterocarp forest. *J Trop Ecol* 6: 203- 217
- Rich PM, Helenurm K, Kearns D, Morse SR, Palmer MW, Short L (1986) Height and stem diameter relationships for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rican Tropical wet forest. *Bulle Tor Bot Club* 113: 241-246
- Richards PW (1996) *The tropical rain forest: an ecological study*, 2nd edn. Cambridge University Press Publ, Cambridge.
- Roberts MR, Gilliam FS (1995) Patterns and mechanism of plant diversity in forested ecosystems: implication for forest management. *Ecol App* 5: 969-77
- Silva FC, Soares-Silva LH (2000) Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR. Brazil, *Edinb J Bot* 57: 107–120
- Silveira MA (2006) A vegetação do Parque Estadual Mata dos Godoy, In: Torezan JMD (Org) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*, ITEDES, Londrina, pp 19-27
- Snedecor GW, Cochram WG (1967) *Statistical methods*, 6th edn. Iowa State University Press, Ames.
- Soares-Silva LH, 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 Brasileira de Botânica, Campinas, pp 101-112.
- Sposito TC, Santos FAM (2001) Scaling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. *Am J Bot* 88: 939-949
- Sterck FJ (1999) Crown development in tropical rain forest trees in gaps and understory. *Plant Ecol*, 143: 89-98
- Sterck FJ, Bongers F (1998) Ontogenetic changes in size, allometry and mechanical design of tropical rainforest trees. *Am J Bot* 85: 266-272
- Swaine MD, Whitmore TC (1988) On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio* 75: 81-86
- Tomé MV, Miglioranza E, Vilhena AH, Fonseca EP (1999) Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Rev Inst Flore* 11: 13-23
- Vieilledent G, Courbaud B, Kunstler G, Dhôte JF, Clark JS (2010) Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163: 759-773
- Wallington TJ, Hobbs RJ, Moore SA (2005) Implications of current ecological thinking for biodiversity conservation: a review of the salient issues. *Ecol Soc* 10: 1-16

Weiner J, Thomas SC (1992) Competition and allometry in three species of annual plants. *Ecology* 73: 648-656

Zar JH (1984) *Biostatistical Analysis*. 2nd edn. Prentice Hall Publ, New Jersey.

## **Capítulo 2**

Estruturas de tamanho e espacial de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação

Estruturas de tamanho e espacial de seis espécies arbóreas tropicais em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual com diferentes históricos de conservação

DIEGO RESENDE RODRIGUES <sup>1\*</sup> e EDMILSON BIANCHINI <sup>2</sup>

1- Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina ([diegorr2001@yahoo.com.br](mailto:diegorr2001@yahoo.com.br))

2- Departamento de Biologia Animal e Vegetal, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Londrina, Caixa Postal 6001, Londrina, PR. CEP – 86051970

\* - Autor para correspondência

**RESUMO** - Os distúrbios causados em florestas pela ação do homem, principalmente a retirada de madeira, alteram as condições de sobrevivência e desenvolvimento de plantas, tendo efeito direto na estrutura de tamanho e espacial das populações arbóreas. O presente estudo objetivou comparar a estrutura de tamanho e a estrutura espacial de seis espécies arbóreas em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, com diferentes históricos de perturbação. Foram determinadas as estruturas de tamanho e espacial de populações de espécies arbóreas intolerantes à sombra (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) e tolerantes à sombra (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., e *Holocalyx balansae* Micheli) nas duas áreas. Foram alocadas 60 parcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m), sendo 30 parcelas contíguas em cada área. Todos os indivíduos das seis espécies contidos nas áreas foram marcados, medidos a altura e mapeados com o uso de coordenadas Cartesianas. Foram observadas diferenças na distribuição de indivíduos por classes de altura, entre as áreas, indicando que os impactos da exploração antrópica alteraram a estrutura populacional de algumas espécies. Todas as populações apresentaram distribuição aleatória, com exceção de *H. balansae* na área menos conservada (PEMSF) e *E. edulis* na área sem histórico de perturbação, que apresentaram distribuição agregada. Há indícios de regeneração florestal, devido ao estabelecimento de espécies tolerantes à sombra no PEMSF e a coexistência de grupos funcionais em ambas as áreas. A análise dos resultados demonstrou a importância dos estudos de aspectos populacionais para detectar as diferenças causadas pela exploração antrópica em fragmentos florestais.

**Palavras-chave:** estrutura populacional, regeneração, floresta tropical, exploração antrópica, grupos ecológicos.

**ABSTRACT** - Disturbances in forests caused by human, especially timber extraction, modify survival conditions of plant development and this has direct effect on the size and spatial structure of tree populations. This study aimed to compare the size structure and spatial pattern of six tree species in two distinct fragments of seasonal semideciduous forest with different historical preservation. The height and spatial structure of shade-intolerant species (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) and shade-tolerant species (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart. and *Holocalyx balansae* Micheli) were determined in both fragments. Sixty plots of 100 m<sup>2</sup> (10 m x 10 m) were allocated, being 30 contiguous plots in each area. All individuals of six species were marked, assessed for total height data and mapped using Cartesian coordinates. It was observed differences in distribution of individuals by height classes, between areas, showing that impacts of anthropogenic exploration altered the population structure in some studied species. All populations had a random spatial pattern, except to *H. balansae* in less conserved area (PEMSF) and *E. edulis* in conserved area, that they had a clumped spatial pattern. There are evidences of regeneration forest due establishment of shade-tolerant species in PEMSF and coexistence of functional groups in both fragments. The results demonstrated the important population aspects studies for detect differences caused by human exploration in forest fragments.

**Keywords:** populational structure, regeneration, tropical forest, disturbance, ecological groups.

## **Introdução**

A Mata Atlântica, considerada uma das mais importantes áreas para conservação da biodiversidade do planeta, devido à alta diversidade biológica e taxas de endemismo (Morellato e Haddad 2000; Myers et al. 2000; Dixo et al. 2009; Metzger 2009; Ribeiro et al. 2009), apresentava uma área de aproximadamente 1.300.000 Km<sup>2</sup>. Este bioma tem perdido sua biodiversidade causada principalmente pela ação antrópica, através da extração seletiva de madeira, processos de urbanização, criação de áreas para criação de gado, entre outros (Primack e Rodrigues 2001; Tabarelli et al. 2005; Metzger 2009; Ribeiro et al. 2009). Ribeiro et al. (2009) relataram que ainda restam de 11,4 a 16% do total inicial, porém, a maioria desses remanescentes florestais (cerca de 83% do total) são fragmentos pequenos, menores que 50 ha, isolados, que sofrem ou já sofreram exploração antrópica.

Os distúrbios causados em florestas impactadas, principalmente a retirada de madeira, alteram as condições de sobrevivência e desenvolvimento de plantas, modificando o habitat, principalmente no que diz respeito a umidade, temperatura e luminosidade em relação ao habitat conservado (Guariguata e Ostertag 2001; Liebsch et al. 2008; Burton et al. 2009). Essas alterações microclimáticas causam alterações na natalidade, crescimento e reprodução das populações de plantas, apresentando efeito direto na estrutura de tamanho e espacial das mesmas (Ramírez-Marcial 2003; McLaren et al. 2005, Getzin et al 2008; Tsingalia 2010). Além disso, prejudica a germinação e estabelecimento de espécies características de interior de floresta (Raich e Khoon 1990; Guariguata e Ostertag 2001; Alves e Metzger 2006; Liebsch et al. 2008; Burton et al. 2009; Dent e Wright 2009). Espécies que, segundo Swaine e Whitmore (1988) são denominadas de tolerantes à sombra, pois requerem baixa luminosidade para germinação, estabelecimento e sobrevivência. Em contrapartida, as intolerantes à

sombra requerem alta luminosidade para os mesmos processos. Essa divisão em grupos funcionais, baseados em características ecológicas semelhantes, simplifica o estudo ecológico de florestas. Embora, reduza o teor de informações, esta classificação revela padrões gerais facilitando as previsões sobre os processos que ocorrem na floresta (Swaine e Whitmore 1988).

O conhecimento sobre a estrutura populacional pode ajudar a entender as respostas das espécies às mudanças causadas pela fragmentação (Saunders et al. 1991; Bruna e Kress 2002; Andrade et al. 2007). As estruturas populacionais são influenciadas por fatores bióticos e abióticos que seus indivíduos, e em alguns casos seus ancestrais, foram expostos (Hutchings 1997) representando, portanto, bons indicadores de ocorrência de regeneração florestal (Agren e Zackrisson 1990).

Estudos de longo prazo são considerados ideais para entender e explicar os padrões causados pela fragmentação, no entanto estudos de estrutura de tamanho podem em um período curto de tempo prover dados capazes de identificar padrões gerais sobre as populações (Henriques e Souza 1989; Wright et al. 2003). Segundo Kelly et al. (2001) estrutura de tamanho de uma população é a síntese de eventos demográficos de recrutamento, mortalidade e taxas de crescimento ao longo do tempo, demonstrando uma riqueza de informações demográficas das espécies, podendo dessa forma conhecer os padrões de regeneração no passado e presente de uma espécie (Knowles e Grant 1983; Agren e Zackrisson 1990).

O presente estudo tem por objetivo comparar a estrutura de tamanho e a estrutura espacial de seis espécies arbóreas em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, com diferentes históricos de perturbação. As espécies foram divididas em intolerantes e tolerantes à sombra. Foram levantadas as seguintes questões: (1) Existe diferença na estrutura de tamanho dos indivíduos entre as áreas? (2) O padrão espacial

dos indivíduos difere entre as áreas? A expectativa é de que os grupos de indivíduos das espécies estudadas apresentem estrutura de tamanho e espacial diferentes, sendo que no PEMSF tenha maior predominância de indivíduos intolerantes à sombra e estrutura de altura alterada em função da exploração, além de padrão espacial aleatório, causado pelo menor índice de cobertura vegetal, apresentando maior heterogeneidade ambiental, devido a maior luminosidade disponível no interior da floresta, como consequência da exploração antrópica.

## **Métodos**

### **Área de estudo**

O estudo foi conduzido em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual: o Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF) e o Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG). O PEMSF, que possui histórico de intensa interferência antrópica e elevado grau de degradação pelo corte de madeira e extração do palmitreiro (*Euterpe edulis* Mart.), está situado entre os municípios de Santa Mariana e Cornélio Procópio, estado do Paraná, Brasil, nas coordenadas 23° 15' S e 50° 45' W (centro do fragmento), com aproximadamente 840 hectares. O Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), com histórico de conservação conhecido (Silveira 2006), localiza-se no município de Londrina, estado do PR, Brasil, nas coordenadas 23° 27' S e 51° 15' W (centro do fragmento), com área aproximada de 650 ha. O clima de ambas as áreas, segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se como Cfa, com precipitação média entre 1.200 a 1.400 mm no PEMSF e 1.400 a 1600 mm no PEMG, ambas distribuídas irregularmente durante o ano (IAPAR 2000). As unidades de solo predominantes no PEMSF são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos (Embrapa 1999) e Latossolo Vermelho

Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico e associações com Neossolos Litólicos para o PEMG (Embrapa 1999), todos considerados como solos de alta fertilidade.

### **Seleção das espécies**

As espécies foram selecionadas pelo índice de valor de importância (IVI) (Brower e Zar 1984) em levantamentos fitossociológicos nos dois remanescentes (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999). As espécies selecionadas são comuns em fragmentos de floresta estacional semidecidual da região (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Dias et al. 2002). Utilizando dados da literatura (Soares-Silva e Barroso 1992; Tomé et al. 1999; Lorenzi 2002), as espécies foram divididas em: intolerantes à sombra– *Astronium graveolens* Jacq., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms e *Croton floribundus* Spreng.; e tolerantes à sombra: *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., *Holocalyx balansae* Micheli. *Euterpe edulis* foi selecionada para o estudo, por ser uma espécie típica dessa formação florestal.

### **Área amostral**

Foram definidas duas áreas amostrais, fisionomicamente semelhantes, de 0,3 ha cada, sendo uma em cada fragmento. As áreas foram divididas em parcelas contíguas de 10 m x 10 m, totalizando 30 parcelas. Para o estudo de distribuição espacial subdividiu-se as parcelas em quatro subparcelas de 5 m x 5 m, totalizando 120 parcelas.

Todos os indivíduos das seis espécies contidos nas áreas foram marcados com plaquetas metálicas numeradas e medidos a altura. Os indivíduos com até 3 m de comprimento tiveram altura medida com auxílio de uma trena de carpinteiro. Para os indivíduos maiores que 3 m, a altura foi medida com uma trena eletrônica da marca BOSCH. Quando não foi possível medir a altura, o valor foi estimado visualmente

tendo como referência uma trena de carpinteiro. Foi realizada uma amostragem em cada área entre os anos de 2009 e 2010.

### **Coleta e análise de dados**

Para comparar a estrutura de tamanho das populações entre as áreas, os indivíduos foram divididos em classes de altura, sendo que os intervalos de classes foram obtidos pelo algoritmo de Sturges, que consiste em:  $1 + 3,3 \times \log n$ , onde,  $n$  é o número total dos indivíduos amostrados (Bonini e Bonini 1972 *apud* Silva e Araújo 2009). O valor obtido representa o número de classes para cada espécie. Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (Zar 1984) ( $\alpha \leq 0,05$ ) para comparar as diferenças na estrutura de tamanho entre as áreas.

A estrutura espacial foi analisada usando o coeficiente de autocorrelação espacial dado pelo coeficiente ou índice de Moran ( $I$ ). As distâncias espaciais podem ser particionadas em classes discretas, criando sucessivas matrizes e permitindo a computação de diferentes valores de  $I$  para a mesma variável. Estes valores, usualmente, variam entre -1,0 e +1,0. Se a autocorrelação for positiva ( $I > 0$ ) sugere uma distribuição agregada; se a autocorrelação for negativa ( $I < 0$ ) indica que a distribuição espacial é uniforme. Se o valor for zero ( $I = 0$ ) significa ausência de autocorrelação, sendo assim os indivíduos estariam distribuídos aleatoriamente no espaço (Legendre e Fortin 1989). A autocorrelação é avaliada em um correlograma, que fornece uma descrição do padrão espacial dos indivíduos na área amostrada (Diniz-Filho et al. 2003).

A significância dos coeficientes de autocorrelação foi testada em nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Utilizou-se o critério de Bonferroni para correção de testes múltiplos (Oden 1984; Legendre e Fortin 1989), para verificar a significância do correlograma. Segundo esse critério, o correlograma é considerado significativo quando pelo menos um  $I$  for significativo para o nível de significância  $\alpha' = \alpha / k$ , sendo  $k$  o

número de classes de distância utilizado (Legendre e Fortin 1989). Neste estudo foram usadas 14 classes de distância, portanto, o nível de significância para os correlogramas foi de  $\alpha' = 0,0036$ .

Calculou-se o índice de cobertura de dossel, a fim de verificar se houve diferença de luminosidade entre as áreas. Os índices de cobertura foram obtidos utilizando-se um densiômetro de cobertura esférico (Lemmon 1956), com medidas feitas à altura do peito. O índice de cobertura foi calculado para cada parcela e representa o valor médio de quatro medidas, sendo cada medida tomada com o densiômetro voltado para um dos vértices da parcela. Os índices de cobertura médios das áreas amostrais foram comparados pelo teste t (Zar 1984).

Para verificar se a luminosidade estava relacionada com a distribuição das espécies, testou-se a correlação entre o índice de cobertura vegetal e a densidade de indivíduos por parcelas. Utilizou-se o teste parcial de Mantel (Smouse et al. 1986) que permite a remoção da autocorrelação espacial. O nível de significância foi determinado por 999 permutações aleatórias.

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

## **Resultados**

### **Intolerantes à sombra**

Foi observado um total de 616 indivíduos intolerantes à sombra nas duas áreas amostrais, sendo 518 no PEMSf e 98 no PEMG (Tabela 1). Não foi possível comparar os dados da espécie *C. floribundus*, uma vez que havia 12 e três indivíduos na área amostral do PEMSf e do PEMG, respectivamente.

A análise do teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que houve diferenças significativas na estrutura de altura de *A. graveolens* e *G. integrifolia* entre as áreas (Tabela 1), provavelmente relacionada em parte ao número expressivamente menor de indivíduos nas primeiras classes de altura no PEMG (Fig. 1).

No PEMSf, a espécie *A. graveolens* apresentou estrutura de altura do tipo J-invertido, caracterizado por ter maior ocorrência de indivíduos nas classes de menor altura (84,5% nas duas primeiras classes), e diminuição nas últimas classes de altura. No PEMG, observou-se redução marcante no número de indivíduos nas duas primeiras classes (37,5%) e a ausência de indivíduos acima dos 12 m (Fig. 1a).

A estrutura de altura de *G. integrifolia* no PEMSf também assemelhou-se a um J-invertido, com maior número de indivíduos nas duas primeiras classes (66%), porém com um aumento de indivíduos nas duas últimas classes (20%), apresentando seis indivíduos acima dos 12 m de altura. No PEMG, 93,5% dos indivíduos concentravam-se nas duas primeiras classes (29 indivíduos), e apenas 6,5% (dois indivíduos) na última classe (> 8 m), havendo ausência de indivíduos nas outras classes de altura (Fig. 1b).

Os correlogramas de *A. graveolens* sugerem distribuição aleatória dos indivíduos em ambas as áreas (Fig. 2a). Os correlogramas de *G. integrifolia* (Fig. 2b) também sugerem aleatoriedade na distribuição espacial entre os indivíduos para ambas as áreas.

O índice de cobertura vegetal foi maior no PEMG, com média de 94% (EP =  $\pm$  0,36). A média no PEMSf foi de 83,5% (EP =  $\pm$  0,85), indicando ser mais aberto e conseqüentemente, mais iluminado. O teste parcial de Mantel (Tabela 2) indicou que tanto no PEMSf quanto no PEMG, a distribuição espacial das duas populações de espécies intolerantes à sombra não foi correlacionada com a luminosidade.

### **Tolerantes à sombra**

Foi observado um total de 4199 indivíduos tolerantes à sombra nas duas áreas amostrais, sendo 994 no PEMSF e 3205 no PEMG (Tabela 1).

A análise do teste de Kolmogorov-Smirnov indicou que houve diferenças na estrutura de altura das populações entre as áreas para as três espécies (Tabela 1), provavelmente promovidas em parte pelo número expressivamente maior de indivíduos nas primeiras classes de altura no PEMG (Fig. 3).

A espécie *C. gonocarpum* apresentou estrutura de altura do tipo J-invertido no PEMG, com predomínio de indivíduos na primeira classe de altura e redução marcante a partir da segunda classe. No PEMSF, o número de indivíduos na primeira classe é menor que no PEMG e similar para todas as outras classes (Fig. 3a).

Para *E. edulis*, nas duas áreas, observou-se o predomínio de indivíduos nas menores classes de altura e ausência ou pequeno número de indivíduos entre 1 a 7 m de altura (Fig. 3b). No PEMSF, apenas dois indivíduos possuíam altura acima de 10 m, enquanto que no PEMG havia 55 indivíduos.

*Holocalix balansae* apresentou alta concentração de indivíduos na primeira classe de altura e redução marcante de indivíduos nas classes subsequentes, no PEMG. No PEMSF a estrutura de altura, exceto pela primeira classe, se assemelhou àquela do PEMG (Fig. 3c).

Os correlogramas globalmente não significativos (Fig. 4a) sugerem aleatoriedade na distribuição espacial entre os indivíduos de *C. gonocarpum* em ambas as áreas.

No PEMSF, a análise do correlograma de *E. edulis* indicou distribuição aleatória (Fig. 4b). No PEMG, uma autocorrelação espacial positiva foi observada no correlograma (Fig. 4b) indicando a ocorrência de manchas de aproximadamente 18 metros, separadas de outras manchas por cerca de 10 metros.

O correlograma de *H. balansae* no PEMSf indicou autocorrelação espacial, mostrando pequenas manchas de agregação de até de 5 m, distanciadas aproximadamente 20 m entre si (Fig. 4c). No PEMG, a análise do correlograma indicou distribuição aleatória dos indivíduos (Fig. 4c).

O teste parcial de Mantel (Tabela 2) indicou que, a distribuição espacial das espécies *C. gonocarpum* e *H. balansae* não foram correlacionadas com a luminosidade para ambas as áreas. No entanto, indicou que para *E. edulis*, no PEMG, quanto menor a luminosidade maior será o número de indivíduos. No PEMSf não houve essa correlação.

## **Discussão**

Apesar dos distúrbios causados pela exploração antrópica no PEMSf (retirada de madeira principalmente), ainda há coexistência dos grupos funcionais. A exploração propiciou uma mudança nas condições ambientais, como o aumento da luminosidade, consequentemente favorecendo as espécies intolerantes à sombra. Porém a diferença no índice de cobertura de dossel, aproximadamente 10% entre áreas, não foi suficiente para impedir a regeneração de espécies tolerantes à sombra.

Segundo Poorter et al. (2008) em áreas que houve exploração antrópica, espécies intolerantes à sombra apresentam uma maior porcentagem de indivíduos em relação às espécies tolerantes. O contrário ocorre em áreas mais preservadas onde as espécies tolerantes à sombra são relativamente abundantes, com a maioria crescendo lentamente em baixas condições de luz (King 1990). Este parece ser o caso das populações de estudo da floresta estacional semidecidual, uma vez que as espécies intolerantes à sombra tiveram maior número de indivíduos no PEMSf, em contrapartida as espécies tolerantes à sombra tiveram maior número de indivíduos no PEMG.

Todas as populações estudadas de ambas as áreas apresentaram predominância de indivíduos nas primeiras classes de tamanho, o que sugere um potencial para regeneração (Kellman et al. 1998; Clark et al. 1999; McLaren et al. 2005; Bianchini et al. 2010). O baixo número de indivíduos de *C. floribundus* não necessariamente sugere um declínio da população. Segundo Lorenzi (2002), esta é uma espécie que ocorre, sobretudo nas bordas da floresta, o que sugere que as grandes clareiras serão os sítios de regeneração da espécie no interior da floresta. Observou-se também que a estrutura de tamanho para todas as espécies estudadas diferiu entre as áreas, demonstrando que a exploração de madeira interferiu na estrutura de tamanho das populações do PEMSF.

Um maior predomínio de indivíduos nas menores classes de tamanho, característico de muitas espécies arbóreas (Henriques e Souza 1989; Agren e Zackrisson 1990; Kelly et al. 2001; Bianchini et al. 2003; Marcos e Matos 2003; Wright et al. 2003; Bianchini et al. 2010) é frequentemente interpretado como sinal de estabilidade e capacidade de regeneração.

A baixa densidade de indivíduos de *E. edulis* nas duas últimas classes de altura é uma evidência do impacto humano no PEMSF, devido ao corte seletivo da espécie. A ausência de indivíduos nas classes intermediárias de altura, em ambas as áreas, não era esperado, principalmente para o PEMG. Uma possível explicação é a predação, que foi detectada no PEMG. Vários indivíduos de *E. edulis*, com altura de até 80 cm, apresentavam as folhas com as bainhas abertas e o ápice predado. Observações de campo indicaram que os macacos-pregos (*Cebus nigritus*) ingeriam os ápices destes indivíduos. Embora não tenha sido observado, possivelmente esta predação está ocorrendo também no PEMSF, pois, o primata é uma das espécies mais abundantes na área (Rezende 2007, dados não publicados). Predação por macacos-prego também foi constatado em diferentes fragmentos de Floresta Atlântica na região sudeste do Brasil

(Portela et al. 2010a; Portela et al. 2010b). Segundo estes autores, os efeitos da predação por macaco-prego têm o mesmo impacto na mortalidade dos indivíduos de *E. edulis* do que a exploração do palmito feita antropicamente. Além disso, os autores observaram que a predação dos indivíduos menores oferecem melhor custo/benefício do que a predação dos adultos, em razão da maior proporção de indivíduos menores.

Marcos e Matos (2003) compararam a estrutura de população de *E. edulis* em áreas com diferentes graus de impactação e observaram ausência de indivíduos nas classes de maior tamanho nas áreas em que ocorreram queimadas e (ou) corte seletivo, porém havia a presença de indivíduos menores nessas áreas degradadas, mostrando indícios de regeneração dessa espécie nos respectivos locais, resultado semelhante ao que está ocorrendo no PEMSF.

Denslow (1987) afirmou que há variação de histórias de vida entre espécies arbóreas em florestas tropicais e alguns estudos utilizando estruturas de tamanho de populações arbóreas têm revelado a existência de grupos funcionais com histórias de vida semelhantes, coexistindo em um mesmo habitat (King 1990; Poorter et al. 2006, 2008).

Na escala estudada, com exceção das populações de *E. edulis* no PEMG e *H. balansae* no PEMSF, todas as populações apresentaram distribuição espacial aleatória. A distribuição espacial aleatória de *C. gonocarpum* também foi observada no mesmo fragmento (Bianchini et al. 2003), e em outros fragmentos da região (Bianchini et al. 2010). Bianchini et al. (2010) sugeriram que a espécie possa ser generalista quanto a microsítios para se estabelecer na floresta.

O padrão agregado para a população de *H. balansae* no PEMSF pode ser explicado pela ocorrência de três indivíduos maiores que 10 m de altura, sendo dois ocorrendo numa mesma parcela e outro a aproximadamente 20 m de distância,

explicando a formação de manchas de agregação. Isto pode ter aumentado a disponibilidade de microsítios favoráveis próximos à planta mãe, similar ao observado em *Copaifera langsdorffii* Desf. em uma mata de galeria no sudeste do Brasil (Resende et al. 2003).

Pavanelli et al. (2011) encontraram distribuição agregada com manchas de até 8 m para uma área plana deste mesmo fragmento para a espécie *A. graveolens*, em uma amostragem de 0,5 ha (50 m x 100 m), reforçando a ideia sobre o cuidado com a escala a ser utilizada para o estudo da distribuição espacial de populações arbóreas (Henriques e Souza 1989; Lieberman e Lieberman 1994; Fonseca et al. 2004; Begon et al. 2007). A questão da escala utilizada também pode explicar a diferença de padrão encontrado para *G. integrifolia*. Bianchini et al. (2010) registraram manchas de agregação de 10-30 m associado principalmente com área plana, enquanto que no PEMSf e no PEMG apresentou padrão espacial aleatório. No PEMG era esperado o padrão aleatório devido ao maior índice de cobertura vegetal, limitando o recrutamento de novos indivíduos.

A distribuição espacial aleatória da população de *E. edulis* no PEMSf diferiu da população do PEMG que foi agregada com manchas de até 18 m, possivelmente causado principalmente pelo corte seletivo de indivíduos adultos, limitando a dispersão de sementes, conseqüentemente, alterando o padrão espacial da espécie no PEMSf. A maior cobertura do dossel favoreceu a germinação e estabelecimento de indivíduos dessa espécie no PEMG, resultado semelhante ao encontrado por Marcos e Matos (2003) numa área conservada de floresta Atlântica no sudeste do Brasil.

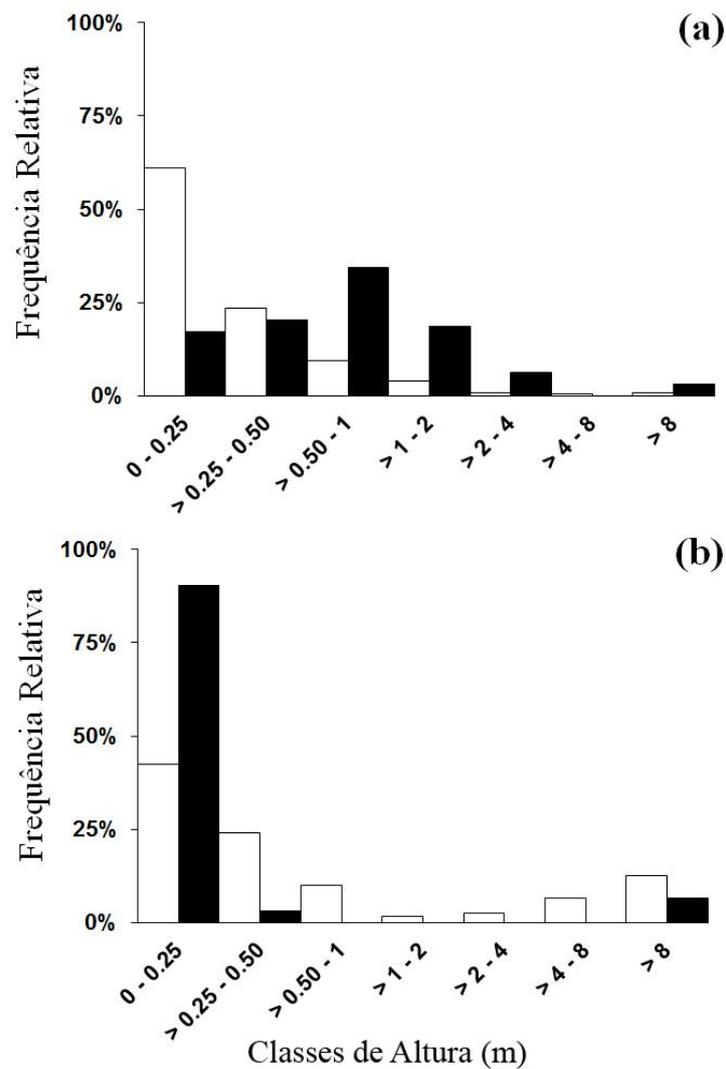
A maior quantidade de indivíduos de espécies intolerantes à sombra, como o observado no PEMSf, é característico de habitats com histórico de exploração, em detrimento de um maior número de indivíduos tolerantes à sombra na área com maior histórico de conservação (Alves e Metzger 2006; Poorter et al. 2008). A regeneração de

espécies tolerantes à sombra no PEMSF é confirmada pela presença de indivíduos nas primeiras classes de tamanho e pelos indivíduos reprodutivos. No PEMG, também se observa a regeneração de espécies intolerantes à sombra, evidenciando a importância da heterogeneidade espacial na distribuição de luz mantida pela dinâmica natural de clareiras, causadas, por exemplo, pela quebra de galhos e morte dos indivíduos de grande porte, o que aumenta a riqueza de espécies no interior da floresta (Alves e Metzger 2006). Segundo Whitmore (1991), um grande número de indivíduos nas menores classes de altura, para ambos os grupos funcionais (algo observado no PEMSF) sob o dossel constitui uma estratégia de regeneração após ocorrência de perturbações ocorridas no local.

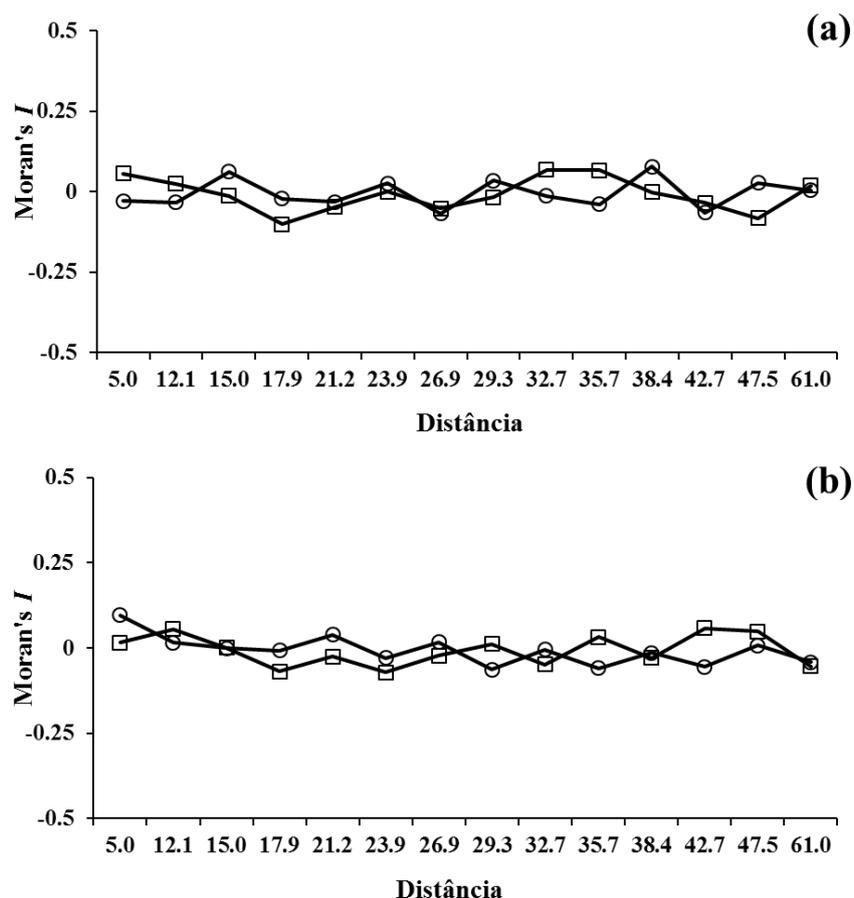
A regeneração das espécies de estudo, no PEMSF, está ocorrendo após um período de perturbação ocorrido no passado, e isso explica a diferença na estrutura de altura das populações avaliadas e no padrão espacial de *E.edulis*. Uma das principais consequências da retirada de árvores de interesse econômico, além do palmitreiro, foi uma diminuição da cobertura vegetal e consequente abertura de clareiras, permitindo maior recrutamento de espécies intolerantes à sombra, quando comparado às espécies tolerantes. Mesmo assim está ocorrendo o recrutamento de espécies tolerantes à sombra, permitindo a coexistência desses grupos funcionais no PEMSF. Com o fim da exploração antrópica, novos indivíduos serão recrutados para o dossel, diminuindo a luminosidade e as grandes clareiras, o que pode favorecer as espécies tolerantes à sombra e diminuir o número de microsítios favoráveis à regeneração de espécies intolerantes à sombra, algo semelhante ao que ocorre em uma floresta conservada, como o PEMG.

**Tabela 1** Comparações das estruturas de altura das populações de seis espécies em dois remanescentes florestais, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (D) e números de indivíduos (n) encontrados em cada área amostral. PEMSf - Parque Estadual Mata São Francisco, Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil; PEMG – Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil.

		Altura		PEMSf	PEMG
		D	P	n	
<b>Intolerantes à sombra</b>				518	98
PEMSf X PEMG	<i>Astronium graveolens</i>	0,470	< 0,0001	387	64
PEMSf X PEMG	<i>Croton floribundus</i>	-	-	12	3
PEMSf X PEMG	<i>Gallesia integrifolia</i>	0,595	< 0,0001	119	31
<b>Tolerantes à sombra</b>				994	3205
PEMSf X PEMG	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	0,379	< 0,0001	159	414
PEMSf X PEMG	<i>Euterpe edulis</i>	0,119	< 0,0001	735	2081
PEMSf X PEMG	<i>Holocalyx balansae</i>	0,402	< 0,0001	100	710



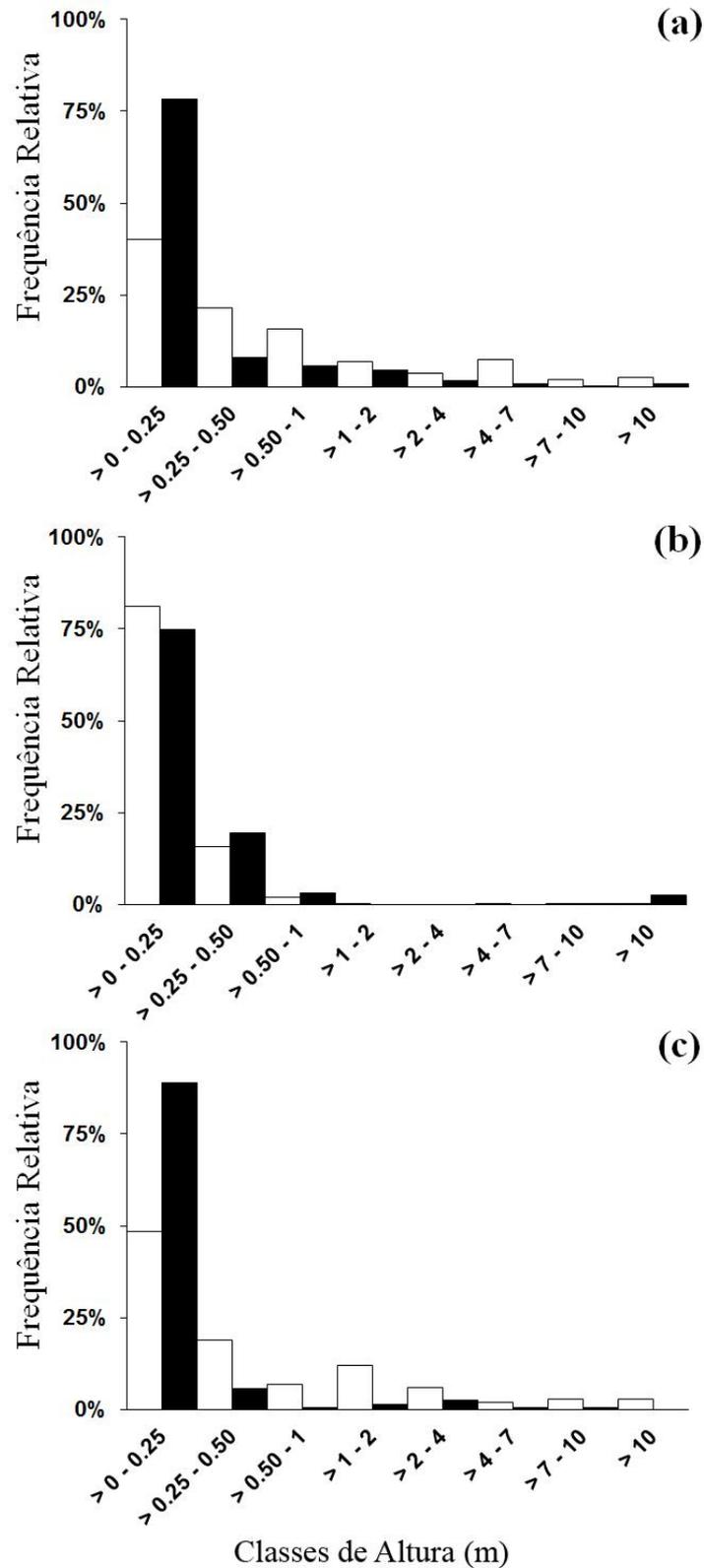
**Fig. 1** Frequência relativa de indivíduos por classes de altura das espécies intolerantes à sombra, *Astronium graveolens* (a) e *Galesia integrifolia* (b), no Parque Estadual Mata São Francisco (barras claras), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (barras escuras), Londrina, PR, Brasil.



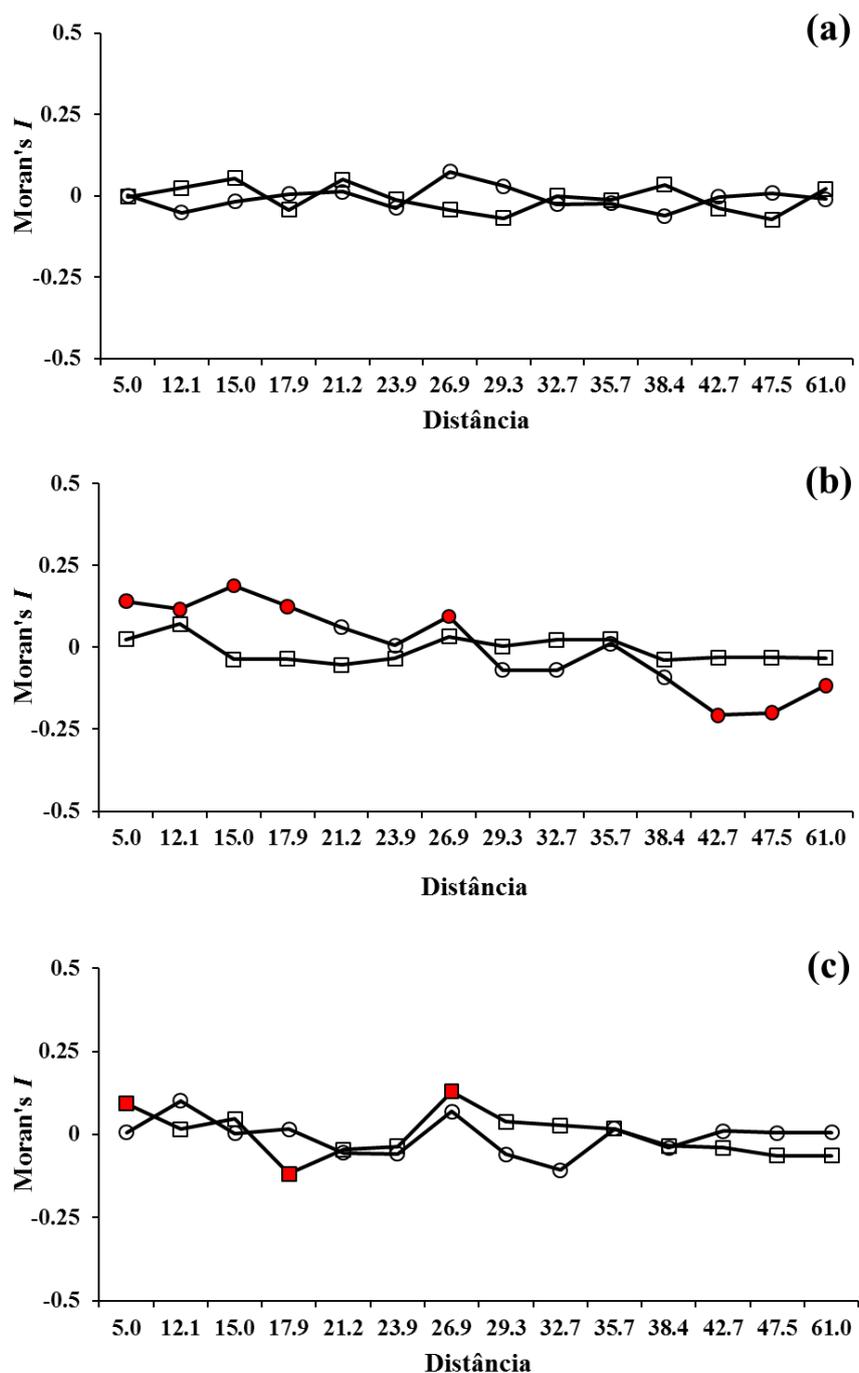
**Fig. 2** Correlogramas espaciais de *Astronium graveolens* (a) e *Galesia integrifolia* (b) no Parque Estadual Mata São Francisco (quadrados), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil, e Parque Estadual Mata dos Godoy (círculos), Londrina, PR, Brasil. Os correlogramas não foram globalmente significativos.

**Tabela 2** Teste parcial de Mantel (r) para distribuição espacial e índice de cobertura vegetal no Parque Estadual Mata São Francisco (PEMSF), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, PR, Brasil.

Espécies	PEMSF		PEMG	
	r	p	r	p
<i>Astronium graveolens</i>	-0,03	>0,772	0,02	>0,849
<i>Galesia integrifolia</i>	-0,06	>0,546	-0,03	>0,836
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	0,14	>0,166	-0,14	>0,199
<i>Euterpe edulis</i>	-0,01	>0,948	0,41	<0,025
<i>Holocalyx balansae</i>	0,12	>0,282	0,02	>0,851



**Fig. 3** Frequência relativa de indivíduos por classes de altura das espécies tolerantes à sombra, *Chrysophyllum gonocarpum* (a), *Euterpe edulis* (b) e *Holocalyx balansae* (c) no Parque Estadual Mata São Francisco (barras claras), Santa Mariana- Cornélio Procópio, PR, Brasil e no Parque Estadual Mata dos Godoy (barras escuras), Londrina, PR, Brasil.



**Fig. 4** Correlogramas espaciais das espécies tolerantes à sombra, *Chrysophyllum gonocarpum* (a), *Euterpe edulis* (b) e *Holocalyx balansae* (c) no Parque Estadual Mata São Francisco (quadrados), Santa Mariana-Cornélio Procópio, PR, Brasil, e Parque Estadual Mata dos Godoy (círculos), Londrina, PR, Brasil. Símbolos do correlograma preenchidos em vermelho indicam valores de  $I$  de Moran significativos ao nível de  $\alpha = 5\%$ .

## Referências

- Agren J, Zackrisson O (1990) Age and size structure of *Pinus sylvestris* populations on mires in central and northern Sweden. *J Ecol* 78: 1049-1062
- Andrade PM, Santos FAM, Martins FR (2007) Size structure and fertility in an *Eriocnema fulva* Naudin (Melastomataceae) population in Southeastern Brazil. *Braz J Biol* 67: 685-693
- Alves LF, Metzger, JP (2006) A regeneração florestal em áreas de floresta secundária na Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biot Neo*, 6: 1-26
- Begon M, Townsend C, Harper JL (2007) *Ecology from individuals to ecosystems*, 4th edn. Artimed, Porto Alegre.
- Bianchini E, Popolo RS, Dias MC, Pimenta JA (2003) Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. *Acta Bot Bras* 17: 405–419
- Bianchini E, Garcia CC, Pimenta JA, Torezan JMD (2010) Slope variation and population structure of trees species from different ecological groups in South Brazil. *An Acad Bras Cienc* 82: 643-652
- Brower JE, Zar JH (1984) *Field and laboratory methods for general ecology*, 2nd edn. Wm Brown Publ, Dubuque.
- Bruna EM, Kress WJ (2002) Habitat fragmentation and the demographic structure of an Amazonian understory herb (*Heliconia acuminata*). *Conserv Biol* 16: 1256-1266
- Burton JI, Zenner EK, Frelich LE, 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
- Clark JS, Beckage B, Camill P, Cleveland B, HilleRisLambers J, Lichter J, Maclachlan J, Mohan J, Wyckoff P (1999) Interpreting recruitment limitation in forests. *Am J Bot* 86: 1-16
- Denslow JS (1987) Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *An R Ecol Syst* 18: 431–451
- Dent DH, Wright SJ (2009) The future of tropical species in secondary forests: a quantitative review. *Biol Conserv* 142: 2833-2843
- Dias MC, Vieira AOS, Paiva MRC (2002) Florística e fitossociologia das espécies arbóreas das florestas da bacia do rio Tibagi. In: Medri ME, Bianchini E, Shibatta OA, Pimenta JA (eds). *A Bacia do Rio Tibagi*. UEL, Londrina, pp 109-124.
- Diniz-Filho JAF, Bini LM, Hawkins BA (2003) Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecol Bioge* 12: 53-64

- Dixo M, Metzger JP, Morgante JS, Zamudio KR (2009) Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. *Biol Conserv* 142: 1560–1569
- Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro.
- Fonseca MG, Martini AMZ, Santos FAM (2004) Spatial structure of *Aspidosperma polyneuron* in two semideciduous forests in Southeast Brazil. *J Veg Sci* 15:41–48
- Getzin S, Wiegand T, Wiegand K, He F (2008) Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *J Ecol* 96: 807-820
- Guariguata MR, Ostertag R (2001) Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For Ecol Manage* 148: 185-206
- Henriques RPB, Souza ECEG (1989) Population structure, dispersion and microhabitat regeneration of *Carapa guianensis* in northeastern Brazil. *Biotropica* 21: 204-209
- Hutchings MJ (1997) The structure of plant population. In: Crawley MJ (ed) *Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publish, Oxford, pp 97-136.
- IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná (2000) Cartas Climáticas do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.iapar.br>>. Acesso: 01/ 09/ 2008
- Kelly CK, Smith HB, Buckley YM, Carter R, Franco M, Johnson W, Jones T, May B, Ishiwara RP, Perez-Jimenez A, Magallanes AS, Steers H, Waterman C (2001) Investigations in commonness and rarity: a comparative analysis of co-occurring, congeneric Mexican trees. *Ecol Lett* 4: 618-627
- Kellman M, Tackaberry R, Rigg L (1998) Structure and function in two tropical gallery forest communities: implications for forest connection in fragmented systems. *J Appl Ecol* 35: 195–206
- King DA (1990) Allometry of saplings and understorey trees of a Panamanian forest. *Func Ecol* 4: 27-32
- Knowles P, Grant M (1983) Age size structure analyses of Engelman spruce, ponderosa pine, lodgepole pine, and limber pine in Colorado. *Ecology* 64:1-9
- Legendre P, Fortin MJ (1989) Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio* 80: 107-138
- Liebsch D, Marques MCM, 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
- Lemmon PE (1956) A spherical densiometer for estimating forest overstorey density. *For Scie* 2: 341-320

- Lieberman M, Lieberman D (1994) Patterns of density and dispersion of forest trees. In: Mcdade LA, Bawa KS, Hespdenheide HA, Hartshorn GS (eds) *La Selva - ecology and natural history of a neotropical rain forest*. University of Chicago Press Publ, Chicago, pp 90-105
- Lorenzi H (2002) *Árvores brasileiras*. 5th edn. Plantarum, Nova Odessa.
- Marcos CS, Matos DMS (2003) Estrutura de populações de palmitreiro (*Euterpe edulis* Mart.) em áreas com diferentes graus de impactação na Floresta da Tijuca, RJ. *Flore Amb* 10: 27-37
- Metzger JP (2009) Conservation issues in the Brazilian Atlantic forest. *Biol Conserv* 142: 1138-1140
- Myers N, Mittermeier R, Mittermeier C, Fonseca G, Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858
- Mclaren KP, Mcdonald MA, Hall JB, 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
- Morellato LPC, 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: 2-16
- Pavanelli AP, Costa JA, Bianchini E, Pimenta JA (2011) Estrutura de tamanho, relações alométricas e distribuição espacial de *Astronium graveolens* Jacq. (Anacardiaceae) em áreas topograficamente distintas de fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil. *Pesq Bot* (In Press)
- Portela RCQ, Bruna EM, Santos FAM (2010a) Are protected areas really protecting populations? A test with an Atlantic rain forest palm. *Trop Conserv Sci* 4: 361-372
- Portela RCQ, Bruna EM, Santos FAM (2010b) Demography of palm species in Brazil's Atlantic forest: a comparison of harvested and unharvested species using matrix models. *Biodivers Conserv* 19: 2389-2403
- Poorter L, Bongers LE, Bongers F (2006) Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301
- Poorter L, Hawthorne W, Bongers F, Sheil D (2008) Maximum size distributions in tropical forest communities: relationships with rainfall and disturbance. *J Ecol* 96: 495-504
- Primack R, Rodrigues E (2001) *Biologia da Conservação*, 2nd edn. Planta, Londrina.
- Raich JW, Khoon GW (1990) Effects of canopy openings on tree seed germination in Malaysian dipterocarp forest. *J Trop Ecol* 6: 203- 217

- Ramírez-Marcial N (2003) Survival and growth of tree seedlings in anthropogenically disturbed Mexican montane rain forests. *J Veg Sci* 14: 881-890
- Resende JCF, Klink CA, Schiavini I (2003) Spacial heterogeneity and its influence on *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpiniaceae). *Braz Arch Biol Technol* 46: 405-414
- Ribeiro MC, Metzger JP, Martensen AC, Ponzoni FJ, 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*. AZ, Arizona.
- Saldarriaga JG, Uhl C (1991) Recovery of forest vegetation following slash-and-burn agriculture in the upper rio Negro, In: Gomez-Pompa A, Whitmore TC, Hadley M (eds) *Tropical rain forest: regeneration and management*. Blackwell Scientific Publ, New York, pp 303-312.
- Saunders DA, Hobbs RJ, Margolis CR (1991) Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conserv Biol* 7: 18-32
- Silva MR, Araújo GM (2009) Dinâmica da comunidade arbórea de uma floresta semidecidual em Uberlândia, MG, Brasil. *Acta Bot. Bras* 23: 283-297
- Silveira MA (2006) A vegetação do Parque Estadual Mata dos Godoy. In: Torezan JMD (Org) *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina, pp 19-27.
- Smouse PE, Long JC, Sokal RR (1986) Multiple regression and correlation extensions of the Mantel test of matrix correspondence. *Syst Zool* 35: 627-632
- Soares-Silva LH, 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 Brasileira de Botânica*, Campinas, pp 101-112.
- Swaine MD, Whitmore TC (1988) On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. *Vegetatio* 75: 81-86
- Tabarelli M, Pinto LP, Silva JMC, Hirota MM, Bedê LC (2005) Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *Megadiversidade* 1: 132-138
- Tomé MV, Miglioranza E, Vilhena AH, Fonseca EP (1999) Composição florística e fitossociológica do Parque Estadual Mata São Francisco. *Rev Inst Flore* 11: 13-23
- 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

Whitmore TC (1991) Tropical rain forest dynamics and its implications for management. In: Gómez-Pompa A, Whitmore TC, Hadley M (eds) Rain forest regeneration and management. UNESCO & Parthenon Publ, Paris, pp 67-89.

Wright SJ, Muller-Landau HC, Condit R, Hubbell SP (2003) Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. *Ecology* 84: 3174–3185

Zar JH (1984) *Biostatistical Analysis*, 2nd edn. Prentice Hall Publ, New Jersey.

#### 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de estudar aspectos da ecologia populacional de seis espécies arbóreas, três intolerantes à sombra (*Astronium graveolens* Jacq., *Croton floribundus* Spreng., *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms) e três tolerantes à sombra (*Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl., *Euterpe edulis* Mart., e *Holocalyx balansae* Micheli), em dois fragmentos de floresta estacional semidecidual, com diferentes históricos de preservação e observar se na área que sofreu exploração antrópica, o PEMSF, a regeneração destas espécies está ocorrendo. O mesmo trabalho foi realizado como referência no PEMG, pois tem histórico de conservação conhecido.

O PEMSF apresentou um dossel mais aberto e iluminado que o PEMG, resultante dos distúrbios causados pela exploração antrópica, como a extração madeireira e o corte do palmitreiro (*E. edulis*).

A análise das relações alométricas, indicou que os indivíduos do PEMSF de ambos os grupos funcionais, tiveram o mesmo padrão de crescimento, com maior investimento em diâmetro em relação à altura. No PEMG, foi observado um padrão contrário, houve maior investimento em altura em relação ao diâmetro. Variação provavelmente relacionada à diferença de luminosidade entre as áreas. No PEMSF, devido a menor competição por luz, os indivíduos que permaneceram no ambiente foram os que tiveram uma melhor relação diâmetro-altura que permitiu um crescimento sem comprometimento da estabilidade mecânica. A maior competição por luz, no PEMG favorece os indivíduos que fazem uso eficiente da biomassa para crescer em altura e alcançar o ambiente mais iluminado do estrato superior da floresta. Essa diferença demonstrou que os impactos sofridos pela exploração antrópica alteraram o padrão de investimento dos indivíduos, que tiveram estratégias de crescimento

diferentes em resposta às diferentes condições ambientais. No PEMSF, à medida que houver um aumento do índice de cobertura, diminuindo a luminosidade, sugere-se que a pressão de seleção será semelhante à que ocorre no PEMG, favorecendo os indivíduos que alocam maior biomassa para o crescimento em altura.

Foram encontradas diferenças nas estruturas de altura, indicando que a exploração antrópica também interferiu na estrutura de tamanho das populações no PEMSF. Uma dessas diferenças foi o baixo número de indivíduos nas maiores classes de altura da espécie *E. edulis*, devido ao corte seletivo, com apenas dois indivíduos acima dos 10 m no PEMSF contra 55 no PEMG. No PEMSF observou-se maior número de indivíduos intolerantes à sombra em relação ao PEMG, que apresentou maior número de indivíduos tolerantes à sombra, sugerindo que as mudanças nas condições ambientais, como o aumento da luminosidade, favoreceu o estabelecimento das espécies intolerantes à sombra. Apesar dos distúrbios ocorridos, ainda há coexistência dos grupos funcionais, e os resultados desse trabalho indicam que esta ocorrendo regeneração no PEMSF. Com o fim da exploração de madeira, os indivíduos serão recrutados para o dossel, diminuindo a luminosidade e as grandes clareiras, favorecendo as espécies tolerantes à sombra, diminuindo o número de microsítios favoráveis à regeneração de espécies intolerantes à sombra, algo semelhante ao observado em florestas conservadas.

Analisando a estrutura espacial das populações na escala utilizada, foi observado que quase todas as populações tiveram padrão espacial aleatório. Para algumas espécies, como o *C. gonocarpum* o resultado era esperado, pois trabalhos recentes sugerem que esta é uma espécie generalista quanto à microsítios para o estabelecimento na floresta. Devido ao corte seletivo no PEMSF, *E. edulis* apresentou aleatoriedade na sua distribuição, contrário ao ocorrido no PEMG que apresentou manchas de agregação dos indivíduos. Espécies como *G. integrifolia* e *A. graveolens*,

que tiveram padrão aleatório, foi observado em trabalhos em um fragmento próximo às áreas de estudo e no PEMG respectivamente, agregação na distribuição dos indivíduos, porém em uma escala maior de estudo (um e 0,5 ha respectivamente). Isso reforça a ideia sobre o cuidado com a escala da área de estudo a ser utilizada para o estudo da distribuição espacial.

Para uma melhor compreensão sobre o processo de regeneração florestal, será necessário uma continuidade nos estudos, com intuito de ter resultados em longo prazo, acompanhando as variações físicas e ecológicas das populações arbóreas. Porém, as informações contidas neste estudo sobre aspectos populacionais (relações alométricas, estruturas de altura e espacial) foram suficientes para demonstrar algumas das diferenças causadas pela exploração de madeira em florestas tropicais e sugerir que o processo de regeneração para as espécies de estudo está ocorrendo no PEMSF, após um longo período de exploração.

## 5 - ANEXO

### Indicações para a preparação de manuscritos

#### Aims and Scope

*Ecological Research* has been published in English by the Ecological Society of Japan since 1986. *Ecological Research* publishes original research papers, reviews, technical reports, notes and comments, and data papers covering all aspects of ecology and ecological sciences.

#### Review process

The acceptance criteria for all papers are quality and originality of research and its significance to our readership. Final acceptance or rejection rests with the Editorial Board. Authors are required to suggest a candidate to be the handling editor from the list of Editorial Board members. They should also submit the names and e-mail addresses of five ecologists who are suitable referees.

Manuscripts that are returned to the authors for revision should be submitted to the editorial office within 2 months; otherwise the manuscript will be regarded as a new submission. Authors should retain backup copies of submitted manuscripts and correspondence.

#### Submission of manuscripts

All articles submitted to the journal must comply with these instructions. Failure to do so will result in the return of the manuscript and a possible delay in publication.

Manuscripts should be written so that they are intelligible to the professional reader who is not a specialist in the particular field. All manuscripts are subject to copy editing. Authors must state in a cover letter that the content has not been published or submitted for publication elsewhere in any language, that all authors have contributed significantly, and that all authors are in agreement with the content of the manuscript. When animals are used for experimentation, authors should state at the end of the acknowledgments section that they have complied with ethical standards in the treatment of their animals, adhering to the pertinent national guidelines and to specific national laws where applicable.

- **Online manuscript submission**

Authors must submit their articles to "Ecological Research" online to facilitate quick and efficient processing. Electronic submission substantially reduces the editorial processing and reviewing time and shortens overall publication time.

Please log directly onto the link below and upload your manuscript following the instructions given on screen. In case you encounter any difficulties while submitting your manuscript online, click on Help in the upper left corner.

### **Data Papers**

The aim of data papers is to contribute significantly to the development of ecology by electronically archiving excellent research data and accompanying metadata of any ecological process. Only the abstract and keywords are published in Ecological Research, and the data and metadata are available on a separate web site (or JaLTER database.). To prepare data and metadata, please refer to the guidelines for data papers.

### **Preparation of the Manuscript**

Manuscripts should be typed in double-line spacing throughout with at least 3-cm margins. All pages should be numbered consecutively at the bottom, beginning with the title page. To facilitate the review process, please use line numbers on each page, if the word processing software has that function.

- **Style**

SI units should be used throughout except where non-SI units are more common. Abbreviations should be defined at first mention in the abstract and again in the main body of the text and used consistently thereafter. Upon its first use in the title, abstract, and text, the common name of a species or an infraspecific taxon should be followed by the scientific name (Genus, species, and subspecies and/or variety) in parentheses. However, for well-known species, the scientific name may be omitted from the article title. If no common name exists in English, only the scientific name should be used. Genus, species, and infraspecific names should be in italics. At the first mention of a chemical substance, give the generic name.

- **Formulae**

Standard mathematical notation should be used. Single letters that denote mathematical constants, variables, and unknown quantities should be set in italic type in text and in equations. Simple equations can be written as normal text. Use the solidus (/) instead of a horizontal line, e.g.  $Xp/Ym$ . Powers of  $e$  are often more conveniently denoted by  $\exp$ . Equations appear on separate lines are numbered consecutively.

- **Parts of the manuscript**

Manuscripts should be presented in the following order: (i) title page, (ii) abstract and keywords, (iii) text, (iv) acknowledgments, (v) references, (vi) figure legends, (vii) tables (each table complete with title and footnotes), and (viii) figures. Footnotes to the text are not allowed; any such material should be incorporated into the text as parenthetical matter.

- **Title page**

The title page should contain:

- A concise and informative title.
- The name(s) of the author(s).
- The affiliation(s) and address(es) of the author(s).
- The e-mail address, telephone, and fax numbers of the communicating author.

The present address of any author, if different from that where the work was carried out, should be supplied in a footnote.

- **Abstract and key words**

Each paper must be preceded by an abstract presenting the purpose of the research, the most important results, and conclusions in no more than 250 words for original and review papers, 100 words for technical reports, notes and comments, and 350 words for data papers. The abstract should not contain references. Five key words should be supplied after the Abstract for indexing purposes. For data papers, 10 key words should be supplied.

- Text

Authors should use subheadings to divide the sections of their manuscript, if appropriate: Introduction, Methods, Results, Discussion, Acknowledgments, References.

- Acknowledgments

These should be as brief as possible. Any grant that requires acknowledgement should be mentioned. The names of funding organizations should be written in full.

- Funding

Authors are expected to disclose any commercial or other associations that might pose a conflict of interest in connection with submitted material. All funding sources supporting the work and institutional or corporate affiliations of the authors should be acknowledged.

## References

Literature citations in the text should indicate the author's surname with the year of publication in parentheses, e.g. Carlin (1992); Brooks and Carlin (1992). If there are more than two authors, only the first should be named, followed by "et al." References at the end of the paper should be listed in alphabetical order by the first author's name. If there is more than one work by the same author or team of authors in the same year, a, b, etc. is added to the year, both in the text and in the list of references. Cite the names of all authors. Journal titles should be abbreviated in accordance with international practice.

Examples:

- **Journal papers:**

Nansen C, Phillips TW, Palmer MW (2004) Analysis of the insect community in a stored-maize facility. *Ecol Res* 19:197–207

If available, the Digital Object Identifier (DOI) can be added at the end of the reference in question.

Kimura MT (2004) Cold and heat tolerance of drosophilid flies with reference to their latitudinal distributions. *Oecologia* 140:442–449. DOI 10.1007/s00442-004-1605-4

A paper published online but not yet in print can be cited using the DOI:

Abrams PA, Matsuda H (2004) Consequences of behavioral dynamics for the population dynamics of predator-prey systems with switching. *Popul Ecol.* DOI 10.1007/s10144-003-0168-2

- **Single contributions in a book:**

Endler JA (1991) Interactions between predators and prey. In: Krebs JR, Davies NB (eds) *Behavioural ecology*. Blackwell Science, Oxford, pp 169–196

- **Books:**

Körner C (2003) *Alpine plant life*, 2nd edn. Springer, Berlin Heidelberg New York.

Personal communications, unpublished data, and publications from informal meetings are not to be listed in the reference list but should be listed in the text (e.g. Smith A 2000, unpublished data).

Responsibility for the accuracy of bibliographic data rests entirely with the author.

For EndNote users: please use style for Archives of Microbiology or download the style file.

- **Appendices**

These should be placed at the end of the paper and referred to in the text. If there is more than one appendix, they should be numbered in Arabic numerals. If written by a person other than the author of the main text, the writer's name should be included below the title.

### **Tables and Figures**

All tables and figures (photographs, graphs, or diagrams) should be cited in the text, and each numbered consecutively with Arabic numerals.

Tables should be self-contained and complement, but not duplicate, information contained in the text. They should be typed on a separate page and should have a title and a legend explaining any abbreviation used in that table. Vertical lines should not be used to separate columns. Column headings should be brief, with units of measurement in parentheses. Footnotes to tables should be indicated by superscript lowercase letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Statistical measures such as SD or SEM should be identified in the headings. The table, its legend, and its footnotes should be understandable without reference to the text.

Figure parts should be identified by lowercase roman letters (a, b, etc.). If illustrations are supplied with uppercase labeling, lowercase letters will still be used in the figure legends and citations. The figures should either match the width of the column (8.6 cm) or be 13.1 cm or 17.6 cm wide. The maximum length is 23.4 cm.

The publisher reserves the right to reduce or enlarge illustrations.

Inscriptions should be legible, with initial capital letters and appropriately scaled to the size of the drawing. Magnification should be indicated by scale bars.

Plates. Several figures or figure parts should be grouped in a plate on one page.

Figure legends must be brief, self-sufficient explanations of the illustrations. The legends should be placed at the end of the text.

Color figures will always be published in color in the online version. In print, however, they will appear in color only if the author agrees to make a contribution (JPY 152 000 per article) to printing costs. Otherwise the figures will be printed in black and white. Please note that, in such cases, it is authors' responsibility to prepare figures to be illustrative enough to convey the necessary information even after they are converted into black and white.

### **Files for Production**

The preferred figure formats are EPS for vector graphics exported from a drawing program and TIFF for halftone illustrations. EPS files must always contain a preview of the figure in TIFF format.

The file name (one file for each figure) should include the figure number. Figure legends should be included in the text and not in the figure file.

To create an EPS or a TIFF file, please use graphic programs such as Adobe Illustrator, Adobe Photoshop, Macromedia Freehand, Corel Draw or Corel Photopaint.

Note: Almost all common graphic programs are capable of saving files in EPS and in TIFF format. This option can normally be found under the “Save As...” or “Export...” commands in the “File” menu.

- Scan resolution

Scanned line drawings should be digitized with a minimum resolution of 800 dpi relative to the final figure size. For digital halftones, 300 dpi is usually sufficient.

- Color illustrations

Store color illustrations as RGB (8 bits per channel) in TIFF format.

- Vector graphics

Fonts used in vector graphics must be included or outlined. Please do not use hairlines. The minimum line width is 0.2 mm (i.e., 0.567 pt) relative to the final size.