



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

THAÍS MAZZAFERA HADDAD

**ARQUITETURA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES  
ESTRATOS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL DO SUL DO BRASIL**

---

Londrina  
2014

THAÍS MAZZAFERA HADDAD

**ARQUITETURA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE DIFERENTES  
ESTRATOS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL  
SEMIDECIDUAL DO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Biodiversidade e Conservação de Habitats Fragmentados da Universidade Estadual de Londrina (UEL) para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Pimenta

Londrina  
2014

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

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

H126a Haddad, Thaís Mazzafera.

Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil / Thaís Mazzafera Haddad. – Londrina, 2014.  
69 f. : il.

Orientador: José Antonio Pimenta.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2014.

Inclui bibliografia.

1. Plantas – Alometria – Teses. 2. Plantas – Ontogenia – Teses. 3. Plantas – Efeito da luz – Teses. 4. Habitat (Ecologia) – Teses. 5. Ecologia florestal – Teses. I. Pimenta, José Antonio. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 581.5

CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS

DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Discente: **Thais Mazzafera Haddad**

Título: "Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma floresta estacional semidecidual do sul do Brasil".

Data da Defesa: 23 de julho de 2014 – 14:00 hs, na sala de aula da Pós-Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas, desta Universidade.

Banca Examinadora

Parecer

Presidente:

Dr. José Antonio Pimenta

APROVADO

Titulares:

Dr. Rafael Carvalho da Costa

APROVADO

Dr. Edmilson Bianchini

APROVADO

Parecer Final APROVADO

  
Dr. José Antonio Pimenta

  
Dr. Rafael Carvalho da Costa

  
Dr. Edmilson Bianchini

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da UEL e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos,

Ao Prof. Dr. Edmilson Bianchini pela disposição em ajudar e co-orientação,

Ao Prof. Dr. Rafael Carvalho da Costa pelas importantes sugestões feitas na banca de defesa,

À minha família por acreditarem em mim e na minha capacidade, pelo apoio e pelo amor que me mantiveram firmes em todos os momentos da minha vida. Vocês são minha inspiração,

Ao professor Dr. José Antonio Pimenta pela maravilhosa orientação durante todo o mestrado. Sua orientação com certeza não só me fez crescer como pesquisadora, mas também como pessoa. Além de um orientador muito competente eu ganhei um amigo, que vou levar para toda a vida,

À Mariana Fernandes Hertel pela ajuda em campo, sem a qual este trabalho não teria sido realizado, pela ótima companhia durante e fora do campo, que com certeza deixaram a realização desse trabalho mais agradável e divertida, pelos conselhos acadêmicos que foram muito importantes para a concretização deste trabalho e por ser uma das minhas melhores amigas,

Ao técnico de campo Edson Mendes Francisco por nos ajudar na identificação das espécies e pelos ensinamentos em campo,

Ao Victor Pacheco Cecheti, à Bianca Scorpioni Mettifogo e à Cinthia Monthibeller por comporem a minha segunda família e me acalmarem nos momentos de dificuldade. À Cinthia pelos conselhos acadêmicos que auxiliaram na melhora deste trabalho e pelas horas de conversas e novas ideias,

Aos meus amigos de graduação e mestrado pela amizade sincera e divertida que fizeram de Londrina minha segunda casa,

Muito obrigada.

HADDAD, Thaís Mazzafera. **Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

## RESUMO

A arquitetura das plantas pode ser estudada por relações alométricas e tem grande importância ecológica por auxiliar no entendimento da dinâmica e ecologia das florestas e evolução das plantas. Este estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (Parque Estadual Mata dos Godoy), localizado em Londrina, no norte do Paraná, Brasil e foram formuladas as seguintes hipóteses: espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta na maturidade tendem a apresentar relações alométricas diferentes no decorrer do seu desenvolvimento, relacionadas à maximização da captação de luz pelas espécies de subosque e maior incremento em altura pelas espécies de dossel e emergente para atingir mais rapidamente ambientes com maior luminosidade e seu tamanho reprodutivo; espécies pertencentes a um mesmo estrato, p. ex. subosque, podem apresentar diferença em sua arquitetura possibilitando a coexistência de várias espécies em um único estrato florestal; embora a disponibilidade de luz para os indivíduos pertencentes às espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta seja semelhante dentro de cada classe de altura, a interceptação de luz entre esses indivíduos difere dependendo do estrato ao qual a espécie pertence. Foram estudadas duas espécies de subosque (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg. e *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C.Burger, Lanj. & de Boer), uma de dossel (*Holocalyx balansae* Micheli) e uma emergente (*Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg.). A partir de 50 cm de altura, indivíduos encontrados em três trilhas pré-estabelecidas na área tiveram as seguintes variáveis arquitetônicas avaliadas: altura total, diâmetro a altura do solo, diâmetro a altura do peito, profundidade da copa e área horizontal e vertical da copa. Para cada indivíduo foi estimado o índice de iluminação da copa e o índice de interceptação da copa em duas estações. Os indivíduos encontrados foram divididos em sete classes de altura e foram amostrados aproximadamente 30 indivíduos por espécie em cada classe. As relações alométricas, as variáveis arquitetônicas, o índice de iluminação e o índice de interceptação da copa foram comparados entre os indivíduos das quatro espécies em cada classe de altura. O índice de iluminação e o índice de interceptação foram comparados nas duas estações separadamente. Os indivíduos das espécies de subosque apresentaram maiores incrementos em copa quando comparados com os das espécies de dossel e emergente, o que possibilita maior exploração da luminosidade por esses indivíduos que completarão seu ciclo de vida no subosque. Apresentaram também, maiores incrementos em diâmetro do caule, quando comparados com os indivíduos de *H. balansae*. Embora tenha havido convergência na arquitetura dos indivíduos das espécies de subosque foi constatado diferença em algumas das relações alométricas e variáveis arquitetônicas entre *A. concolor* e *S. bonplandii*. O índice de iluminação da copa não diferiu entre as espécies nas diferentes classes de altura, no entanto o índice de interceptação dos indivíduos das espécies de subosque foi maior que o das espécies de dossel e emergente, nas duas estações. Os resultados indicaram que as diferenças arquitetônicas entre os indivíduos das espécies estudadas se deram, principalmente, pelo fato de elas pertencerem aos diferentes estratos da floresta.

**Palavras-chave:** Alometria. Dossel. Emergente. Índice de iluminação da copa. Índice de interceptação da copa. Ontogenia. Subosque.

HADDAD, Thaís Mazzafera. **Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

## ABSTRACT

The architecture of the plants can be studied by allometric relationships and has great ecological importance for helping to understand the dynamics and ecology of forests and plant evolution. This study was conducted in a Semideciduous Forest fragment at Mata dos Godoy State Park located in Londrina, northern Paraná, Brazil and the following hypotheses were addressed: species occupying different strata of the forest at maturity tend to have different allometric relationships during its development, related to the maximization of light capture by understory species and greatest height gain to reach quickly environments with more light availability and their reproductive size by the canopy and emergent species; species belonging to the same forest stratum, e.g. understory species, may exhibit differences in their architecture enabling the coexistence of multiple species in a single forest stratum; although light availability for individuals belonging to species that occupy different strata of the forest is similar within each height class, the light interception between these individuals differs depending on stratum to which the species belongs. Two understory (*Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg. and *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C.Burger, Lanj. & The Boer), a canopy (*Holocalyx balansae* Micheli) and an emergent species (*Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg.) were chosen for the study. Individuals from 50 cm height found in three pre-established trails in the fragment had the following architectural traits evaluated: total height, diameter at ground height, diameter at breast height, crown depth, horizontal and vertical crown area. For each individual we estimated the crown illumination index and light interception index in two distinct seasons. The individuals were divided in seven height classes and approximately 30 individuals per species were sampled in each class. Allometric relationships, architectural traits, crown illumination index and light interception index were compared among the four species in each height class. Crown illumination index and light interception index were compared between species in both seasons. Understory species had higher crown investments than the canopy and emergent species, which enables better light exploitation by those individuals who complete their life cycle in the understory. The two understory species also had higher stem diameter investment when compared with individuals of *H. balansae*. Although there has been convergence in the architecture, difference was found in some of the allometric relationships and architectural traits between *A. concolor* and *S. bonplandii*. The crown illumination index did not differ among species, considering the different height classes, however light interception index was higher for understory species comparing with the canopy and emergent species, in both seasons. The results indicated that the architectural differences between the species studied are given mainly by the fact that they belong to different strata of the forest.

**Key words:** Allometry. Canopy. Crown illumination index. Emergent. Light interception index. Ontogeny. Understory.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Região do Parque Estadual Mata dos Godoy (área de mata nativa delimitada em amarelo), Londrina, Paraná, Brasil. Fonte: Google Maps, 2012 ..... 21
- Figura 2 – *Sorocea bonplandii*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel ..... 22
- Figura 3 – *Actinostemon concolor*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel ..... 23
- Figura 4 – *Holocalyx balansae*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel ..... 24
- Figura 5 – *Aspidosperma polyneuron*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel ..... 25

## CAPÍTULO 1

- Figura 1 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm  $\square$ ); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup>  $\square$ ) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup>  $\square$ ); entre indivíduos da classe 1 ( $\geq 0,5$  m e  $\leq 1,5$  m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão ..... 42
- Figura 2 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm  $\square$ ) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm  $\square$ ); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup>  $\square$ ) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup>  $\square$ ) entre indivíduos da classe 2 ( $> 1,5$  m e  $\leq 3,0$  m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão ..... 44

- Figura 3 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm □); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> □) entre indivíduos da classe 3 (>3,0 m e ≤ 6,0 m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão..... 47
- Figura 4 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm □); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> □) entre indivíduos da classe 4 (>6,0 m e ≤ 9,0 m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão..... 49
- Figura 5 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm □); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> □) entre indivíduos da classe 5 (>9,0 m e ≤15,0 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão..... 51
- Figura 6 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm □); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> □) entre indivíduos da classe 6 (>15,0 m e ≤25,0 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta

Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão..... 53

Figura 7 – Comparação das variáveis arquiteturas: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm □); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> □) entre indivíduos da classe 6 (>15,0 m e ≤25 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e da classe 7 (>25 m) de *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão..... 55

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Índice de iluminação da copa modificado de Clark & Clark (1992)..... 38

Tabela 2 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=36) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=30), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=20) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=34) pertencentes a classe 1 ( $\leq 0,5$  m e  $\leq 1,5$  m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação,  $p \leq 0,01$  ..... 43

Tabela 3 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=34) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=27), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=30) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=35) pertencentes a classe 2 ( $< 1,5$  m e  $\leq 3,0$  m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$  ..... 45

Tabela 4 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=32) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=28), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=42) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=37) pertencentes a classe 3 (<3,0 m e ≤6,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação, p<0,05); r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação. p≤0,01 ..... 48

Tabela 5 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=31) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=29), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=29) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=22) pertencentes a classe 4 (<6,0 m e ≤9,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação, p<0,05); r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação. p≤0,01 ..... 50

Tabela 6 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos da espécie de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=23) e da espécie emergente *Aspidosperma*

*polyneuron* (*A.p.*) (N=28) pertencentes a classe 5 (<9,0 m e ≤15,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação,  $p \leq 0,01$  ..... 52

Tabela 7 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos da espécie de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=30) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=24) pertencentes a classe 6 (<15,0 m e ≤25,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação,  $p \leq 0,01$  ..... 54

Tabela 8 – Estimativa de parâmetros das relações alométricas com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos da espécie de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=30) da classe 6 (>15,0 m e ≤25,0 m) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=14) pertencentes a classe 7 (≥25,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$  ..... 56

Tabela 9 – Índice de iluminação da Copa (IIC) e índice de interceptação da Copa (ITC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) e *Sorocea bonplandii* (S.b.), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.), considerando cada classe de altura separadamente, da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma linha indicam valores que não diferem significativamente entre si (Kruskal-Wallis e Teste de multicomparação,  $p < 0,05$ , para as classes 1 a 4; Mann-Whitney U,  $p < 0,05$ , para as classes 5, 6 e 6x7, relacionadas ao IIC; ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ , relacionados ao ITC). IIEU= índice de iluminação da copa estação úmida; IICES= índice de iluminação da copa estação seca; ITCEU= índice de interceptação da copa estação úmida; ITCES= índice de interceptação da copa estação seca; N=número indivíduos..... 57

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	14
METODOLOGIA GERAL .....	20
<b>Área de estudo</b> .....	20
<b>Espécies estudadas</b> .....	22
REFERÊNCIAS .....	25
<b>CAPÍTULO 1</b> – Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil.....	29
RESUMO .....	30
INTRODUÇÃO.....	32
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS .....	41
DISCUSSÃO.....	58
REFERÊNCIAS .....	65
ANEXO .....	69

## INTRODUÇÃO GERAL

A mata atlântica é um complexo e exuberante conjunto de ecossistemas de grande importância, pois abriga uma parcela significativa da diversidade biológica do Brasil, porém é um dos biomas mais ameaçados do mundo devido a alterações e perda de seus habitats. Originalmente, abrangia mais de 1.300.000 km<sup>2</sup> no território brasileiro, contemplando áreas em 17 estados do país (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE 2008). Segundo levantamento da Fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o INPE, restam apenas 7,23% deste bioma, considerando os remanescentes florestais acima de 100 ha (SOS MATA ATLÂNTICA/INPE 2008), e 11,7% ao considerar também os menores fragmentos (<100ha) (Ribeiro *et al.* 2009), o que torna de extrema importância sua conservação e ações de restauração para que a atual situação seja mitigada (Ribeiro *et al.* 2009, SOS MATA ATLÂNTICA/INPE 2008).

O bioma Mata Atlântica apresenta três grandes formações florestais no estado do Paraná: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual (IBGE 2012, SOS MATA ATLÂNTICA/INPE 2013). A Floresta Estacional Semidecidual é caracterizada por apresentar dois tipos de estacionalidade climática: uma que ocorre na zona tropical, com época de intensas chuvas de verão seguidas por períodos de estiagens e outra que ocorre na zona subtropical, correlacionando-se ao clima sem período seco, porém com baixas temperaturas no inverno (IBGE 2012). No período de estiagem ou de baixas temperaturas entre 20 a 50% dos indivíduos arbóreos perdem suas folhas (IBGE 2012)

O presente estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FES) localizado no Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG), Londrina, no norte do Paraná (Vicente 2006). O parque se apresenta no limite sul da zona tropical e pode ser observada a presença de duas estações distintas na região, uma

quente e úmida ocorrendo de outubro a março, e uma estação mais fria e seca que se estende de abril a setembro (Bianchini *et al.* 2001, Perina 2011), a qual influencia na queda de folhas dos indivíduos arbóreos presentes no parque (Perina 2011).

No norte do Paraná, a atividade agrícola que se desenvolveu, a partir de 1920, em função da fértil terra roxa reduziu a então contínua Floresta Estacional Semidecidual a pequenos e esparsos fragmentos florestais, restando, hoje, apenas 2% desta cobertura vegetal (Anjos 1998). O Parque Estadual Mata dos Godoy constitui um dos mais importantes remanescentes florestais do Paraná. Sua importância se dá não apenas em razão da sua grande área contínua de Floresta Estacional Semidecidual, mas também do seu estado de conservação que abriga grande diversidade de flora e fauna (Vicente 2006). Sendo assim, estudos sobre a estrutura e dinâmica florestal se tornam essenciais para evidenciar a importância de sua conservação, a partir dos conhecimentos de suas relações ecológicas e para contribuir também com proposições de restauração ambiental (Anjos 2006, Batista 2011).

Uma maneira de se estudar a dinâmica das florestas envolve as relações da forma dos indivíduos com o seu tamanho (O'Brien *et al.* 1995, Yamada *et al.* 2005). Tal estudo é denominado alometria (Niklas 1994, Weiner 2004). Segundo O'Brien *et al.* (1995), as diferentes formas que os indivíduos arbóreos adquirem conforme se desenvolvem no interior da floresta são importantes, pois influenciam a diferenciação de nicho entre eles, possibilitando maior riqueza de espécies coexistindo na floresta.

No perfil florestal, a diferença de luminosidade tem grande influência na seleção de estratégias pela competição por luz (Falster & Westoby 2003, Vieilledent *et al.* 2010, Westoby *et al.* 2002). Dentre essas estratégias, está a forma que o indivíduo adquire ao longo de seu desenvolvimento (Osunkoya *et al.* 2007). A forma dos indivíduos como um todo e a posição de seus componentes, determina sua arquitetura (Poorter *et al.*

2006), a qual é importante por apresentar grande influência na exploração da luminosidade presente na floresta (Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2006, Vieilledent *et al.* 2010).

A arquitetura do indivíduo é influenciada pela maneira que um recurso é alocado em uma determinada parte da planta em detrimento de outra, implicando em trade-offs de alocação de biomassa (Weiner 2004). Maiores incrementos em altura, por exemplo, permitem o alcance de ambientes mais iluminados na floresta, podendo trazer benefícios para os indivíduos arbóreos (Alves *et al.* 2004, Poorter *et al.* 2006). Porém tais incrementos de biomassa em altura acontecem em detrimento do incremento em diâmetro do caule, o que pode gerar risco de quebra e até a morte dos indivíduos (Alves *et al.* 2004).

Segundo MacMahon (1973), o investimento em diâmetro do caule é um dos principais fatores que influenciam o suporte mecânico dos indivíduos arbóreos, permitindo que eles alcancem uma determinada altura crítica, sem que haja sua quebra devido à própria força imposta pelo peso do caule. Além disso, o investimento em diâmetro é importante para impedir a quebra do caule devido a forças que influenciariam seu tombamento, como o vento, distribuição assimétrica da copa ou pelo fato do caule ser inclinado (Gelder *et al.* 2006). Desta maneira, por mais que o investimento em diâmetro do caule implique em menor alocação de recursos em tecidos fotossintéticos (Kooyama & Westoby 2009), tal investimento se torna importante para a sobrevivência dos indivíduos (Gelder *et al.* 2006, Kooyama & Westoby 2009, MacMahon 1973).

O estudo comparativo da relação entre diâmetro do caule e altura é uma ferramenta simples, porém poderosa para se estudar a ecologia das florestas e a

evolução do hábito arbóreo (Rich *et al.* 1986), já que a altura influencia o posicionamento do indivíduo no dossel em relação aos seus competidores e o diâmetro do caule influencia seu suporte mecânico (Alves *et al.* 2004, Falster & Westoby 2003, Rich *et al.* 1986, Westoby *et al.* 2002). Além disso, os estudos de alometria relacionados à arquitetura da copa também são de extrema importância, pois a quantidade de luz interceptada por um indivíduo depende em grande parte da forma de sua copa (Vieilledent *et al.* 2010), que influenciará a quantidade de energia química sintetizada pela planta (Givnish 1988). A altura do indivíduo arbóreo afeta as dimensões da copa por influenciar o ambiente de luz e o espaço disponível para seu desenvolvimento (Niklas 1995, Osunkoya *et al.* 2007) e o diâmetro do caule possibilita suporte mecânico para tais investimentos (King 1996, Sterck & Bongers 1998).

Muitos são os fatores que podem influenciar a forma dos indivíduos das diferentes espécies, como o ambiente onde ele está se desenvolvendo (Niklas 1995, Falster & Westoby 2003, Westoby *et al.* 2002), sua tolerância a sombra (Bohlman & O'Brien 2006, King 1996, Poorter *et al.* 2003, 2006), a duração do seu ciclo de vida (King 1996), a fase de desenvolvimento em que o indivíduo se encontra (Alves & Santos 2002, Osunkoya *et al.* 2007), o estrato ao qual a espécie pertence (King 1990, 1996, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.*, 2006, Iida *et al.* 2011) e sua genética (Portela & Santos 2003).

O estrato ao qual a espécie pertence é muito citado como sendo importante por influenciar sua arquitetura (Bohlman & O'Brien 2006, King 1990, 1996, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2006, Iida *et al.* 2011). O gradiente vertical de luminosidade presente nas florestas é um dos principais fatores que influencia os indivíduos de espécies que atingem diferentes estaturas, levando a apresentarem diferenças em sua arquitetura, o que possibilita diversificadas maneiras de captação de luz (Thomas 1996).

O fato de as espécies de subosque concluírem seus ciclos de vida neste estrato faz com que sua forma tenha adaptações relacionadas a este ambiente menos iluminado (Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2006). Os indivíduos das espécies que pertencem aos estratos superiores da floresta, por sua vez, se reproduzem quando atingem maiores estaturas, apresentando arquitetura diferente no decorrer de seu desenvolvimento, quando comparadas às espécies de subosque (Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2006). O estudo dessas diferentes estratégias relacionadas à forma dos indivíduos pertencentes aos diferentes estratos da floresta é de extrema importância, pois auxilia no entendimento da coexistência entre essas espécies no perfil florestal (Poorter *et al.* 2003, Thomas 1996).

Espécies de menor estatura tendem a apresentar, proporcionalmente, copas mais largas e mais profundas, aumentando as chances de interceptação de luz (Bohlman & O'Brien 2006, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2006, Sterck *et al.* 2001). Apresentam também maiores incrementos em diâmetro do caule em detrimento da altura, possibilitando maior resistência à queda de ramos e árvores (Gelder *et al.* 2006, King 1990). Já espécies de maior estatura tendem a apresentar maior investimento em altura em detrimento do diâmetro do caule (Bohlman & O'Brien 2006, Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2003, 2006) e copas menores (Bohlman & O'Brien 2006, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, Sterck *et al.* 2001) permitindo que esses indivíduos atinjam mais rapidamente o dossel e seu tamanho reprodutivo (Poorter *et al.* 2003, 2006). Contudo, tais investimentos podem não ocorrer de forma tão padronizada, Osunkoya *et al.* (2007) encontrou resultados contrários, onde indivíduos de subosque apresentaram menores incrementos em diâmetro do caule quando comparados com espécies de dossel e emergente.

O microambiente e a altura em que o indivíduo se encontra podem influenciar sua forma ao longo do desenvolvimento (Niklas 1995, Poorter *et al.* 2003, 2006, Sterck

& Bongers 1998, Yamada *et al.* 2005). Indivíduos mais altos podem apresentar diferentes requerimentos de suporte mecânico quando comparados com os mais baixos (Niklas 1995). Sendo assim, é importante que o estudo da variação da arquitetura de espécies que ocupam os diferentes estratos florestais seja feito quando os indivíduos estão se desenvolvendo sob condições ambientais semelhantes e a uma mesma faixa de altura (Poorter *et al.* 2003, 2006).

O estudo envolvendo comparações entre indivíduos de mesma estatura em várias faixas de altura é importante também para que haja esclarecimento da existência ou não de um padrão de alocação de recursos entre as espécies dos diferentes estratos florestais (Iida *et al.* 2011), já que resultados comparativos entre esses indivíduos podem ser diferentes dependendo da altura estudada (Iida *et al.* 2011, Poorter & Werger 1999, Poorter *et al.* 2006). Bohlman & O'Brien (2006), por exemplo, não encontraram diferença na arquitetura dos indivíduos de espécies pertencentes aos diferentes estratos quando comparados no começo do seu desenvolvimento, porém constataram diferenças na forma dos indivíduos destas mesmas espécies quando comparados a uma classe maior de diâmetro do caule.

Além dos indivíduos arbóreos de espécies de diferentes estratos florestais apresentarem importantes diferenças arquiteturais (Alves & Santos 2002, Bohlman & O'Brien 2006, Iida *et al.* 2011, King 1990, O'Brien *et al.* 1995, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, 2006), indivíduos de espécies de um mesmo estrato também podem apresentar diferenças em suas arquiteturas (Alves & Santos 2002), possibilitando, assim, a coexistência dessas espécies na comunidade arbórea (Yamada *et al.* 2005).

Levando em consideração a relevância do estudo da alometria para melhor entendimento da dinâmica das florestas (O'Brien *et al.* 1995) e a importância do estudo

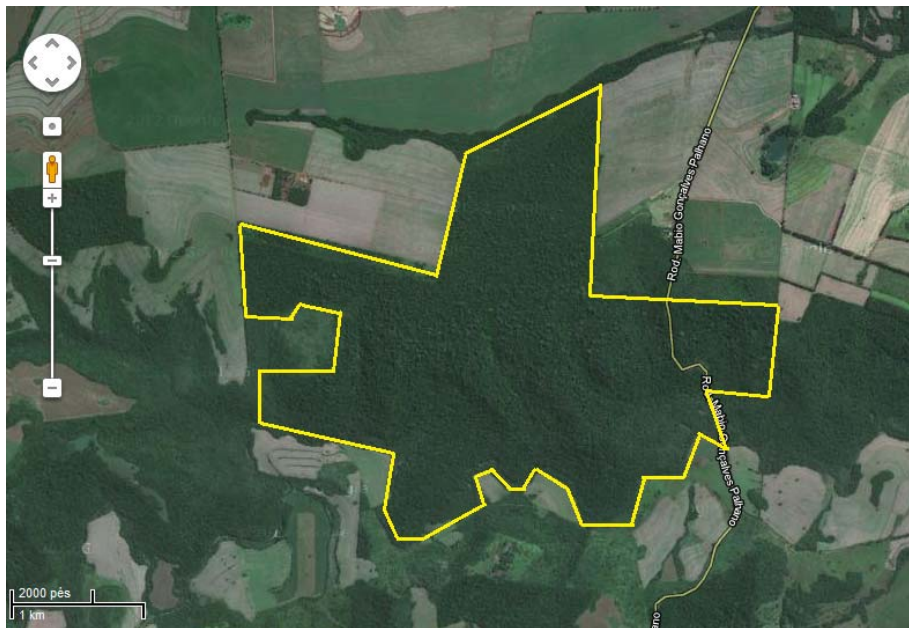
da forma dos indivíduos de espécies pertencentes aos diferentes estratos para se entender a coexistência entre essas diferentes espécies (Poorter *et al.* 2003, Thomas 1996), este estudo teve como objetivo avaliar a influência do estrato ao qual a espécie pertence na arquitetura dos indivíduos no decorrer de seu desenvolvimento em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual localizado no município de Londrina, PR. Também foi verificado se há diferença na arquitetura de indivíduos de espécies pertencentes ao mesmo estrato (subosque). Como o microambiente e a altura onde os indivíduos estão se desenvolvendo pode influenciar sua forma, comparou-se a alometria dos indivíduos das diferentes espécies de mesma faixa de altura, considerando suas respectivas intercepções de luz.

## METODOLOGIA GERAL

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) (23°27' S e 51°15' W, centro de visitantes) (Figura 1) localizado no município de Londrina, Paraná, sul do Brasil (Bianchini *et al.* 2003). O PEMG foi criado em 5 de junho de 1989 (Vicente 2006) e possui área de 680 ha, dos quais cerca de 500 ha são de Floresta Estacional Semidecidual em bom estado de conservação (Bianchini *et al.* 2001, Vicente 2006). O ponto mais baixo da área está a 460 m a.n.m. (acima do nível do mar), no ribeirão dos Apertados, o qual margeia a parte sul do parque. O mais alto está a cerca de 600 m a.n.m., formando um desnível de 140 m. A região possui clima subtropical úmido mesotérmico, do tipo Cfa (Vicente 2006). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico e associações com Neossolos Litólicos, considerados solos de altíssima fertilidade (Embrapa 1999, Vicente 2006).

Figura 1. Região do Parque Estadual Mata dos Godoy (área de floresta nativa delimitada em amarelo), Londrina, Paraná, Brasil. Fonte: Google Maps, 2012.



Segundo Silva & Soares-Silva (2000), o Parque Estadual Mata dos Godoy possui estrutura vertical composta por três estratos: subosque, dossel e emergente. No subosque estão presentes indivíduos que atingem alturas entre 8 a 10 m, com espécies que passam todo seu ciclo de vida na sombra do dossel. Dentre as espécies mais comuns deste estrato estão *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg., *Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C.Burger, Lanj. & de Boer, *Guarea macrophylla* Vahl, *Guarea kunthiana* A.Juss., *Mollinedia clavigera* Tul, e seis espécies de *Trichilia* (Silva & Soares-Silva 2000). O dossel da floresta apresenta-se em alturas que variam de 10 a 20 m (Bianchini *et al.* 2001). Entre os seus principais componentes estão espécies pertencentes as família Lauraceae, Fabaceae e Myrtaceae (Silva & Soares-Silva 2000). O estrato composto pelas espécies emergentes apresentam indivíduos que podem atingir 40 m de altura. Nele estão presentes indivíduos de espécies como *Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg., *Ficus glabra* Vell (sinônimo de *Ficus eximia* Schott) e *Ficus insipida* Willd. (Bianchini *et al.* 2001, Silva & Soares-Silva 2000).

## Espécies estudadas

Foram escolhidas duas espécies de subosque (*Sorocea bonplandii* e *Actinostemon concolor*), uma de dossel (*Holocalyx balansae* Micheli) e uma emergente (*Aspidosperma polyneuron*). Os critérios para a seleção das espécies foram: pertencer aos diferentes estratos da floresta e apresentar alto IVI na área estudada (Soares-Silva & Barroso 1992).

*Sorocea bonplandii*: popularmente conhecida como falsa espinheira santa, é característica de subosque das florestas maduras do sul do país. Pode ser encontrada também no interior de capoeirões em estágio sucessional avançado, bem como nos subosques das florestas de altitude. É tolerante à sombra, seletiva higrófila e indiferente quanto às condições de solo (Lorenzi 2002b). É uma espécie perenifólia e zoocórica, com seus frutos produzidos entre os meses de outubro e novembro (Perina 2011).

Figura 2. *Sorocea bonplandii*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel.



*Actinostemon concolor* (Euphorbiaceae): popularmente conhecida como laranja do mato, é característica de subosque, ocorre preferencialmente no interior

das florestas maduras situadas em solos úmidos, como planícies aluviais, inícios de encostas e em solos rochosos do alto das encostas. Pode atingir de 2 a 10 m de altura (Smith *et al.* 1988). É tolerante à sombra, seletiva higrófila, perenifólia, autocórica, com a dispersão de seus frutos ocorrendo de outubro a novembro (Perina 2011, Smith *et al.* 1988).

Figura 3. *Actinostemon concolor*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel.



*Holocalyx balansae* (Fabaceae): popularmente conhecida como alecrim, é uma espécie clímax, característica da Floresta Estacional Semidecidual, tem preferência por solos rochosos e úmidos de boa fertilidade, com exceção de solos encharcados. Pode tolerar luminosidade direta quando adulta, apesar de sua ocorrência no interior de florestas maduras. Pode atingir alturas de 15 a 25 m e apresenta tronco sulcado, que pode atingir diâmetro de 50 a 80 cm (Lorenzi 2002a). Característica de dossel (Silva & Soares-Silva 2000) é uma espécie semidecídua, com queda foliar entre os meses de maio a setembro, zoocórica, com dispersão dos frutos entre janeiro a março (Perina 2011).

Figura 4. *Holocalyx balansae*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas. Fonte: Mariana Fernandes Hertel.



*Aspidosperma polyneuron* (Apocynaceae): popularmente conhecida como peroba-rosa, característica da Floresta Estacional Semidecidual da bacia do Paraná e da Floresta Ombrófila Densa atlântica. Ocorre preferencialmente em solos profundos e férteis, situados nos espigões e nas encostas, exclusivamente no interior da floresta madura densa. Produz grande quantidade de sementes apenas a cada 2-4 anos. Atinge altura entre 20 a 30 m, com tronco de 60 a 90 cm de diâmetro (Lorenzi 2002a). É uma espécie emergente (Silva & Soares-Silva 2000), tolerante à sombra, anemocórica, com dispersão dos frutos ocorrendo entre os meses de agosto e setembro. É considerada semidecídua, com abscisão foliar entre os meses de março à dezembro (Perina 2011).

Figura 5. *Aspidosperma polyneuron*. A- face adaxial das folhas, B- face abaxial das folhas.  
Fonte: Mariana Fernandes Hertel.



## REFERÊNCIAS

- ANJOS, L. 1998. Conseqüências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. *Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais* 12: 87-94.
- ANJOS, L. 2006. Conservação do Parque Estadual Mata dos Godoy. Pp.168-169 in Torezan, J. M. D. (ed.). *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina.
- ALVES, L. F. & SANTOS, F. A. M. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18: 245-260.
- ALVES, L. F., MARTINS, F. R. & SANTOS, F. A. M. 2004. Allometry of a neotropical palm, *Euterpe edulis* Mart. *Acta Botanica Brasilica* 18: 369-374.
- BATISTA, N. A. 2011. *Arquitetura de espécies arbóreas numa Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. 54 pp.
- BIANCHINI, E., PIMENTA, J. A. & SANTOS, F. A. M. 2001. Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44: 269-276.
- BIANCHINI, E., POPOLO, R. S., DIAS, M. C. & PIMENTA, J. A. 2003. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 17: 405-419.

BOHLMAN, S. & O'BRIEN, S. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 22: 123-136.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 412 pp.

FALSTER, D. S. & WESTOBY, M. 2003. Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 337-343.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/ INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2008. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica Período 2000-2005*. Fundação SOS Mata Atlântica/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo. 157 pp.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/ INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2013. *Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica Período 2011-2012*. Fundação SOS Mata Atlântica/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo. 61 pp.

GELDER, H. A. V., POORTER, L. & STERCK, F. J. 2006. Wood, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist* 171: 367-378.

GIVNISH, T. J. 1988. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 15: 63-92.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação Brasileira*. 2012. IBGE, Rio de Janeiro. 274 pp.

IIDA, Y., KOHYAMA, T. S., KUBO, T., KASSIM, A. R., POORTER, L., STERCK, F. & POTTS, M. D. 2011. Tree architecture and life-history strategies across 200 co-occurring tropical tree species. *Functional Ecology* 25: 1260-1268.

KING, D. A. 1990. Allometry of saplings and understory trees of Panamanian forest. *Functional Ecology* 4: 27-32.

KING, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12: 25-32.

KOYAMA, R. M., & WESTOBY, M. 2009. Costs of height gain in rainforest saplings: main-stem scaling, functional traits and strategy variation across 75 species. *Annals of Botany* 104: 987-993.

LORENZI, H. 2002a. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Instituto Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.

LORENZI, H. 2002b. *Árvores Brasileiras. manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Instituto Plantarum, Nova Odessa. 368 pp.

McMAHON, T. A. 1973. Size and shape in biology. *Science* 179: 1201-1204.

- NIKLAS, K. J. 1994. *Plant allometry: the scaling of form and process*. The University of Chicago Press, Chicago. 935 pp.
- NIKLAS, K. J. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk taper. *Annals of Botany* 75: 217-227.
- O'BRIEN, S. T., HUBBELL, S. P., SPIRO, P., CONDIT, R. & FOSTER, R. B. 1995. Diameter, height, crown and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939.
- OSUNKOYA, O. O., OMAR-ALI, K., AMIT, N., DAYAN, J., DAUD, D. S. & SHENG, T. K. 2007. Comparative-crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany* 94: 1951-1962.
- PERINA, B. B. 2011. *Fenologia de espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. 63 pp.
- POORTER, L. & WERGER, M. J. A. 1999. Light environment, sapling architecture, and leaf display in six rain forest tree species. *American Journal of Botany* 86: 1464-1473.
- POORTER, L., BONGERS, L. & BONGERS, F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-off, and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301.
- POORTER, I., BONGERS, F., STERCK, F. J. & WOLL, H. 2003. Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84: 602-608.
- PORTELA, R. C. & SANTOS, F. A. M. 2003. Alometria de plântulas e jovens de espécies arbóreas: copa x altura. *Biota Neotropica* 3: 1-5.
- RIBEIRO, M. C., METZGER, J. P., MARTENSEN, A. C., PONZONI, F. J. & HIROTA, M. M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* 142: 1141-1153.
- RICH, P. M., HELENURM, K., KEARNS, D., MORSE, S. R., PALMER, M. W. & SHORT, L. 1986. Height and stem diameter relationship for dicotyledonous trees and arborescent palms of Costa Rica tropical wet forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 113: 241-246.
- SILVA, F. C. & SOARES-SILVA, L. H. 2000. Arboreal flora of the Godoy Forest State Park, Londrina, PR, Brasil. *Edinburgh Journal of Botany* 57: 107-120.
- SMITH, L. B., DOWNS, R. J. KLEIN, R. M. 1988. Euforbiáceas. Pp.408 in Reitz, R. (ed.). *Flora Ilustrada Catarinense*. Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí.
- SOARES-SILVA, L. H. & BARROSO, G. M. 1992. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil.

In: *Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo*, 8, Campinas. Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, Campinas, p. 101–112.

STERCK, F. J. & BONGERS, F. 1998. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 85: 266-272.

STERCK, F. J., BONGERS, F. & NEWBERY, D. M. 2001. Tree architecture in a Bornean lowland rain forest: intraspecific and interspecific patterns. *Plant Ecology* 153: 279-292.

THOMAS, S. C. 1996. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *American Journal of Botany* 83: 556-566.

VIEILLEDENT, G., COURBAUD, B., KUNSTLER, G., DHÔTE, J. F. & CLARK, J. S. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163: 759-773.

VICENTE, R. F. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. Pp. 13-18 in Torezan, J. M. D. (ed.). *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina.

WEINER, J. Allocation, plasticity and allometry in plants. 2004. *Perspectives in plant Ecology, Evolution and Systematics* 6: 207-2015.

WESTOBY, M., FALSTER, D. S., MOLES, A. T., VESK, P. A. & WRIGHT, I. J. 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *The Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 33: 125-59.

YAMADA, T., NGAKAN, O. P. & SUZUKI, E. 2005. Differences in growth trajectory and strategy of two sympatric congeneric species in an Indonesian floodplain forest. *American Journal of Botany* 1: 45-52.

## **CAPÍTULO 1**

Arquitetura de espécies arbóreas de diferentes estratos em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil

Artigo a ser submetido no periódico Journal of Tropical Ecology

## RESUMO

Este estudo foi realizado em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, localizado em Londrina, no norte do Paraná, Brasil e foram levantadas as seguintes hipóteses: espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta na maturidade tendem a apresentar relações alométricas diferentes no decorrer do seu desenvolvimento, relacionadas à maximização da captação de luz pelas espécies de subosque e maior incremento em altura pelas espécies de dossel e emergente para atingir mais rapidamente ambientes com maior luminosidade e seu tamanho reprodutivo; espécies pertencentes a um mesmo estrato, p. ex. subosque, podem apresentar diferença em sua arquitetura possibilitando a coexistência de várias espécies em um único estrato florestal; embora a disponibilidade de luz para os indivíduos pertencentes às espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta seja semelhante dentro de cada classe de altura, a interceptação de luz entre esses indivíduos difere dependendo do estrato ao qual a espécie pertence. Foram estudadas duas espécies de subosque, uma de dossel e uma emergente, as quais tiveram seus indivíduos separados em sete classes de altura. A comparação da arquitetura entre os indivíduos foi feita utilizando-se de relações alométricas. O índice de iluminação e o de interceptação da copa foram determinados para cada indivíduo. Os indivíduos das espécies de subosque apresentaram maiores incrementos em copa quando comparados com os das espécies de dossel e emergente. Apresentaram também, maiores incrementos em diâmetro do caule, quando comparados com os indivíduos de *H. balansae*. Houve variação da forma entre os indivíduos pertencentes às espécies de subosque. O índice de iluminação da copa dos indivíduos não diferiu entre as espécies, porém o índice de interceptação, ao longo do desenvolvimento, foi maior para os indivíduos das espécies de subosque e não diferiu entre elas. Os resultados indicaram que as diferenças arquiteturais entre os indivíduos das espécies estudadas se deram, principalmente, pelo fato de elas pertencerem aos diferentes estratos da floresta.

**Palavras-chave:** alometria, dossel, emergente, índice de iluminação da copa, índice de interceptação de luz, ontogenia, subosque.

## ABSTRACT

This study was conducted in a Semideciduous Forest fragment located in Londrina, northern Paraná, Brazil and the following hypotheses were addressed: species occupying different strata of the forest at maturity tend to have different allometric relationships during its development, related to the maximization of light capture by understory species and greatest height gain to reach quickly environments with more light availability and their reproductive size by the canopy and emergent species; species belonging to the same forest stratum, e.g. understory species, may exhibit differences in their architecture enabling the coexistence of multiple species in a single forest stratum; although light availability for individuals belonging to species that occupy different strata of the forest is similar within each height class, the light interception between these individuals differs depending on stratum to which the species belongs. Two understory, one canopy and one emergent species were chosen, and their individuals was separated in seven height classes. Comparison of architecture among individuals was performed using allometric relationships. Crown illumination index and light interception index were determined for each individual. The understory species showed greater investments in crown than the canopy and emergent species and higher stem diameter investment when compared with *H. balansae*. There was variation in form among the two understory species. The crown illumination index did not differ among species, but the light interception index was higher for understory species and did not differ among them. The results indicated that the architectural differences between the species studied are given mainly by the fact that they belong to different strata of the forest.

**Key words:** allometry, canopy, crown illumination index, emergent, light interception index, ontogeny, understory.

## INTRODUÇÃO

Ao considerar a arquitetura de indivíduos adultos, ou seja, sua forma como um todo e a posição de seus componentes (Poorter *et al.* 2006), deve-se ter em mente que fatores genéticos e ambientais influenciaram seu desenvolvimento durante toda sua ontogenia, e sua forma não é só reflexo das condições ambientais ao qual ele está submetido no presente (Archibald & Bond 2003).

O estudo da relação da forma do indivíduo com o seu tamanho é denominado alometria (Niklas 1994) e tem grande importância ecológica por auxiliar no entendimento da dinâmica das florestas (O'Brien *et al.* 1995, Yamada *et al.* 2005) e na compreensão da ecologia e evolução das plantas (Niklas *et al.* 2006). As diferentes formas que os indivíduos adquirem conforme se desenvolvem no interior da floresta, relacionadas ao investimento em altura e alocação de biomassa em copa e diâmetro do caule, influenciam a diferenciação de nicho entre as espécies e pode ser de grande importância para explicação da riqueza exibida pela floresta (O'Brien *et al.* 1995).

O gradiente vertical de luminosidade presente nas florestas influencia os indivíduos de espécies que atingem diferentes estaturas, levando a apresentarem diferenças em sua arquitetura, o que possibilita diversificadas maneiras de captação de luz (Thomas 1996). Espécies de sobosque, que são mais tolerantes à sombra, reproduzem neste estrato, atingindo menores estaturas que as espécies de dossel e emergentes, levando, conseqüentemente, a apresentarem estratégias de alocação de biomassa diferentes no decorrer de seu desenvolvimento (Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2006, Thomas 1996). Espécies de menor estatura, tendem a aumentar a interceptação de luz investindo, proporcionalmente, em copas mais largas (Bohlman & O'Brien 2006, King 1990, Poorter *et al.* 2006, Sterck *et al.* 2001) e profundas (Bohlman & O'Brien

2006, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2006, Sterck *et al.* 2001). Quando comparados com juvenis de espécies que atingem maiores estaturas, tendem a apresentar maiores investimentos em diâmetro do caule em detrimento da altura, possibilitando maior resistência à queda de ramos (Gelder *et al.* 2006, King 1990). Copas maiores aumentam a interceptação de luz, possibilitando maior ganho de carbono e investimento em reprodução para esses indivíduos que passam todo seu ciclo de vida no ambiente sombreado do subosque (Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2006).

Já as espécies cujos indivíduos atingem maiores estaturas, quando estão se desenvolvendo no subosque, tendem a apresentar caules mais esbeltos, devido ao maior investimento em altura em detrimento do diâmetro (Bohlman & O'Brien 2006, Iida *et al.* 2011, Poorter *et al.* 2003, 2006) e copas menores (Bohlman & O'Brien 2006, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, Sterck *et al.* 2001) permitindo que esses indivíduos possam atingir mais rapidamente o dossel e seu tamanho reprodutivo (Poorter *et al.* 2003, 2006). Quando atingem grandes alturas e ocupam os estratos mais altos da floresta, onde a luminosidade é maior, há aumento no investimento em copa, maximizando o ganho de carbono e investimento em reprodução. Há também aumento em diâmetro do caule (Iida *et al.* 2011), aumentando sua estabilidade mecânica (Sterck & Bongers, 1998). Contudo, tais investimentos podem não ocorrer de forma tão padronizada, Osunkoya *et al.* (2007) encontrou resultados contrários, onde indivíduos de subosque apresentaram menores incrementos em diâmetro do caule quando comparados com espécies de dossel e emergente.

O microambiente e a altura em que o indivíduo se encontra podem influenciar sua forma ao longo do desenvolvimento (Niklas 1995, Poorter *et al.* 2003, 2006, Sterck & Bongers 1998, Yamada *et al.*, 2005). Indivíduos mais altos podem apresentar diferentes requerimentos de suporte mecânico quando comparados com os mais baixos

(Niklas 1995). Sendo assim, é importante que o estudo da variação da arquitetura de espécies que ocupam os diferentes estratos florestais seja feito quando os indivíduos estão se desenvolvendo sob condições ambientais semelhantes e a uma mesma faixa de altura (Poorter *et al.* 2003, 2006).

O estudo envolvendo comparações entre indivíduos de mesma estatura em várias faixas de altura é importante também para esclarecer a existência ou não de um padrão de alocação de recursos entre as espécies dos diferentes estratos florestais (Iida *et al.* 2011), já que resultados comparativos entre esses indivíduos podem ser diferentes dependendo da altura estudada (Bohlman & O'Brien 2006, Iida *et al.* 2011, Poorter & Werger 1999).

Além dos indivíduos arbóreos de espécies de diferentes estratos florestais apresentarem importantes diferenças arquiteturais (Alves & Santos 2002, Bohlman & O'Brien 2006, Iida *et al.* 2011, King 1990, O'Brien *et al.* 1995, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, 2006), indivíduos de espécies de um mesmo estrato também podem apresentar diferenças em suas arquiteturas (Alves & Santos 2002), possibilitando, assim, a coexistência dessas espécies na comunidade arbórea (Yamada *et al.* 2005).

Considerando a importância do estudo da arquitetura dos indivíduos, ao longo do desenvolvimento, das espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta para o entendimento da dinâmica florestal e da coexistência de suas espécies (Niklas *et al.* 2006, Iida *et al.* 2011, O'Brien *et al.* 1996) este estudo teve como objetivo realizar comparações intraclasses da arquitetura e da disponibilidade e interceptação luminosa entre indivíduos de espécies que ocupam os diferentes estratos florestais (subosque, dossel e emergente), considerando diferentes classes de altura (desde juvenis até

adultos) em uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil. Objetivou também comparar a arquitetura intraclase de duas espécies de subosque desta mesma Floresta.

### **Hipóteses**

Espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta na maturidade tendem a apresentar relações alométricas diferentes no decorrer do seu desenvolvimento, relacionadas à maximização da captação de luz pelas espécies de subosque e maior incremento em altura pelas espécies de dossel e emergente para atingir mais rapidamente ambientes com maior luminosidade e seu tamanho reprodutivo.

Espécies pertencentes a um mesmo estrato, p. ex. subosque, podem apresentar diferença em sua arquitetura possibilitando a coexistência de várias espécies em um único estrato florestal.

Embora a disponibilidade de luz para os indivíduos pertencentes às espécies que ocupam os diferentes estratos da floresta seja semelhante dentro de cada classe de altura, a interceptação de luz entre esses indivíduos difere dependendo do estrato ao qual a espécie pertence.

## MATERIAL E MÉTODOS

### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy (PEMG) (23°27' S e 51°15' W, centro de visitantes), localizado no município de Londrina, Paraná, sul do Brasil (Bianchini *et al.* 2003). O PEMG possui área de 680 ha, dos quais cerca de 500 ha são de Floresta Estacional Semidecidual em bom estado de conservação (Bianchini *et al.* 2001, Vicente 2006). A região possui clima subtropical

úmido mesotérmico, do tipo Cfa (Vicente 2006). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico e associações com Neossolos Litólicos, considerados solos de altíssima fertilidade (Embrapa 1999, Vicente 2006).

### **Espécies estudadas**

Foram escolhidas duas espécies de subosque (*Sorocea bonplandii* (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & de Boer e *Actinostemon concolor* (Spreng.) Müll.Arg), uma de dossel (*Holocalyx balansae* Micheli) e uma emergente (*Aspidosperma polyneuron* Müll.Arg). Os critérios para a seleção das espécies foram: pertencer aos diferentes estratos da floresta e apresentar alto IVI na área estudada (Soares-Silva & Barroso 1992).

### **Coleta de dados**

Os indivíduos das diferentes espécies foram amostrados em três transectos de aproximadamente 15 m de largura e 2,5 km de extensão. Para as quatro espécies, foram avaliados indivíduos com altura  $\geq 50$  cm que tiveram a altura total (H, m), a altura de seu ramo mais baixo (m), o diâmetro a altura do solo (DAS, cm), o diâmetro a altura do peito (DAP, cm) e os diâmetros transversais da copa (DCI e DCII, m) mensurados. Para os indivíduos de maior porte, o perímetro a altura do solo (PAS, m) e o perímetro a altura do peito (PAP, m) foram mensurados e posteriormente transformados em DAS e DAP, respectivamente, pela fórmula  $D=C/\pi$ , em que  $C$  é o valor do perímetro medido em campo. DCI foi medido pelo posicionamento de duas pessoas abaixo das últimas folhas encontradas para o maior diâmetro observado da copa, DCII foi medido da mesma maneira e este foi perpendicular a DCI. As medidas em campo foram realizadas com um paquímetro e fita métrica para os indivíduos de menor porte e foram utilizadas trena a laser e trena de 30 m para as medições dos indivíduos de maior porte.

A profundidade da copa (PC, m) foi calculada pela subtração da altura total do indivíduo pela altura de seu ramo mais baixo ou pela altura de seu primeiro ramo permanente, dependendo indivíduo. A partir das medidas de DCI e DCII, a área horizontal (AHC, m<sup>2</sup>) e a área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup>) foram estimadas como uma elipse, segundo as fórmulas  $0.25*\pi*DCI*DCII$  (Bongers *et al.* 1988) e  $0.25*\pi*(DCI+DCII/2)*PC$  (Sterck *et al.* 2003), respectivamente.

A luminosidade incidente na copa dos indivíduos arbóreos foi estimada por dois observadores, separadamente, tomando como referência o índice de iluminação da copa (IIC) proposto por Clark & Clark (1992). O IIC de Clark & Clark (1992) foi estipulado modificando-se o índice proposto por Dawkins (1958 *apud* Alder & Synnot 1992, Anexo 1), em que a classe com pontuação de número 2 foi subdividida em três classes (1,5; 2,0; 2,5), para melhor representar o ambiente de luz onde os indivíduos se encontravam. No presente estudo, com o mesmo objetivo, a classe 3 do IIC de Clark & Clark (1992) foi subdividida, formando-se 4 novas classes: 2,75; 3,0; 3,25 e 3,5 (Tabela 1). Após os dois observadores, independentemente, terem determinado as classes para cada indivíduo, foram obtidas as médias das pontuações, obtendo-se um único valor para cada indivíduo (Sterck *et al.* 2001).

A estimativa de luminosidade foi realizada em dois períodos: agosto a outubro, denominado neste estudo como estação seca, época onde foram observados picos de abscisão foliar entre as espécies arbóreas do PEMG e outro entre novembro a abril, denominado estação úmida, em que não foram constatadas grandes intensidades de abscisão foliar entre as espécies do PEMG (Perina 2011).

Tabela 1. Índice de iluminação da copa (IIC) modificado de Clark &amp; Clark (1992).

IIC	
Classes	Definição
5	Copa completamente exposta (cone invertido de 90° totalmente exposto tanto por luz lateral quanto por luz vertical)
4	Luminosidade vertical total ( $\geq 90\%$ da projeção vertical da copa exposta à luz vertical, luminosidade lateral bloqueada total ou parcialmente no cone)
3,5	50% a 90% da copa iluminada vertical e lateralmente
3,25	50% a 90% da copa iluminada verticalmente 10% a 50% da copa iluminada lateralmente
3	10% a 50% da copa iluminada verticalmente 50% a 90% da copa iluminada lateralmente
2,75	10% a 50% da copa iluminada vertical e lateralmente Luminosidade lateral ( $< 10\%$ da projeção vertical da copa exposta à luz vertical, copa iluminada lateralmente):
2,5	Alta luminosidade lateral (devido à presença de pelo menos uma grande clareira ou várias clareiras de médio porte)
2,0	Média luminosidade lateral (devido à presença de clareiras de tamanhos e quantidades intermediárias aos da classe 1,5 e 2,5)
1,5	Baixa luminosidade lateral (devido à presença de pequenas aberturas no dossel)
1	Sem luz direta (copa sem interceptação de luz tanto vertical quanto lateral)

Com a utilização da AHC e do IIC, foi calculado o índice de interceptação da copa (ITC) utilizando-se da fórmula  $ITC = AHC * IIC^2$  (King *et al.* 2005) nas duas estações. O índice representa o quanto de luz está sendo interceptada pela copa do indivíduo. Segundo os autores, e tomando-se como base o estudo de Davies *et al.* (1998), assume-se que a luz que é interceptada pela copa é proporcional ao  $IIC^2$ .

## Análise de dados

Para comparar a forma dos indivíduos das espécies pertencentes aos diferentes estratos, os indivíduos amostrados foram divididos em sete classes de altura:  $\geq 0,5$  m e  $\leq 1,5$  m (classe 1),  $>1,5$  m e  $\leq 3$  m (classe 2),  $>3$  m e  $\leq 6$  m (classe 3),  $>6$  m e  $\leq 9$  m (classe 4),  $>9$  m e  $\leq 15$  m (classe 5),  $>15$  m e  $\leq 25$  m (classe 6) e indivíduos  $>25$  m (classe 7). Foram amostrados aproximadamente 30 indivíduos por espécie em cada classe. Não houve amostragem dos indivíduos de subosque a partir da classe 5, devido a falta de representantes acima de 9 m de altura. A separação entre classes de altura foi feita para possibilitar que a comparação entre as formas fosse realizada entre indivíduos que estão sob condições ambientais e alturas semelhantes (Poorter *et al.* 2003, 2006).

Em alometria, testa-se a relação entre as variáveis  $y$  e  $x$  pela equação  $\log y = \log \alpha + \beta \log x$ , a qual permite que a relação entre as variáveis sejam expressas de forma linear (Warton *et al.* 2006). Nas comparações entre relações alométricas, podem ocorrer diferenças tanto em  $\beta$  (a inclinação da reta), como em  $\alpha$  (o intercepto de  $y$ ). Se o valor de  $\beta$  diferir, retas com maior valor de  $\beta$  apresentarão maior investimento em  $y$  por incremento de  $x$ . Se a inclinação não diferir, mas a constante  $\alpha$  for diferente, aquelas com maiores valores de  $\alpha$  apresentarão valores de  $y$  maiores para qualquer valor de  $x$  (Kohyama & Hotta 1990, Yamada *et al.* 2005).

As relações alométricas entre as variáveis arquiteturais (altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal e vertical da copa (AHC e AVC, respectivamente) foram determinadas por SMA (Standardized Major Axis Regression) e as seguintes relações foram realizadas:  $H \times DAS$ ,  $H \times DAP$ ,  $H \times PC$ ,  $H \times AHC$ ,  $H \times AVC$ ,  $DAS \times PC$ ,  $DAS \times AHC$  e  $DAS \times AVC$ . As regressões foram calculadas com os dados transformados em log

de base 10. Após o cálculo da reta que melhor se ajusta ao modelo, a um nível de significância de 1%, foi realizado o teste de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ) para verificar se houve diferença entre as retas pelas comparações entre os  $\beta$ 's (Warton & Weber 2002). Quando não houve diferença entre eles, fez-se a comparação entre os  $\alpha$ 's (teste de Wald,  $p \leq 0,05$ ) (Warton *et al.* 2006). Na presença de diferença entre pelo menos uma das retas (detectada ou na comparação de  $\beta$  ou na de  $\alpha$ ), foram realizados testes de multicomparações ( $p \leq 0,05$ ) para verificar quais retas diferiram entre si. Os testes foram feitos pelo programa R versão 2.15.3, com a utilização do pacote *smatr*. As relações alométricas foram comparadas entre conjuntos de indivíduos das diferentes espécies que se apresentavam numa mesma classe de altura.

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para verificar se houve diferença das variáveis arquiteturais e dos índices de interceptação da copa (ITC) entre os indivíduos das diferentes espécies numa mesma classe. Para a comparação do ITC, foram considerados os dois períodos separadamente. Os dados foram transformados em log de base 10 para obedecer às premissas estatísticas e o teste *a posteriori* de Tukey foi utilizado para comparações entre médias. Os testes foram realizados no programa RStudio versão 0.98, a um nível de significância de 5%.

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se houve diferença entre os IIC dos indivíduos das diferentes espécies numa mesma classe de altura (para as classes 1 a 4), considerando os dois períodos de medição separadamente. Na presença de diferença entre pelos menos um dos valores analisados, o teste de multicomparação foi aplicado para comparar a diferença entre eles. Para as classes 5 a 7 a diferença entre os IIC dos indivíduos das diferentes espécies numa mesma classe de tamanho foi testada utilizando o teste de Mann-Whitney U. Os testes foram realizados no programa R versão 2.15.3, a um nível de significância de 5%. O teste de Kruskal-

Wallis e o teste *a posteriori* de multicomparação foram feitos com a utilização do pacote pgirmess e para o teste de Mann-Whitney U foi utilizado o pacote Rcmdr versão 1,9-6.

Foram feitas comparações das relações alométricas e das variáveis arquiteturais entre os indivíduos da classe 6 de *H. balansae* com os indivíduos da classe 7 de *A. polyneuron*, com o objetivo de verificar se houve alguma mudança na forma dos indivíduos da espécie emergente, ao atingirem alturas superiores a 25 m.

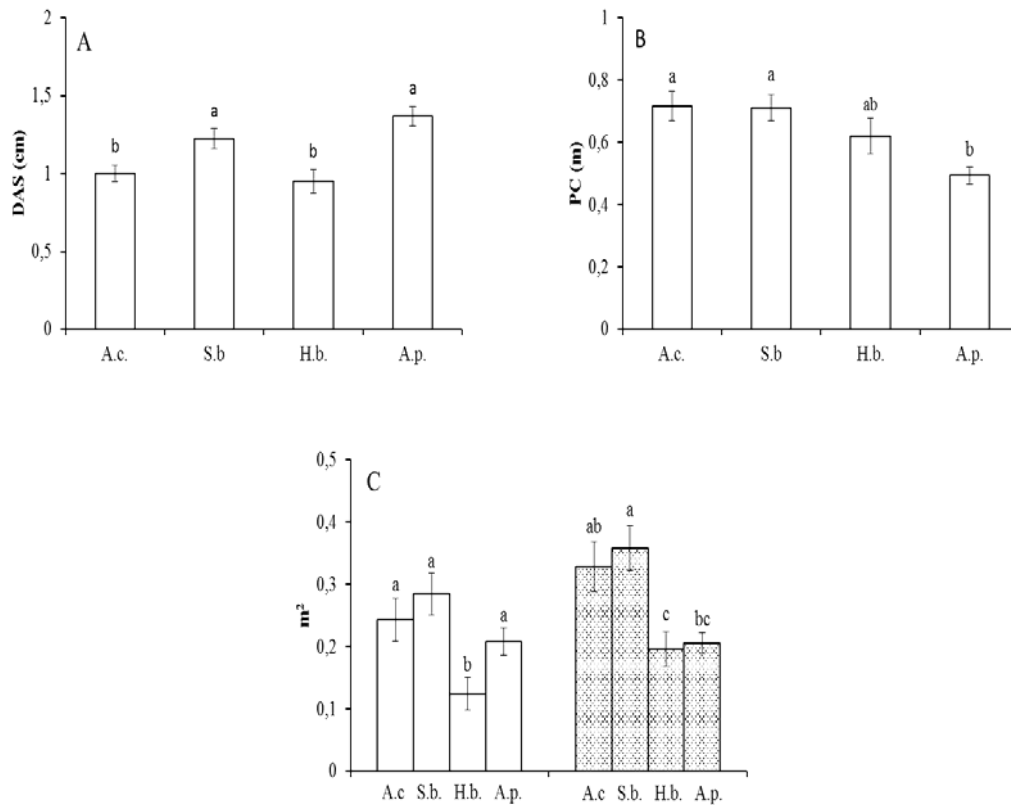
## RESULTADOS

Em face do objetivo deste estudo ter sido comparar intraclasses a arquitetura dos indivíduos das espécies que pertencem aos diferentes estratos florestais, os resultados são apresentados por classe de altura.

### Classe 1

Indivíduos de *S. bonplandii* e *A. polyneuron* apresentaram maiores DAS que *H. balansae* e *A. concolor* (Figura 1 A). Nas duas espécies de subosque e para os indivíduos de *H. balansae* observaram-se as copas mais profundas (Figura 1 B). Em *A. polyneuron* e nas espécies de subosque foram verificadas as maiores AHC. *Sorocea bonplandii* e *A. concolor* apresentaram os maiores valores de AVC e *H. balansae* o menor (Figura 1 C). Na relação de HxDAS, foi observado em *A. polyneuron* o maior valor de  $\alpha$ , seguido das duas espécies de subosque e da espécie de dossel *H. balansae*, ou seja, os indivíduos da espécie emergente para qualquer valor de altura, apresentaram maiores valores de DAS (Tabela 2). *Actinostemon concolor* apresentou para qualquer valor de altura, maiores profundidades da copa, seguidos de *S. bonplandii* e *H. balansae* (Tabela 2).

Figura 1. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup>, □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup>, ▨); entre indivíduos da classe I ( $\geq 0,5$  m e  $\leq 1,50$  m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.



*Actinostemon concolor* e *S. bonplandii* tiveram os maiores e *H. balansae* os menores valores de AHC para qualquer valor de altura. As espécies de subosque apresentaram maiores áreas verticais da copa para qualquer valor de altura (Tabela 2). Para as relações de DASxAHC e DASxAVC os indivíduos de *A. concolor* exibiram as maiores AHC e AVC para qualquer valor de DAS, e os indivíduos de *A. polyneuron* as menores (Tabela 2). Na relação de DASxPC apenas os indivíduos das espécies de subosque apresentaram  $r^2$  significativo, ou seja, para esta relação, os indivíduos das espécies emergente e de dossel tiveram maior variação em sua forma.

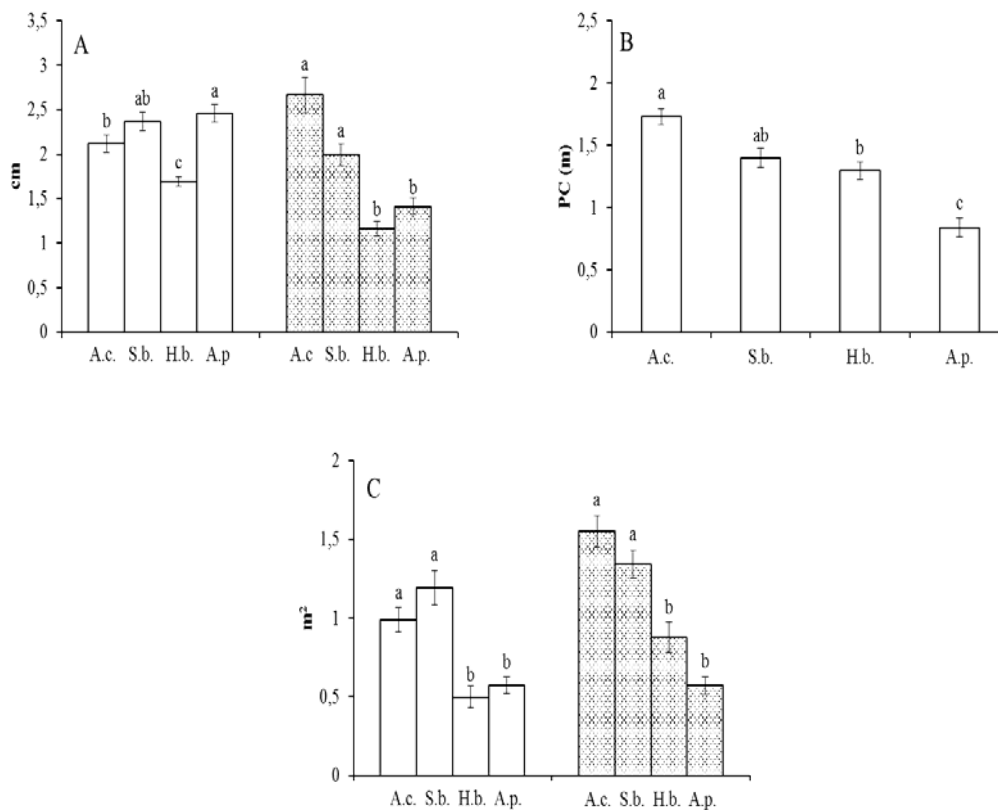
Tabela 2. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=36) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=30), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=20) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=34) pertencentes a classe 1 ( $\geq 0,5$  m e  $\leq 1,5$  m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 1					
	Intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
		H(m)xDAS(cm)			H(m)xPC(m)	
A.c.	0,043 <sup>b</sup>		0,658	-0,103 <sup>a</sup>		0,775
S.b.	0,046 <sup>b</sup>	1,039 <sup>ns</sup>	0,685	-0,204 <sup>b</sup>	1,295 <sup>ns</sup>	0,525
H.b.	-0,070 <sup>c</sup>		0,684	-0,266 <sup>b</sup>		0,361
A.p.	0,124 <sup>a</sup>		0,543	-	-	ns
		H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )			H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )	
A.c.	-0,584 <sup>a</sup>		0,656	-0,461 <sup>a</sup>		0,861
S.b.	-0,710 <sup>ab</sup>	2,627 <sup>ns</sup>	0,569	-0,576 <sup>b</sup>	2,169 <sup>ns</sup>	0,657
H.b.	-1,109 <sup>c</sup>		0,405	-0,835 <sup>c</sup>		0,657
A.p.	-0,786 <sup>b</sup>		0,198	-0,729 <sup>c</sup>		0,352
		DAS(cm)xPC(m)			DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )	
A.c.	-0,155 <sup>a</sup>		0,342	-0,691 <sup>a</sup>		0,754
S.b.	-0,267 <sup>b</sup>	1,322 <sup>ns</sup>	0,536	-0,827 <sup>b</sup>	2,546 <sup>ns</sup>	0,624
H.b.	-	-	ns	-0,930 <sup>bc</sup>		0,645
A.p.	-	-	ns	-1,101 <sup>c</sup>		0,308
		DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )				
A.c.	-0,549 <sup>a</sup>		0,619	-	-	-
S.b.	-0,673 <sup>b</sup>	2,117 <sup>ns</sup>	0,655	-	-	-
H.b.	-0,686 <sup>b</sup>		0,525	-	-	-
A.p.	-0,991 <sup>c</sup>		0,350	-	-	-

## Classe 2

Nos indivíduos de *A. polyneuron* e de *S. bonplandii* foram observados os maiores DAS e nos de *H. balansae* os menores (Figura 2 A). Nas duas espécies de subosque verificaram-se maiores DAP, AHC e AVC, quando comparados com *H. balansae* e *A. polyneuron* (Figura 2 A, C).

Figura 2. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▤); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▤) entre indivíduos da classe 2 (>1,5 m e ≤3,0 m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.



Foram observadas em *A. concolor* e *S. bonplandii* as maiores profundidades da copa, enquanto que *A. polyneuron* apresentou a menor (Figura 2 B). Os indivíduos de *A. polyneuron* tiveram maior DAS para qualquer valor de altura, seguidos das duas espécies de subosque (Tabela 3). Na relação de HxDAP, o  $r^2$  dos indivíduos de *S. bonplandii* e *H. balansae* não foram significativos e a espécie *A. concolor* teve maior DAP para qualquer valor de altura, quando comparada com os indivíduos de *A. polyneuron* (Tabela 3). Em HxPC, *A. polyneuron* apresentou o maior valor de  $\beta$ , ou seja, maiores investimentos em PC por incremento em altura, não diferindo de *S.*

*bonplandii*. As duas espécies de subosque não exibiram diferença no investimento de PC por incremento de altura (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=34) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=27), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=30) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=35) pertencentes a classe 2 (<1,5 m e ≤3,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 2					
	intercepto	Inclinação	$r^2$	intercepto	Inclinação	$r^2$
	da reta			da reta		
	H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)		
A.c.	-0,113 <sup>b</sup>		0,635	-0,380 <sup>a</sup>	2,233 <sup>ns</sup>	0,414
S.b.	-0,120 <sup>b</sup>	1,247 <sup>ns</sup>	0,472	-	-	ns
H.b.	-0,270 <sup>c</sup>		0,297	-	-	ns
A.p.	-0,039 <sup>a</sup>		0,414	-0,631 <sup>b</sup>	2,233 <sup>ns</sup>	0,224
	H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )		
A.c.	-0,199	1,247 <sup>b</sup>	0,480	-1,191 <sup>a</sup>		0,441
S.b.	-0,478	1,561 <sup>ab</sup>	0,450	-1,269 <sup>a</sup>	3,329 <sup>ns</sup>	0,236
H.b.	-	-	ns	-1,721 <sup>b</sup>		0,420
A.p.	-0,901	2,308 <sup>a</sup>	0,295	-	-	ns
	H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)		
A.c.	-0,695 <sup>a</sup>		0,706	-	-	ns
S.b.	-0,877 <sup>b</sup>	2,505 <sup>ns</sup>	0,591	-	-	ns
H.b.	-1,109 <sup>c</sup>		0,287	-	-	ns
A.p.	-1,154 <sup>c</sup>		0,427	-	-	ns
	DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )		
A.c.	-0,677	1,992 <sup>b</sup>	0,531	-0,319	1,533 <sup>b</sup>	0,502
S.b.	-0,831	2,347 <sup>ab</sup>	0,510	-0,581	1,858 <sup>ab</sup>	0,557
H.b.	-1,271	3,891 <sup>a</sup>	0,500	-0,788	3,008 <sup>a</sup>	0,438
A.p.	-1,366	2,778 <sup>ab</sup>	0,174	-	-	ns

Para as relações de HxAHC e HxAVC, as espécies de subosque apresentaram maiores valores de AHC e AVC para qualquer valor de altura. Nas comparações de DASxAHC e DASxAVC houve diferença apenas entre *A. concolor* e *H. balansae*, com os indivíduos desta última espécie apresentando maiores investimento em AHC e AVC

por incremento de DAS (Tabela 3). Em DASxPC o  $r^2$  de todas as espécies não foram significativos.

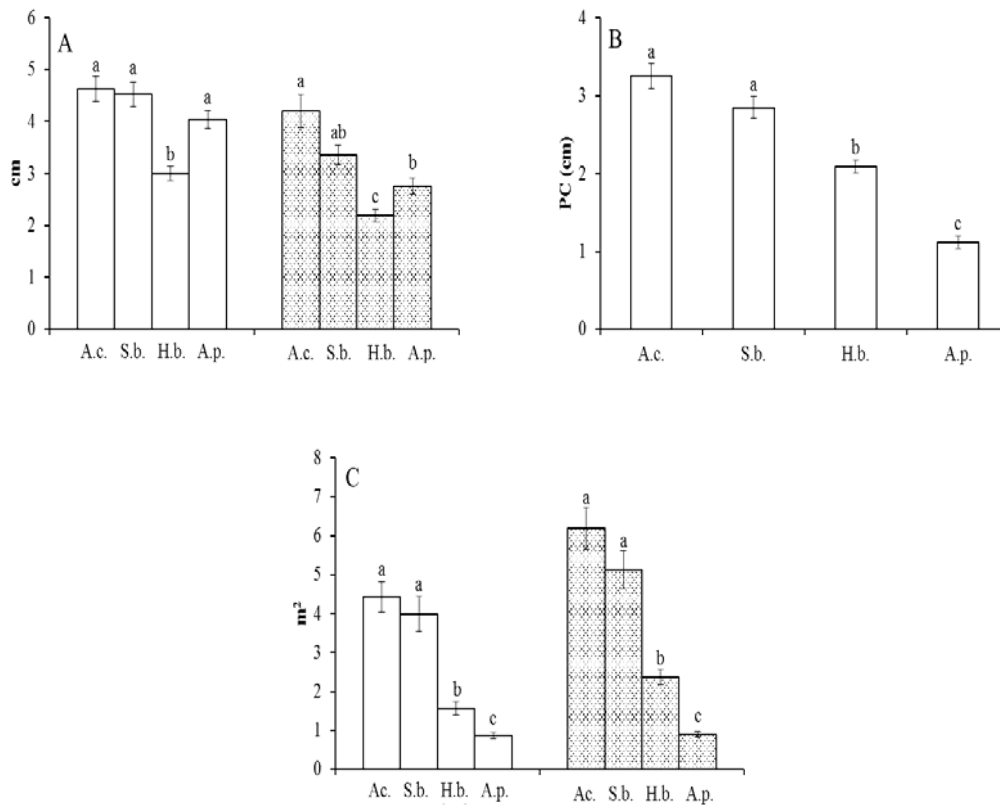
### Classe 3

Foram verificados nas espécies de subosque e na emergente os maiores valores de DAS e em *A. concolor* e *S. bonplandii* os maiores valores de DAP. Os indivíduos de *H. balansae* exibiram os menores DAS e DAP (Figura 3 A). As duas espécies de subosque apresentaram maiores PC, AHC e AVC (Figura 3 B, C). Nos indivíduos de *H. balansae* foram observados os menores valores de DAS e DAP para qualquer valor de altura. Os indivíduos de *A. polyneuron*, *S. bonplandii* e *A. concolor* não apresentaram diferença entre si para estas relações (Tabela 4). As maiores PC, AHC e AVC para qualquer valor de altura foram verificadas nas espécies de subosque (Tabela 4). *Aspidosperma polyneuron* apresentou para qualquer valor de DAS menores AHC e para os indivíduos de *A. concolor*, *S. bonplandii* e *H. balansae* não foram observadas diferenças nesta relação (Tabela 4). Essas três espécies também não exibiram diferenças na relação de DASxAVC. Não foi observado  $r^2$  significativo para os indivíduos de *A. polyneuron* nesta relação (Tabela 4). Em DASxPC apenas os indivíduos de *S. bonplandii* apresentaram  $r^2$  significativo (Tabela 4).

### Classe 4

Os indivíduos de *A. concolor* e *A. polyneuron* exibiram maiores DAS e DAP e *H. balansae* apresentou os menores valores (Figura 4 A). Como na classe 3, PC, AHC e AVC foram maiores nas espécies de subosque, seguidas da espécie de dossel e emergente, respectivamente (Figura 4 B, C). Os indivíduos de *H. balansae* apresentaram menores DAS e DAP para qualquer valor de altura quando comparados com os das espécies de subosque e de *A. polyneuron*. Para as demais relações, os indivíduos da espécie emergente não apresentaram  $r^2$  significativo (Tabela 5).

Figura 3. Comparação das variáveis arquiteturais: A- do diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▨); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▨) entre indivíduos da classe 3 (>3,0 m e ≤6,0 m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.



Nas relações de HxPC, HxAVC, DASxAVC, o  $\alpha$  das espécies de subosque foi maior que o dos indivíduos de *H. balansae* (Tabela 5), ou seja, para qualquer valor de altura os indivíduos de *A. concolor* e *S. bonplandii* apresentaram maiores PC e AVC e para qualquer valor de DAS apresentaram maiores AVC quando comparados com os indivíduos de *H. balansae*. Nas relações de DASxPC e DASxAHC não houve diferenças alométricas entre as espécies de subosque, indicando investimentos semelhantes na forma entre esses indivíduos. Para os indivíduos de *H. balansae* o  $r^2$  não foi significativo para essas relações (Tabela 5). Considerando HxAHC apenas para os indivíduos de *A. concolor* apresentaram  $r^2$  significativo.

Tabela 4. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) (N=32) e *Sorocea bonplandii* (S.b.) (N=28), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) (N=42) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) (N=37) pertencentes a classe 3 (>3,0 m e ≤6,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 3					
	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
	H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)		
A.c.	-0,311 <sup>a</sup>		0,591	-0,515 <sup>a</sup>		0,226
S.b.	-0,308 <sup>a</sup>	1,456 <sup>ns</sup>	0,587	-0,594 <sup>a</sup>	1,694 <sup>ns</sup>	0,359
H.b.	-0,440 <sup>b</sup>		0,668	-0,733 <sup>b</sup>		0,602
A.p.	-0,260 <sup>a</sup>		0,660	-0,574 <sup>a</sup>		0,721
	H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )		
A.c.	-0,491 <sup>a</sup>		0,301	-1,520 <sup>a</sup>		0,564
S.b.	-0,530 <sup>a</sup>	1,490 <sup>ns</sup>	0,486	-1,557 <sup>a</sup>	3,200 <sup>ns</sup>	0,302
H.b.	-0,614 <sup>b</sup>		0,270	-1,886 <sup>b</sup>		0,466
A.p.	-	-	ns	-2,001 <sup>b</sup>		0,176
	H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)		
A.c.	-0,909 <sup>a</sup>		0,577	-	-	ns
S.b.	-0,968 <sup>a</sup>	2,498 <sup>ns</sup>	0,553	-0,184	0,976	0,325
H.b.	-1,216 <sup>b</sup>		0,648	-	-	ns
A.p.	-	-	ns	-	-	ns
	DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )		
A.c.	-0,761 <sup>a</sup>		0,817	-0,336 <sup>a</sup>		0,536
S.b.	-0,806 <sup>a</sup>	2,082 <sup>ns</sup>	0,585	-0,402 <sup>a</sup>	1,657 <sup>ns</sup>	0,635
H.b.	-0,865 <sup>a</sup>		0,551	-0,434 <sup>a</sup>		0,519
A.p.	-1,361 <sup>b</sup>		0,301	-	-	ns

## Classe 5

Os indivíduos das espécies *H. balansae* e *A. polyneuron* não apresentaram diferenças em DAS e DAP (Figura 5 A). Os indivíduos da espécie de dossel exibiram maiores valores de PC, AHC e AVC (Figura 5 B, C). Nas relações de HxDAS, HxDAP e HxAHC, os indivíduos de *H. balansae* apresentaram maiores investimentos em DAS e DAP por incremento de altura e maiores valores de AHC para qualquer valor de altura, quando comparados com os de *A. polyneuron* (Tabela 6). Houve maior investimento em

AHC por incremento de DAS para os indivíduos de *A. polyneuron* (Tabela 6). Nas relações de HxAVC e DASxAVC o  $r^2$  foi significativo apenas para os indivíduos de *H. balansae*. Em HxPC e DASxPC tanto para *H. balansae* quanto para *A. polyneuron* não observou-se  $r^2$  significativo (Tabela 6).

Figura 4. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▣); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▣) entre indivíduos da classe 4 (>6,0 m e ≤ 9,0 m) de *Actinostemon concolor* (A.c.), *Sorocea bonplandii* (S.b.), *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.

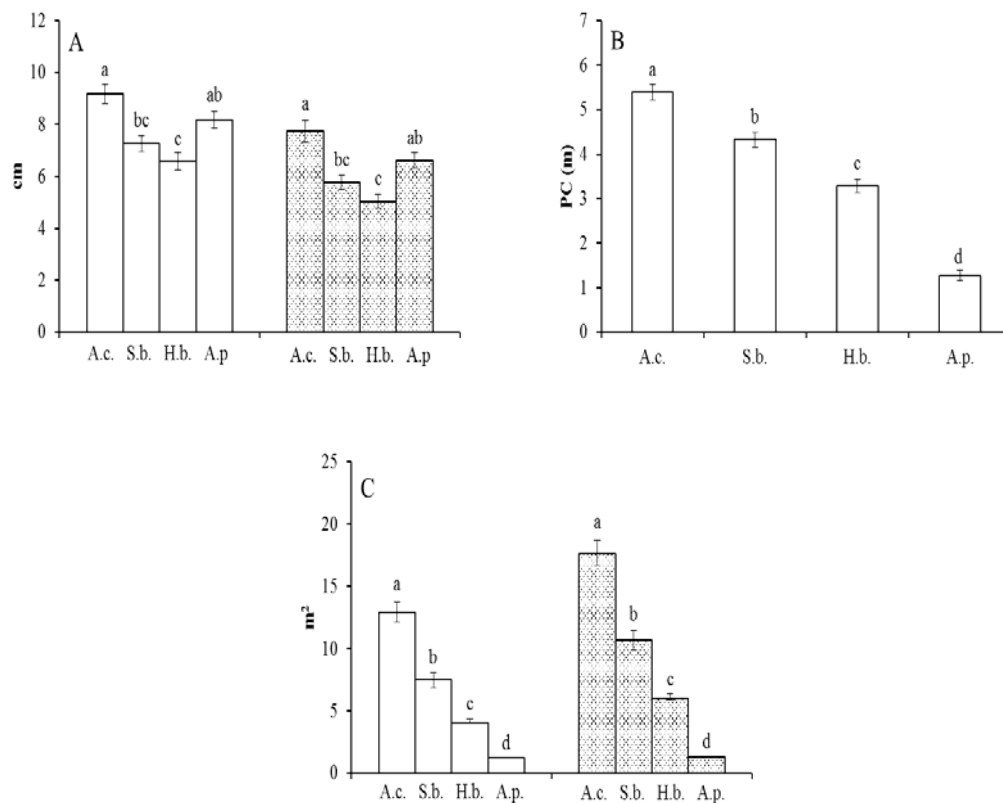


Tabela 5. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (*A.c.*) (N=31) e *Sorocea bonplandii* (*S.b.*) (N=29), de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=29) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=22) pertencentes a classe 4 (>6,0 m e ≤9,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade, teste de Wald e teste de multicomparação,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 4					
	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
	H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)		
<i>A.c.</i>	-0,678 <sup>a</sup>		0,386	-0,953 <sup>a</sup>		0,371
<i>S.b.</i>	-0,720 <sup>a</sup>	1,861 <sup>ns</sup>	0,499	-1,011 <sup>a</sup>	2,083 <sup>ns</sup>	0,491
<i>H.b.</i>	-0,803 <sup>b</sup>		0,369	-1,111 <sup>b</sup>		0,478
<i>A.p.</i>	-0,688 <sup>a</sup>		0,604	-0,973 <sup>a</sup>		0,668
	H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )		
<i>A.c.</i>	-0,950 <sup>a</sup>		0,530	-1,943	3,456	0,240
<i>S.b.</i>	-0,986 <sup>a</sup>	1,911 <sup>ns</sup>	0,380	-	-	ns
<i>H.b.</i>	-1,147 <sup>b</sup>		0,300	-	-	ns
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-	-	ns
	H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)		
<i>A.c.</i>	-1,549 <sup>a</sup>		0,539	-0,148 <sup>a</sup>		0,207
<i>S.b.</i>	-1,673 <sup>b</sup>	3,165 <sup>ns</sup>	0,333	-0,152 <sup>a</sup>	0,915 <sup>ns</sup>	0,384
<i>H.b.</i>	-1,985 <sup>c</sup>		0,317	-	-	ns
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-	-	ns
	DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )		
<i>A.c.</i>	-0,552 <sup>a</sup>		0,532	-0,245 <sup>a</sup>		0,463
<i>S.b.</i>	-0,625 <sup>a</sup>	1,719 <sup>ns</sup>	0,380	-0,313 <sup>a</sup>	1,543 <sup>ns</sup>	0,485
<i>H.b.</i>	-	-	ns	-0,493 <sup>b</sup>		0,228
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-	-	ns

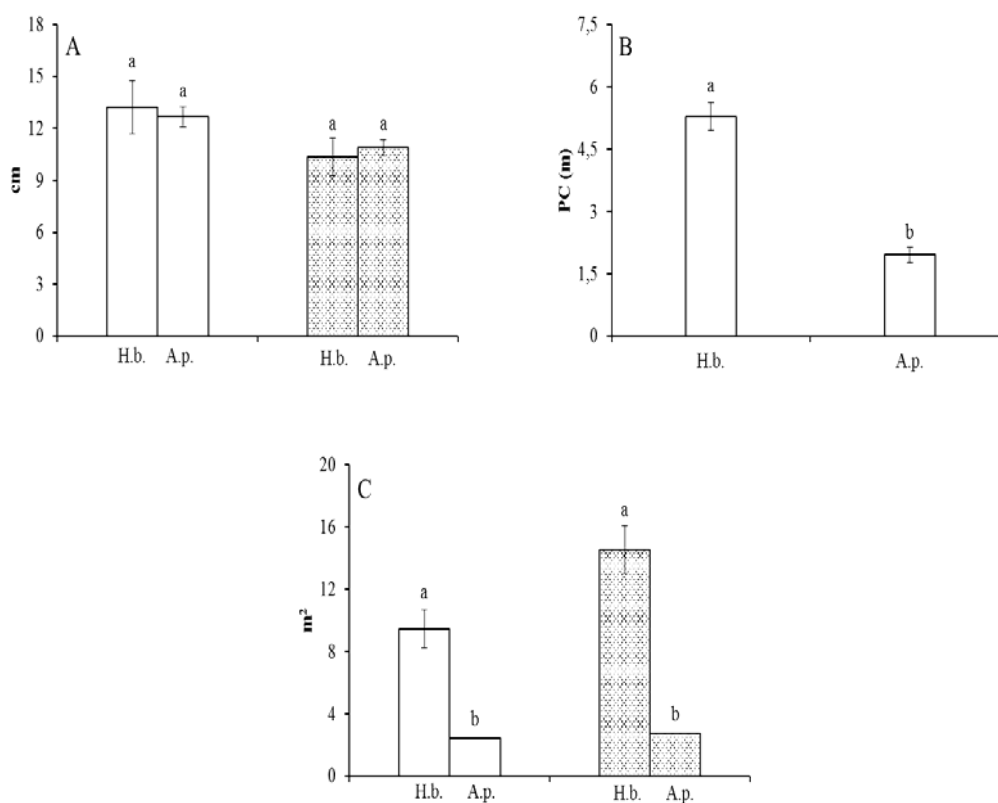
## Classe 6

Os indivíduos de *H. balansae* exibiram maiores DAS, DAP, PC, AHC e AVC que os indivíduos de *A. polyneuron* (Figura 6 A, B, C). Para os indivíduos de *H. balansae* observaram-se maiores investimentos em DAS e DAP por incremento de altura e maiores AHC e AVC para qualquer valor de altura (Tabela 7). Os investimentos em AVC por incremento de DAS foi maior nos indivíduos de *A. polyneuron*. Na relação

de DASxAHC não houve diferença entre os indivíduos das duas espécies (Tabela 7).

Em HxPC e DASxPC o  $r^2$  de *A. polyneuron* não foi significativo (Tabela 7), indicando variação na forma dos indivíduos para essas relações.

Figura 5. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▣); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▣) entre indivíduos da classe 5 (>9,0 m e ≤ 15,0 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA,  $p < 0,05$ ). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.



### Classe 6x7

Os indivíduos de *A. polyneuron* exibiram os maiores DAS, DAP e AHC.

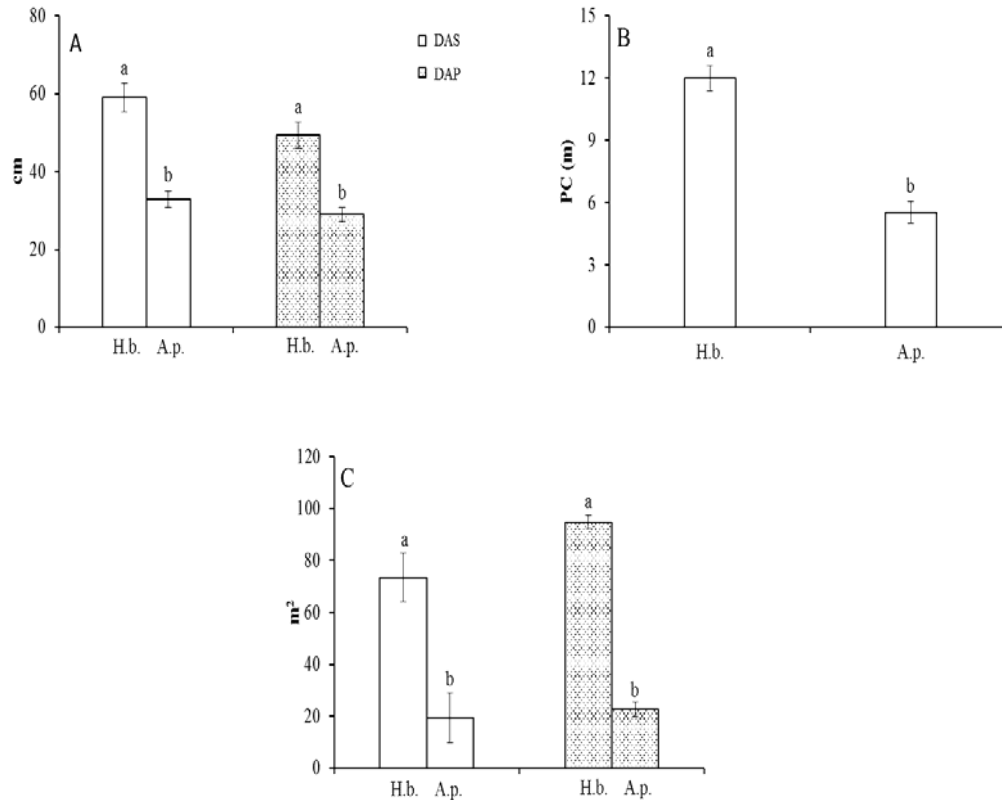
Não houve diferenças das variáveis PC e AVC entre a espécie de dossel e a emergente (Figura 7), indicando que os indivíduos de *A. polyneuron* apresentaram um aumento do investimento em biomassa em diâmetro do caule e área da copa após ultrapassarem o dossel. Em HxDAP, HxPC, HxAHC, HxAVC, DASxPC e DASxAVC o  $\alpha$  de *H.*

*balansae* foi maior que o de *A. polyneuron* (Tabela 8). Os indivíduos de *A. polyneuron* apresentaram maiores investimentos em DAS por incremento em altura quando comparados com *H. balansae* (Tabela 8). Na relação de DASxAHC, as duas espécies não diferiram entre si tanto em  $\beta$  como em  $\alpha$  (Tabela 8).

Tabela 6. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos da espécie de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=23) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=28) pertencentes a classe 5 (>9,0 m e  $\leq$ 15,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 5					
	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
		H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)	
<i>H.b.</i>	-2,284	3,265 <sup>a</sup>	0,572	-2,119	3,009 <sup>a</sup>	0,583
<i>A.p.</i>	-0,777	1,781 <sup>b</sup>	0,486	-0,809	1,749 <sup>b</sup>	0,506
		H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-	-	ns	-3,870 <sup>a</sup>	-	0,391
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-4,599 <sup>b</sup>	4,645 <sup>ns</sup>	0,311
		H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)	
<i>H.b.</i>	-2,426	3,443	0,303	-	-	ns
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-	-	ns
		DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-0,435	1,249 <sup>b</sup>	0,435	-0,018	1,055	0,424
<i>A.p.</i>	-2,935	2,942 <sup>a</sup>	0,320	-	-	ns

Figura 6. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▨); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▨) entre indivíduos da classe 6 (>15,0 m e ≤25,0 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.



### Comparações entre IIC e ITC

O IIC dos indivíduos das diferentes espécies não diferiu para a maioria das classes, tanto na estação seca, como na úmida, com exceção dos indivíduos de *A. polyneuron* ao atingirem alturas  $\geq 15$  m na estação úmida, a ao ultrapassarem o dossel na estação seca (Tabela 9). Embora as espécies tenham se desenvolvido sob mesma disponibilidade de luz, a maneira como esta foi interceptada diferiu entre as espécies.

Tabela 7. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturais altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos da espécie de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=30) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=24) pertencentes a classe 6 (>15,0 m e ≤25 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 6					
	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
		H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)	
<i>H.b.</i>	-2,488	3,279 <sup>a</sup>	0,762	-3,004	3,615 <sup>a</sup>	0,782
<i>A.p.</i>	-1,203	2,086 <sup>b</sup>	0,612	-1,288	2,110 <sup>b</sup>	0,639
		H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-1,933	2,322	0,359	-5,350 <sup>a</sup>		0,439
<i>A.p.</i>	-	-	ns	-5,939 <sup>b</sup>	5,511 <sup>ns</sup>	0,496
		H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)	
<i>H.b.</i>	-4,508 <sup>a</sup>		0,447	-0,171	0,708	0,328
<i>A.p.</i>	-5,177 <sup>b</sup>	4,972 <sup>ns</sup>	0,362	-	-	ns
		DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-1,830 <sup>a</sup>		0,676	-0,705	1,499 <sup>b</sup>	0,583
<i>A.p.</i>	-1,891 <sup>a</sup>	2,060 <sup>ns</sup>	0,664	-2,366	2,422 <sup>a</sup>	0,421

Tanto na estação úmida, quanto na estação seca, o ITC dos indivíduos das espécies de subosque foi maior, para a maioria das classes de tamanho (Tabela 9). Apenas na classe 1, na estação úmida, não houve diferença do ITC entre as espécies e na estação seca, *A. polyneuron* não diferiu das espécies de subosque. Na classe 2 (estação úmida), *A. polyneuron* apresentou valor intermediário de ITC, não diferindo de *A. concolor*, que apresentou maior valor de ITC junto com *S. bonplandii* e não diferindo também de *H. balansae*, cujo ITC foi o menor (Tabela 9). Nas classes 5 e 6, *H. balansae* apresentou maior interceptação de luz que *A. polyneuron*. Ao analisar a classe 6x7, *A. polyneuron* apresentou maior valor de ITC, tanto na estação úmida, quanto na seca (Tabela 9), indicando um aumento de interceptação de luz para esses indivíduos ao atingirem alturas superiores a 25 m.

Figura 7. Comparação das variáveis arquiteturais: A- diâmetro a altura do solo (DAS, cm □) e diâmetro a altura do peito (DAP, cm ▣); B- profundidade da copa (PC, m); C- área horizontal da copa (AHC, m<sup>2</sup> □) e área vertical da copa (AVC, m<sup>2</sup> ▣) entre indivíduos da classe 6 (>15,0 m e ≤25 m) de *Holocalyx balansae* (H.b.) e da classe 7 (>25 m) de *Aspidosperma polyneuron* (A.p.) da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais acima das barras indicam que não houve diferença significativa (ANOVA, p<0,05). Os traços na porção superior das barras se referem ao erro padrão.

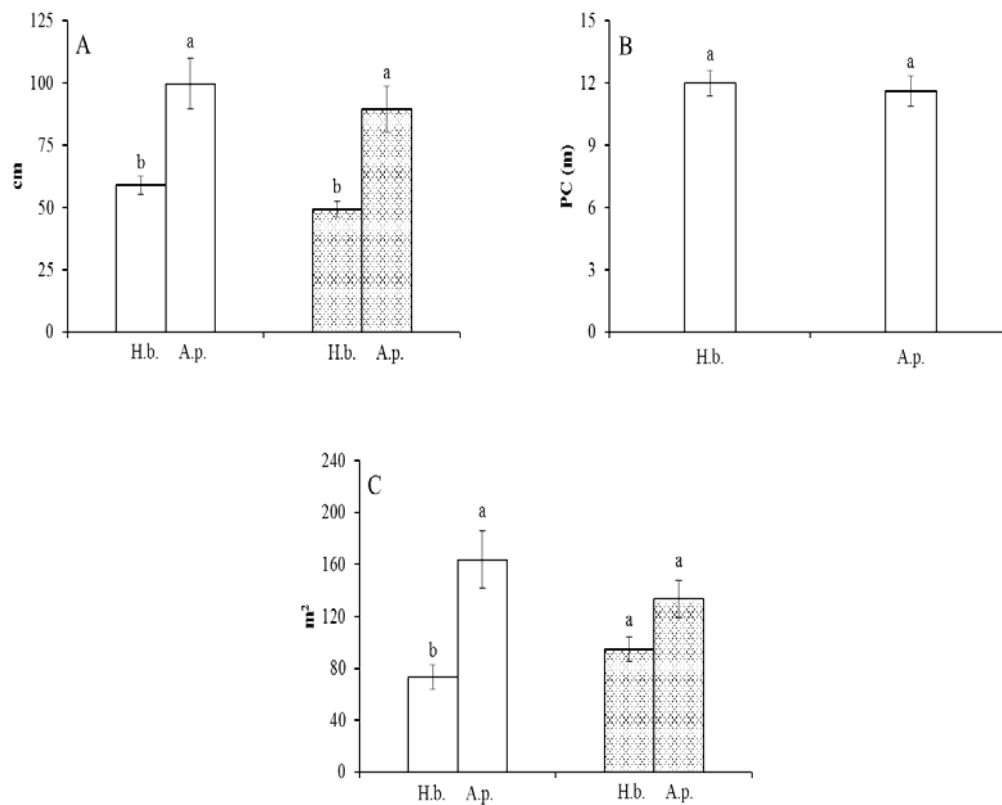


Tabela 8. Estimativa de parâmetros das relações alométricas, com os dados transformados em log de base 10, realizadas por SMA, entre as variáveis arquiteturas altura total (H), diâmetro a altura do solo (DAS), diâmetro a altura do peito (DAP), profundidade da copa (PC), área horizontal da copa (AHC) e área vertical da copa (AVC) entre indivíduos das espécies de dossel *Holocalyx balansae* (*H.b.*) (N=30) da classe 6 (>15,0 m e ≤25,0 m) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (*A.p.*) (N=14) pertencentes a classe 7 (≥25,0 m), na Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma coluna, para cada relação alométrica, indicam valores que não diferem significativamente entre si (teste de probabilidade e teste de Wald,  $p < 0,05$ );  $r^2$  = coeficiente de determinação.  $p \leq 0,01$ .

Espécies	Classe 6 x 7					
	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$	intercepto	Inclinação da reta	$r^2$
		H(m)xDAS(cm)			H(m)xDAP(cm)	
<i>H.b.</i>	-2,488	3,279 <sup>b</sup>	0,762	-3,372 <sup>a</sup>		0,782
<i>A.p.</i>	-5,196	4,809 <sup>a</sup>	0,721	-3,891 <sup>b</sup>	3,900 <sup>ns</sup>	0,721
		H(m)xPC(m)			H(m)xAHC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-2,316 <sup>a</sup>		0,359	-7,126 <sup>a</sup>		0,439
<i>A.p.</i>	-2,848 <sup>b</sup>	2,619 <sup>ns</sup>	0,610	-8,139 <sup>b</sup>	6,888 <sup>ns</sup>	0,409
		H(m)xAVC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xPC(m)	
<i>H.b.</i>	-5,343 <sup>a</sup>		0,447	-0,122 <sup>a</sup>		0,328
<i>A.p.</i>	-6,304 <sup>b</sup>	5,621 <sup>ns</sup>	0,558	-0,285 <sup>b</sup>	0,680 <sup>ns</sup>	0,536
		DAS(cm)xAHC(m <sup>2</sup> )			DAS(cm)xAVC(m <sup>2</sup> )	
<i>H.b.</i>	-1,513 <sup>a</sup>		0,676	-0,701 <sup>a</sup>		0,583
<i>A.p.</i>	-1,573 <sup>a</sup>	1,878 <sup>ns</sup>	0,738	-0,875 <sup>b</sup>	1,497 <sup>ns</sup>	0,743

Tabela 9. Índice de iluminação da Copa (IIC) e índice de interceptação da Copa (ITC) entre indivíduos das espécies de subosque *Actinostemon concolor* (A.c.) e *Sorocea bonplandii* (S.b.), de dossel *Holocalyx balansae* (H.b.) e da espécie emergente *Aspidosperma polyneuron* (A.p.), considerando cada classe de altura separadamente da Floresta Estacional Semidecidual do Parque Estadual Mata do Godoy, Londrina, PR. Letras iguais na mesma linha indicam valores que não diferem significativamente entre si (Kruskal-Wallis e Teste de multicomparação,  $p < 0,05$ , para as classes 1 a 4; Mann-Whitney U,  $p < 0,05$ , para as classes 5, 6 e 6x7, relacionadas ao IIC; ANOVA e Tukey,  $p < 0,05$ , relacionados ao ITC). IIEU= índice de iluminação da copa estação úmida; IICES= índice de iluminação da copa estação seca; ITCEU= índice de interceptação da copa estação úmida; ITCES= índice de interceptação da copa estação seca; N=número indivíduos.

Classes de altura	A.c.	N	S.b.	N	H.b.	N	A.p.	N
IICEU								
Classe 1	2,12 <sup>a</sup>	36	2,05 <sup>a</sup>	30	2,35 <sup>a</sup>	20	2,13 <sup>a</sup>	34
Classe2	2,07 <sup>a</sup>	34	2,23 <sup>a</sup>	27	2,29 <sup>a</sup>	30	2,26 <sup>a</sup>	35
Classe3	2,12 <sup>a</sup>	32	2,27 <sup>a</sup>	28	2,34 <sup>a</sup>	42	2,39 <sup>a</sup>	37
Classe 4	2,29 <sup>a</sup>	31	2,38 <sup>a</sup>	29	2,46 <sup>a</sup>	29	2,47 <sup>a</sup>	22
Classe 5	-	-	-	-	2,71 <sup>a</sup>	23	2,75 <sup>a</sup>	28
Classe 6	-	-	-	-	3,52 <sup>b</sup>	30	4,12 <sup>a</sup>	24
Classe 6x7	-	-	-	-	3,52 <sup>b</sup>	30	4,89 <sup>a</sup>	14
IICES								
Classe 1	2,46 <sup>a</sup>	36	2,44 <sup>a</sup>	30	2,42 <sup>a</sup>	20	2,46 <sup>a</sup>	34
Classe2	2,43 <sup>a</sup>	34	2,49 <sup>a</sup>	27	2,50 <sup>a</sup>	30	2,53 <sup>a</sup>	35
Classe3	2,48 <sup>a</sup>	32	2,52 <sup>a</sup>	28	2,48 <sup>a</sup>	42	2,50 <sup>a</sup>	37
Classe 4	2,56 <sup>a</sup>	31	2,47 <sup>a</sup>	29	2,60 <sup>a</sup>	29	2,54 <sup>a</sup>	22
Classe 5	-	-	-	-	2,91 <sup>a</sup>	23	2,83 <sup>a</sup>	28
Classe 6	-	-	-	-	3,76 <sup>a</sup>	30	4,15 <sup>a</sup>	24
Classe 6x7	-	-	-	-	3,76 <sup>b</sup>	30	4,89 <sup>a</sup>	14
ITCEU								
Classe 1	1,16 <sup>a</sup>	36	1,25 <sup>a</sup>	30	0,66 <sup>a</sup>	20	1,04 <sup>a</sup>	34
Classe2	4,48 <sup>ab</sup>	34	5,81 <sup>a</sup>	27	2,62 <sup>c</sup>	30	3,13 <sup>bc</sup>	35
Classe3	20,3 <sup>a</sup>	32	21,0 <sup>a</sup>	28	8,45 <sup>b</sup>	42	5,02 <sup>c</sup>	37
Classe 4	70,1 <sup>a</sup>	31	45,6 <sup>b</sup>	29	24,7 <sup>c</sup>	29	7,39 <sup>d</sup>	22
Classe 5	-	-	-	-	80,4 <sup>a</sup>	23	25,3 <sup>b</sup>	28
Classe 6	-	-	-	-	969 <sup>a</sup>	30	393 <sup>b</sup>	24
Classe 6x7	-	-	-	-	969 <sup>b</sup>	30	4079 <sup>a</sup>	14
ITCES								
Classe 1	1,44 <sup>a</sup>	36	1,66 <sup>a</sup>	30	0,71 <sup>b</sup>	20	1,28 <sup>a</sup>	34
Classe2	5,92 <sup>a</sup>	34	7,43 <sup>a</sup>	27	3,19 <sup>b</sup>	30	3,65 <sup>b</sup>	35
Classe3	27,4 <sup>a</sup>	32	25,5 <sup>a</sup>	28	9,68 <sup>b</sup>	42	5,45 <sup>c</sup>	37
Classe 4	87,2 <sup>a</sup>	31	47,02 <sup>b</sup>	29	27,5 <sup>c</sup>	29	7,93 <sup>d</sup>	22
Classe 5	-	-	-	-	88,8 <sup>a</sup>	23	26,8 <sup>b</sup>	28
Classe 6	-	-	-	-	1093 <sup>a</sup>	30	384 <sup>b</sup>	24
Classe 6x7	-	-	-	-	1093 <sup>b</sup>	30	4079 <sup>a</sup>	14

## DISCUSSÃO

Neste estudo foi investigado se indivíduos pertencentes a espécies, que na maturidade, ocupam os diferentes estratos da floresta apresentam variações na arquitetura, quando comparados entre classes de alturas semelhantes. Testou-se também, nessas mesmas classes de altura se indivíduos de espécies pertencentes ao subosque apresentam diferença em sua arquitetura. Considerando a importância da luminosidade no crescimento e desenvolvimento de indivíduos arbóreos florestais investigou-se, ainda, se com a mesma disponibilidade de luz dentro de cada classe de altura a interceptação de luz difere entre os indivíduos pertencentes às espécies dos diferentes estratos da floresta.

Para a maioria das classes, as espécies de subosque apresentaram maiores valores de AHC e AVC para qualquer altura e também apresentaram, na maioria das comparações, maiores valores de PC, AHC e AVC. Copas mais largas permitem aos indivíduos melhor exploração da luz (Kohyama 1987, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2006), como foi observado para as espécies de subosque quando comparado o ITC com as espécies dos outros estratos. Maiores áreas de copa aumentam a captação de luz e o ganho de carbono para esses indivíduos que vivem sob o dossel onde há limitação de luz, aumentando, assim, suas chances de sobrevivência (King 1990, Poorter *et al.* 2006). Além disso, copas mais profundas aumentam as chances de interceptação de luz lateral (King & Clark 2011, Osunkoya *et al.* 2007, Sterck *et al.* 2001), luminosidade predominante no subosque da Floresta Estacional do PEMG. Estudos comparando a arquitetura de indivíduos de diferentes estratos também encontraram maiores investimentos em copa para os indivíduos que atingem menores estaturas (Bohlman & O'Brien 2006, King 1990, 1996, Osunkoya *et al.* 2007, Poorter *et al.* 2003, 2006, Sterck *et al.* 2001).

Os indivíduos de subosque apresentaram para qualquer valor de altura, menores valores de DAS nas classes 1 e 2 (até 3 m de altura), quando comparados com os indivíduos da espécie emergente *A. polyneuron*. No entanto, a partir da classe 3, para as relações de HxDAS e HxDAP, as espécies de subosque não apresentaram tal diferença em  $\alpha$ , indicando que para qualquer valor de altura as três espécies apresentaram mesmos valores de DAS e DAP. Menores incrementos em diâmetro do caule possibilitam maior investimento em altura (Alves *et al.* 2004, King 1990) e o maior incremento em altura em detrimento do diâmetro do caule para os juvenis de subosque facilitaria o alcance de maior luminosidade neste ambiente sombreado, o que contribuiria para o ganho de biomassa da planta como um todo (Osunkoya *et al.* 2007, Thomas 1996). Os maiores incrementos em diâmetro do caule nas classes 3 e 4, segundo Alves & Santos (2002), aumentam a margem de segurança contra quebra, já que esses indivíduos estarão sob influência da queda de galhos advindos dos estratos superiores durante todo seu ciclo de vida (Alves & Santos 2002, King 1990, Sterck & Bongers 1998), além de possibilitar maiores suportes às copas (Sterck & Bongers 1998). Portanto, esses maiores investimentos em diâmetro trazem a estabilidade mecânica necessária para esses indivíduos sobreviverem no subosque (Kohyama *et al.* 2003).

Os indivíduos da espécie emergente *A. polyneuron*, até a classe 4, para qualquer valor de altura apresentaram maiores valores de DAS e DAP e, em relação as variáveis arquiteturais, na maioria das vezes, apresentaram maiores valores de diâmetro do caule quando comparados com os indivíduos de *H. balansae*. Em um estudo realizado no PEMG, Batista *et al.* (2014) ao comparar a arquitetura de indivíduos de diferentes espécies até 3 m de altura também encontrou maiores incrementos em diâmetro do caule para os indivíduos de *A. polyneuron* quando comparados com os de *H. balansae*. *Aspidosperma polyneuron* pode ficar muito tempo no subosque até encontrar um

ambiente de luz propício para o seu desenvolvimento (Batista *et al.* 2014) e maiores investimentos em diâmetro de caule, podem trazer maiores chances de sobrevivência no subosque (Alves & Santos 2002).

A partir da classe 5, os indivíduos de *H. balansae* passaram a apresentar maiores investimentos em DAS e DAP por incremento de altura. Em relação às variáveis arquiteturais, na classe 5, não há diferença de DAS e DAP entre as espécies de dossel e emergente. Já na classe 6, os indivíduos de *H. balansae* apresentaram maiores valores de diâmetro do caule que os indivíduos de *A. polyneuron*. O ITC dos indivíduos de *H. balansae* foi maior que o dos de *A. polyneuron* nas duas classes e tanto na classe 5 como na 6, os indivíduos de *H. balansae* apresentaram maiores PC, AHC e AVC (Figura 5 e 6). A maior interceptação de luz possibilita maior produção de biomassa que pode ser investida em diâmetro do caule, permitindo maior margem de segurança contra quebra (Sterck & Bongers 1998) e suporte às copas (Alves & Santos 2002). Além disso, a partir da classe 6 os indivíduos de *H. balansae* não mais investirão em altura, e a biomassa outrora utilizada para tal investimento pode ser utilizada para o incremento em diâmetro do caule e copa (Poorter *et al.* 2006, Thomas 1996).

É importante ressaltar que quando comparadas as variáveis arquiteturais da classe 6 de *H. balansae* com a classe 7 de *A. polyneuron*, foi observado que os indivíduos da espécie emergente apresentaram maiores DAS e DAP e maiores ou iguais investimentos em copa que *H. balansae* (Figura 7), indicando que a partir de 25 metros de altura, quando a espécie ultrapassa o dossel, os indivíduos de *A. polyneuron* passam a investir mais em copa e diâmetro do caule. King & Clark (2011) constataram maior investimento em copa de indivíduos emergentes a partir de 25 m de altura, quando estes ultrapassam o dossel. A interceptação de luz dos indivíduos é afetada pelas copas dos indivíduos que estão se desenvolvendo ao seu redor (Vieilledent *et al.* 2010). A partir de

25 metros de altura, os indivíduos de *A. polyneuron* emergem do dossel, onde a presença de indivíduos vizinhos diminui drasticamente (observação pessoal), permitindo a expansão de suas copas, e aumentando, assim como observado, a interceptação de luz (Tabela 9). Maior interceptação de luz possibilita maior produção de biomassa (Bohlman & O'Brien 2006, Poorter *et al.* 2006), que pode ser investida tanto em diâmetro do caule quanto em copa.

Os indivíduos de *A. polyneuron* apresentaram até a classe 5 ( $>9,0$  m e  $\leq 15,0$  m) mais variações na forma, com várias relações alométricas com coeficientes de determinação não significativos. Na classe 6 ( $>15$  m e  $\leq 25$  m), essa quantidade diminui para desaparecer na classe 7 ( $>25$  m). O dossel da floresta do PEMG pode variar de 10 a 20 metros de altura (Bianchini *et al.* 2001) e, considerando que a maioria das relações alométricas neste estudo envolve as variáveis arquiteturais relacionadas à copa (PC, AVC e AHC), esses resultados indicam que os indivíduos de *A. polyneuron* apresentaram grande variação na forma da copa até atingirem o dossel. Segundo Alves & Santos (2002), a plasticidade morfológica da copa pode aumentar as chances de sobrevivência dos indivíduos quando no subosque, pois permite a ocupação do espaço de diferentes maneiras, o que pode ser vantajoso em situações de competição interespecífica.

Na classe 1, para qualquer valor de altura os indivíduos de *A. concolor* apresentaram maiores PC e AVC que os de *S. bonplandii* e para qualquer valor de DAS maiores AHC e AVC. Para esta mesma classe, na comparação das variáveis arquiteturais, os indivíduos de *S. bonplandii* apresentaram maior DAS quando comparados com os indivíduos de *A. concolor*. Na classe 2, houve diferença apenas na relação de HxAVC, em que os indivíduos de *A. concolor* para qualquer valor de altura apresentaram maiores AVC. Não houve diferenças entre as relações alométricas dos

indivíduos dessas duas espécies nas demais classes de altura. Tais resultados indicam que as principais diferenças alométricas envolveram investimentos verticais em copa, e foram principalmente relacionadas aos juvenis dessas duas espécies. Segundo King & Clark (2011), Osunkoya *et al.* (2007) e Sterck *et al.* (2001), o maior investimento vertical em copa, pode aumentar as chances de interceptação de luz lateral, luminosidade predominante no subosque. Os menores investimentos em profundidade da copa para os indivíduos de *S. bonplandii* possibilitam maior alocação de biomassa em diâmetro do caule, podendo aumentar as chances de sobrevivência dos indivíduos dessa espécie quando juvenis, pois maior investimento em diâmetro do caule aumenta o suporte mecânico desses indivíduos contra quebras, influenciadas por quedas de galhos advindos do dossel (Gelder *et al.* 2006, King 1990). Sendo assim, os diferentes investimentos em biomassa entre essas duas espécies, indicam que seus indivíduos podem apresentar diferentes estratégias de sobrevivência quando juvenis.

Na comparação das variáveis arquiteturais, na classe 4, os indivíduos de *A. concolor* apresentaram maiores valores de DAS, DAP, PC AHC e AVC quando comparados com os indivíduos de *S. bonplandii*, indicando que por mais que as relações alométricas tenham sido semelhantes, ou seja, embora a biomassa tenha sido investida de forma semelhante nas diferentes partes da planta para os indivíduos dessas duas espécies, *A. concolor* quando atinge sua estatura máxima, continua a investir mais em diâmetro do caule e copa quando comparados com os indivíduos de *S. bonplandii*. O ITC dos indivíduos de *A. concolor* nesta classe de altura é duas vezes maior que os de *S. bonplandii* na estação seca e também apresenta grande diferença na estação úmida. A maior interceptação de luz por esses indivíduos pode permitir maior produção de biomassa (Bohlman & O'Brien 2006, Poorter *et al.* 2006), possibilitando maiores investimentos tanto em diâmetro do caule como em copa.

A primeira hipótese do trabalho de que a arquitetura dos indivíduos quando comparados entre alturas semelhantes, ao longo do desenvolvimento, é influenciada pelo estrato ao qual a espécie pertence foi aceita, já que os indivíduos das espécies de subosque, de uma maneira geral, apresentaram maiores investimentos em copa quando comparados com os das espécies de dossel e emergente e maiores investimentos em diâmetro do caule quando comparados com os indivíduos de *H. balansae*. Além disso, foram observadas diferenças arquiteturais intraclasse entre as espécies de dossel e emergente ao longo de todo o desenvolvimento. Porém, é importante ressaltar que, quando o estudo intraclasse da influência do estrato ao qual a espécie pertence na forma dos indivíduos é feito em diferentes classes de altura, fica claro que os investimentos em biomassa para as diferentes partes das plantas não ocorrem tão separadamente entre as espécies dos diferentes estratos. Esses resultados enfatizam a importância de se analisar a arquitetura dos indivíduos em diferentes classes de altura, para possibilitar a detecção mais detalhada de como os indivíduos moldam sua forma no decorrer de seu desenvolvimento, o que possivelmente não ocorreria caso a análise fosse feita abrangendo ampla faixa de altura entre os indivíduos. King (1990), Poorter *et al.* (2006) e Sterck & Bongers (2001) em seus estudos encontraram variação na forma dos indivíduos conforme a altura analisada. Osunkoya *et al.* (2007) também concluíram que, dependendo da maneira como se mede as variações da forma entre os indivíduos (utilizando valores médios coletados no decorrer da ontogenia ou comparando indivíduos a uma mesma estatura), pode haver alterações nos resultados.

Embora os indivíduos das duas espécies de subosque (*A. concolor* e *S. bonplandii*) tenham apresentado convergência em sua forma, algumas relações alométricas e variáveis arquiteturais diferiram entre elas, ou seja, a segunda hipótese foi confirmada. As diferenças nas relações alométricas nas primeiras classes de altura

indicaram estratégias de sobrevivência diferentes entre os juvenis destas espécies. Segundo King (1990), entender como a forma dos juvenis influencia sua sobrevivência é essencial para o entendimento da dinâmica das populações nas florestas. Além disso, as diferenças na forma dos indivíduos adultos entre essas duas espécies também pode ser importante, pois diferenças entre espécies pertencentes a um mesmo estrato podem levar a um equilíbrio e conseqüente coexistência entre esses indivíduos na comunidade arbórea (Yamada *et al.* 2005).

O IIC tanto da estação seca como da úmida não diferiu entre os indivíduos das espécies dos diferentes estratos, em praticamente todas as classes, indicando que a disponibilidade de luz foi semelhante entre esses indivíduos no decorrer do desenvolvimento. Contudo, para a maioria das classes (exceto classe 1) os indivíduos das espécies de subosque apresentaram maiores interceptações de luz tanto na estação úmida quanto na seca, aceitando-se, assim, a terceira hipótese. A maior interceptação luminosa possibilita aumento no ganho de biomassa (Bohlman & O'Brien 2006, Poorter *et al.* 2006), o que se torna vantajoso para a sobrevivência daqueles indivíduos, que vivem todo seu ciclo de vida num ambiente com limitação de luz (Iida *et al.* 2011, King 1990).

No perfil florestal o gradiente vertical e horizontal de disponibilidade de luz tem grande influência nas diferentes arquiteturas dos indivíduos, favorecendo a coexistência entre eles na floresta (Poorter *et al.* 2006, Thomas 1996). A variação no gradiente vertical influencia a arquitetura dos indivíduos de espécies que pertencem aos diferentes estratos (Thomas 1996) e o gradiente horizontal tem influência na arquitetura dos indivíduos de espécies que apresentam diferentes tolerâncias à sombra (Poorter *et al.* 2006). Segundo Iida *et al.* (2011), o fato do gradiente vertical de luz ser mais estável que o gradiente horizontal (maior dependência de abertura de clareiras) no ambiente

florestal, pode fazer com que a arquitetura do indivíduo seja mais influenciada pelo estrato ao qual as espécies pertencem do que pela sua tolerância à sombra. No estudo observou-se que sob mesma disponibilidade de luz a arquitetura dos indivíduos das diferentes classes diferiu dependendo do estrato ao qual a espécie pertence. O fato de os indivíduos das espécies estudadas estarem se desenvolvendo sob mesmo regime de luz, indica semelhança em sua tolerância a sombra. Portanto pode-se inferir que as diferenças arquiteturais entre os indivíduos das espécies estudadas se deram, principalmente, pelo fato de elas pertencerem aos diferentes estratos da floresta.

## REFERÊNCIAS

ALDER, D. & SYNNOT, J. 1992. *Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest*. Oxford University Press, Oxford. 124 pp.

ALVES, L. F. & SANTOS, F. M. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, south-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18: 245-260.

ALVES, L. F., MARTINS, F. R. & SANTOS, F. A. M. 2004. Allometry of a neotropical palm, *Euterpe edulis* Mart. *Acta Botanica Brasilica* 18:369-374.

ARCHIBALD, S. & BOND, W. J. 2003. Growing tall vs growing wide: tree architecture and allometry of *Acacia karroo* in forest, savanna, and arid environments. *Oikos* 102: 3-14.

BATISTA, N. A., BIANCHINI, E., CARVALHO, E. S. & PIMENTA, J. A. 2014. Architecture of tree species of different strata developing in environments with the same light intensity in a semideciduous forest in southern Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 28: 34-45.

BIANCHINI, E., PIMENTA, J. A. & SANTOS, F. A. M. 2001. Spatial and temporal variation in the canopy cover in a tropical semi-deciduous forest. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 44: 269-276.

BIANCHINI, E., POPOLO, R. S., DIAS, M. C. & PIMENTA, J. A. 2003. Diversidade e estrutura de espécies arbóreas em área alagável do município de Londrina, Sul do Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 17: 405-419.

BOHLMAN, S. & O'BRIEN, S. 2006. Allometry, adult stature and regeneration requirement of 65 tree species on Barro Colorado Island, Panama. *Journal of Tropical Ecology* 22: 123-136.

BONGERS, F., POPMA, J., CASTILLO, J. M & CARABIAS, J. 1988. Structure and floristic composition of the low-land rain forest of Los Tuxtlas, México. *Vegetatio* 74: 55-80.

CLARK, D. A. & CLARK, D. B. 1992. Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs* 62: 315-344.

DAVIES, S. J., PALMIOTTO, P. A., ASHTON, P. S., LEE, H. S & LAFRANKIE, J. V. 1998. Comparative ecology of 11 sympatric species of *Macaranga* in Borneo: tree distribution in relation to horizontal and vertical resource heterogeneity. *Journal of Ecology* 86: 662–673.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 412 pp.

GELDER, H. A. V., POORTER, L. & STERCK, F. J. 2006. Wood, allometry, and life-history variation in a tropical rain forest tree community. *New Phytologist* 171: 367-378.

IIDA, Y., KOHYAMA, T. S., KUBO, T., KASSIM, A. R., POORTER, L., STERCK, F. & POTTS, M. D. 2011. Tree architecture and life-history strategies across 200 co-occurring tropical tree species. *Functional Ecology* 25: 1260-1268.

KING, D. A. 1990. Allometry of saplings and understory trees of Panamanian forest. *Functional Ecology* 4: 27-32.

KING, D. A. 1996. Allometry and life history of tropical trees. *Journal of Tropical Ecology* 12: 25-44.

KING, D. A. & CLARK, D. A. 2011. Allometry of emergent tree species from saplings to above-canopy adults in a Costa Rica rain forest. *Journal of Tropical Ecology* 27: 573-579.

KING, D. A., DAVIES, S. J., NUR SUPARDI, M. N. & TAN, S. 2005 Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forest of Malaysia. *Functional Ecology* 19: 445-453.

KOBYAMA, T. 1987 Significance of architecture and allometry in saplings. *Functional Ecology* 1: 399-404.

KOBYAMA, T. & HOTTA, M. 1990. Significance of allometry in tropical saplings. *Functional Ecology* 4: 515- 521.

KOBYAMA, T., SUZUKI, K., PARTOMIHARDJO, T., YAMADA, T. & KUBO, T. 2003. Tree species differentiation in growth, recruitment and allometry in relation to maximum height in a Bornean mixed dipterocarp forest. *Journal of Ecology* 91: 797–806.

NIKLAS, K. J. 1994. *Plant allometry: the scaling of form and process*. The University of Chicago Press, Chicago. 935 pp.

- NIKLAS, K. J. 1995. Size-dependent allometry of tree height, diameter and trunk taper. *Annals of Botany* 75: 217-227.
- NIKLAS, K. J., COBB, E. D. & MARLER, T. 2006. A comparison between the record height-to-stem diameter allometries of pachycaulis and leptocaulis species. *Annals of Botany* 97: 79-83.
- O'BRIEN, S. T., HUBBELL, S. P., SPIRO, P., CONDIT, R. & FOSTER, R. B. 1995. Diameter, height, crown and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76: 1926-1939.
- OSUNKOYA, O. O., OMAR-ALI, K., AMIT, N., DAYAN, J., DAUD, D. S. & SHENG, T. K. 2007. Comparative-crown allometry and mechanical design in 22 tree species of Kuala Belalong rainforest, Brunei, Borneo. *American Journal of Botany* 94: 1951-1962.
- PERINA, B. B. 2011. *Fenologia de espécies arbóreas de uma Floresta Estacional Semidecidual do Sul do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR. 63 pp.
- POORTER, L. & WERGER, M. J. A. 1999. Light environment, sapling architecture, and leaf display in six rain forest tree species. *American Journal of Botany* 86: 1464-1473.
- POORTER, L., BONGERS, L. & BONGERS, F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-off, and functional groups. *Ecology* 87: 1289-1301.
- POORTER, L., BONGERS, F., STERCK, F.J. & WOLL, H. 2003. Architecture of 53 rain forest tree species differing in adult stature and shade tolerance. *Ecology* 84: 602-608.
- SOARES-SILVA, L. H. & BARROSO, G. M. 1992. Fitossociologia do estrato arbóreo da floresta na porção norte do Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, PR, Brasil. In: *Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo*, 8, Campinas. Anais do VIII Congresso da Sociedade Botânica de São Paulo, Campinas, p. 101-112.
- STERCK, F. J. & BONGERS, F. 1998. Ontogenetic changes in size, allometry, and mechanical design of tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 85: 266-272.
- STERCK, F. J. & BONGERS, F. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89: 1-13.
- STERCK, F. J., BONGERS, F. & NEWBERY, D. M. 2001. Tree architecture in a Bornean lowland rain forest: intraspecific and interspecific patterns. *Plant Ecology* 153: 279-292.
- STERCK, F. J., MARTÍNEZ-RAMOS, M., DYER-LEAL, M. G., RODRÍGUEZ-VELÁZQUEZ, J. & POORTER, L. 2003. The consequences of crown traits for the growth and survival of tree saplings in a Mexican lowland rainforest. *Functional Ecology* 17: 194-200.

THOMAS, S. C. 1996. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rain forest trees. *American Journal of Botany* 83:556-566.

VIEILLEDENT, G., COURBAUD, B., KUNSTLER, G.; DHÔTE, J. F. & CLARK, J. S. 2010. Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach. *Oecologia* 163: 759-773.

VICENTE, R. R. 2006. O Parque Estadual Mata dos Godoy. Pp. 13-18 in J. M. D. TOREZAN (ed.). *Ecologia do Parque Estadual Mata dos Godoy*. ITEDES, Londrina.

WARTON, D. I. & WEBER, N. C. 2002. Common slope tests for errors-in-variables models. *Biometrical Journal* 44: 161–174.

WARTON, D. I., WRIGHT, I. J., FALSTER, D. S. & WESTOBY, M. 2006. Bivariate line-fitting methods for allometry. *Biological Reviews* 81: 259-291.

YAMADA, T., NGAKAN, O. P. & SUZUKI, E. 2005. Differences in growth trajectory and strategy of two sympatric congeneric species in an Indonesian floodplain forest. *American Journal of Botany* 1: 45-52.

Anexo 1. Índice de iluminação da copa proposto pelo método de Dawkins (1958 *apud* Alder & Synnot 1992). (5): cone invertido de 90° projetado a partir do início da copa totalmente exposto tanto por luz lateral quanto por luz vertical; (4):  $\geq 90\%$  da projeção vertical da copa exposta à luz vertical, luminosidade lateral bloqueada total ou parcialmente no interior do cone; (3): 10% a 90% da projeção da copa iluminada verticalmente; (2):  $< 10\%$  da projeção vertical da copa exposta à luz vertical, copa iluminada lateralmente; (1): copa sem interceptação de luz tanto vertical quanto lateral)

