

## ARTIGO ORIGINAL

**Relações dendro-morfométricas e modelagem do crescimento diamétrico de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. implantadas no sub-bosque de povoamento de *Pinus elliottii* Engelm.****Dendro-morphometric relations and diametric growth modeling of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. planted in the understory of a *Pinus elliottii* Engelm. stand**Thiago Floriani Stepka<sup>1\*</sup> , Leandro de Oliveira Wolff<sup>1</sup> , Rodrigo Schimitz<sup>1</sup> , Luciano Cavalcante de Jesus França<sup>2</sup> , Gabriel Paes Marangon<sup>3</sup> , Gerson dos Santos Lisboa<sup>4</sup> <sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, Brasil<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Monte Carmelo, MG, Brasil<sup>3</sup>Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, São Gabriel, RS, Brasil<sup>4</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, GO, BrasilINFORMAÇÕES DO  
ARTIGOFonte de financiamento: Nenhuma.  
Conflito de interesse: Nada a declarar.  
\*Autor correspondente: [thiago.stepka@udesc.br](mailto:thiago.stepka@udesc.br)

Recebido: 29 janeiro 2024.

Aceito: 28 maio 2025.

Editor: Alexandre de Vicente Ferraz.

**Como citar:** Stepka, T. F., Wolff, L. O., Schimitz, R., França, L. C. J., Marangon, G. P., & Lisboa, G. S. (2025). Relações dendro-morfométricas e modelagem do crescimento diamétrico de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. implantadas no sub-bosque de povoamento de *Pinus elliottii* Engelm. *Scientia Forestalis*, 53, e4070. <https://doi.org/10.18671/scifor.v53.06>

## RESUMO

As Florestas Nacionais (FLONAS) visam o desenvolvimento de pesquisas com o uso múltiplo e sustentável dos recursos florestais. O objetivo deste estudo foi relacionar variáveis dendro-morfométricas e modelar o crescimento diamétrico de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. implantada no sub-bosque de um povoamento de *Pinus elliottii* Engelm., localizado na FLONA de Três Barras, Santa Catarina, e verificar o seu comportamento entre as condições de sub-bosque e pleno sol. Os dados foram mensurados por meio de um censo das duas espécies em talhão de 1,289 ha da FLONA e mensurada a altura total, altura de copa, diâmetro de copa e diâmetro da base de 10% dos indivíduos de *I. paraguariensis*, sendo utilizados modelos matemáticos para estimar estas variáveis para todas as árvores medidas e calcular indicadores morfométricos. Com mensurações de anéis de crescimento obtidos por meio de análise de tronco parcial de 30 árvores de *I. paraguariensis*, foi ajustado o modelo de Chapman-Richards e determinado o tempo médio de passagem das árvores em cada classe diamétrica até a idade atual. Para os principais indicadores morfométricos, a condição a pleno sol teve valores médios relativamente melhores e estatisticamente diferentes que os valores da condição sub-bosque. Para o grau de ocupação da área pela porcentagem de área basal de cada uma das espécies, observou-se que a *I. paraguariensis* ocupa apenas 9% da área, o que representa 4,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, de um total de 49,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, sendo que 91% da área basal é de *P. elliottii*, que representa 45,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. Com a análise retrospectiva do crescimento diamétrico de *I. paraguariensis*, observou-se que este povoamento tem idades entre 20,0 e 34,9 anos, sugerindo que as menores idades sejam de indivíduos regenerantes do plantio original. Para o crescimento diamétrico, a espécie ainda não atingiu sua máxima produção biológica nas duas condições avaliadas. Plantios de *I. paraguariensis* no sub-bosque de povoamentos antigos *Pinus* sp são atrativos, pois, a gradativa abertura do dossel da espécie no estrato superior pode melhorar o desempenho morfométrico da espécie no sub-bosque, sobretudo a proporção de copa, que impacta positivamente no seu maior rendimento comercial.

**Palavras-chave:** Erva mate; Incremento diamétrico; Dinâmica das copas; Manejo florestal.

## ABSTRACT

The National Forests (FLONAS) aim to develop research with multiple and sustainable use of native forest resources. The objective of this study was to relate Dendro-morphometric variables and model the diametric growth of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. planted in the understory of a *Pinus elliottii* Engelm. stand, located at the Três Barras National Forest, Santa Catarina, and to compare its behavior in the understory and full sun conditions. Data were measured by a census of the two species in a 1.289 ha plot of the FLONA, and the total height, canopy height, canopy diameter and base diameter of 10% of the individuals of *I. paraguariensis* were measured. Mathematical models were used to estimate these variables for all trees measured and to calculate morphometric indicators. With measurements of growth rings obtained through partial trunk analysis of 30 *I. paraguariensis* trees, the Chapman-Richards model was adjusted and the average passage time of trees in each diameter class up to their current age was determined. For the main morphometric indicators, the full sun condition had mean values relatively better and statistically different from the understory condition. For the degree of area occupancy by the percentage of basal area of each species, it was observed that *I. paraguariensis* occupies only 9% of the area, which represents 4.3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, of a total of 49.5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, while 91% of the basal area is *P. elliottii*, which represents 45.2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>. The retrospective analysis of diametric growth of *I. paraguariensis* showed that this stand has ages ranging from 20 to 34.9 years, suggesting that the lower ages are of regenerating individuals from the original plantation. For diametric growth, the species has not yet reached its maximum biological production under the two conditions evaluated. Plantings of *I. paraguariensis* in the understory of old *Pinus* sp. stands are attractive because the gradual opening of the species' canopy in the upper stratum can improve the morphometric performance of the species in the understory, especially the canopy proportion, which positively impacts its greater commercial income.

**Keywords:** Yerba mate; Diametric increment; Canopy dynamics; Forest management.

## 1. INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é uma região fitoecológica pertencente ao bioma Mata Atlântica, que ocupava originalmente uma área de cerca de 175 mil km<sup>2</sup> de extensão, principalmente na região Sul do Brasil (Passos et al., 2021). Segundo Brito (2006), restam 3% da área original do bioma Mata Atlântica, incluindo florestas exploradas e fragmentos de floresta em regeneração, com menos de 1% com características de floresta primitiva. Segundo Arruda (2001), mesmo sendo o bioma mais descaracterizado dentre todos os brasileiros, seus remanescentes são de suma importância para o país, já que abrigam uma grande biodiversidade. Para Lingner et al. (2007) a pequena área remanescente atualmente é decorrente da constante e excessiva retirada de madeira nativa dessa área, sendo que o manejo dessas áreas ocorre de forma muito restrita (Longhi et al., 2017), na tentativa de proteger os últimos remanescentes.

Dentre as várias espécies arbóreas presentes nesse bioma, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. teve uma influência muito grande para a colonização do Sul do Brasil, sobretudo do planalto norte catarinense (Souza, 1998). Carvalho (2006) informou que a colheita e o beneficiamento das folhas desta planta eram realizados pelos habitantes da região em condições técnicas primitivas e então revendidas a comerciantes, fazendeiros e tropeiros para exportação.

*Ilex paraguariensis*, conhecida popularmente como erva-mate, é uma espécie que pertence à família Aquifoliaceae, originária da América do Sul, mais especificamente da região subtropical, ocorrendo no sul do Brasil, norte do Paraguai, Uruguai e Argentina (Carvalho, 2003). Com histórico de produção extrativista de áreas de florestas nativas (Penteado Júnior & Goulart, 2019), o cultivo de *I. paraguariensis* no Brasil tem pouco aporte tecnológico em comparação com outras culturas (Gerhardt, 2003). Carpanezzi (1988) relatou que no sub-bosque de plantios de *Pinus* spp. que já passaram por alguns desbastes, o cultivo de *Ilex paraguariensis* tem apresentado bons resultados, sendo melhor introduzir o cultivo de *Ilex paraguariensis* no sub-bosque do *Pinus* spp. a partir do terceiro desbaste e que também é possível esse cultivo em povoamentos adultos bem manejados de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. Em um estudo na Floresta Nacional de Três Barras com a mesma espécie, Lima Neto (1984) relatou que o *Ilex paraguariensis* apresenta melhor crescimento sob cobertura de *Pinus elliottii*, seguido de cobertura de ipê-amarelo (*Handroanthus albus* (Cham.) Mattos) e bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.).

Para Watzlawick et al. (2005), a silvicultura deveria voltar sua atenção um pouco mais para os estudos com as espécies nativas, principalmente no sentido de obter mais informações por meio de pesquisas, as quais incluem as técnicas de análise de tronco e dendrocronologia, que auxiliam para o entendimento da dinâmica e conseqüentemente ao manejo correto das espécies, uma vez que permite uma avaliação rápida do potencial de crescimento, usando a periodicidade do incremento. Schneider et al. (2000) afirmaram que pouca atenção tem sido dada, em função de não existirem muitas informações da autoecologia, do crescimento e do processo silvicultural dessas espécies na formação de povoamentos, fato este que tem prejudicado o interesse de utilização destas espécies.

Nas regiões de clima temperado, Spiecker (2002) e Cherubini et al. (2003), relataram que os estudos com anéis de crescimento são bastante usados para obter informações para embasar os planos de manejo florestais. No entanto, pode-se observar uma grande ausência de conhecimento sobre o crescimento de algumas das espécies presentes na região sul do Brasil. Mattos et al. (2007a, 2007b), Scheeren et al. (2003), Seitz & Kanninen (1989) e Oliveira (2007) destacaram que estudos dendrocronológicos para recuperação de informações sobre o crescimento passado tem revelado resultados excelentes em espécies da FOM.

Para manejar de forma correta estas florestas, é muito importante conhecer a morfometria das árvores presentes nessas áreas, sobretudo nas espécies onde a copa apresenta o maior potencial comercial, como é o caso de *I. paraguariensis*. Por meio de variáveis coletadas no campo, como diâmetro a 1,3 m do solo (d), altura (h) e todos os dados relacionados a copa das árvores. Ainda, segundo Costa et al. (2014), as relações morfométricas permitem, sem a necessidade de saber a idade das árvores, retratar as dimensões das mesmas.

O estudo das relações morfométricas de espécies florestais buscam avaliar a vitalidade, grau de concorrência do povoamento, produtividade individual e até mesmo a estabilidade (Santos, 2018). Durló (2001) relatou que para espécies arbóreas, a morfometria da copa facilita a definição do espaço que cada indivíduo necessita para o seu desenvolvimento.

Diante da carência de estudos com variáveis morfométricas e de crescimento diamétrico em *I. paraguariensis*, sobretudo visando comparar o seu comportamento em áreas plantio em pleno solo e sob cobertura, este trabalho tem como objetivo modelar o crescimento diamétrico de árvores de um plantio de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. implantado sob um povoamento de *Pinus elliottii* Engelm., a partir de dados de análise tronco parcial. Espera-se também caracterizar a relação existente de algumas variáveis dendrométricas (altura total, altura de copa, diâmetro de copa e diâmetro da base) de *Ilex paraguariensis* com o diâmetro a 1,3 m do solo, além de identificar os principais indicadores morfométricos, semelhança entre os indivíduos a pleno sol e os do sub-bosque, e avaliar o grau de ocupação da área pela porcentagem de área basal da espécie.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

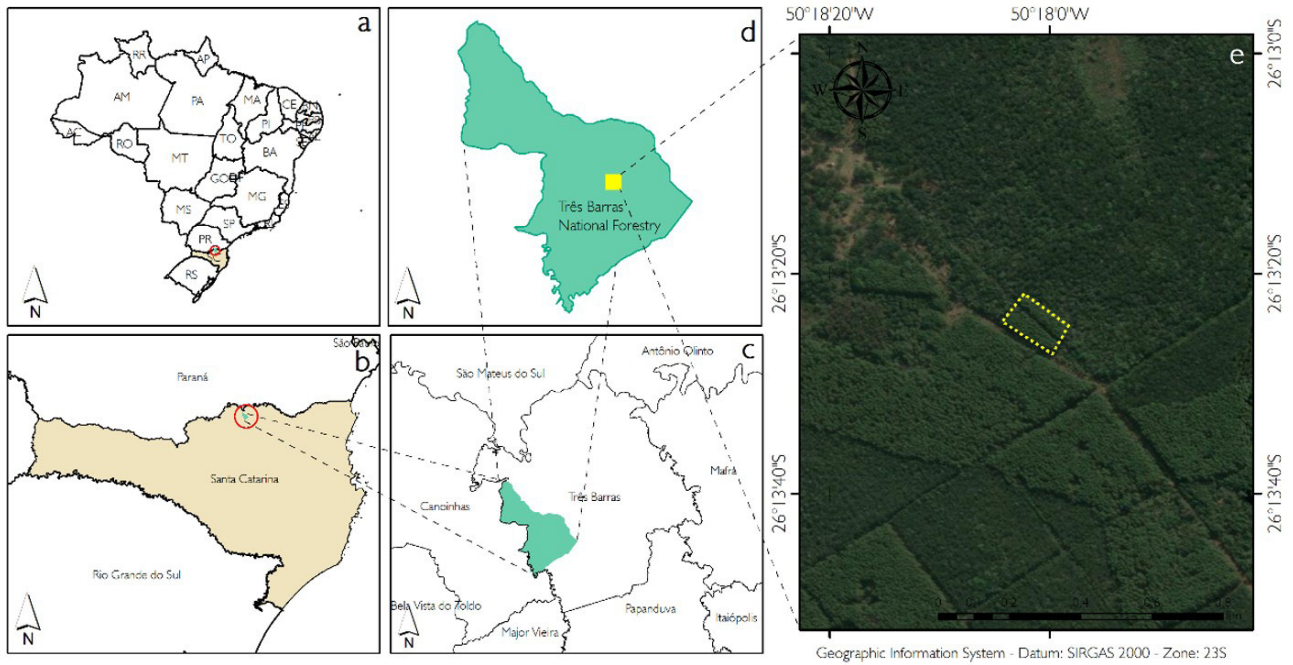
A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional de Três Barras (FLONA), pertence ao município de Três Barras, no estado de Santa Catarina (Figura 1). O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb (Alvares et al., 2013), temperado, constantemente úmido, sem estação seca e com verão fresco e geadas frequentes. A temperatura média anual de 17,5°C e precipitação de média anual de 1.600 mm (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2003).

O estudo foi conduzido no talhão 50 da FLONA com área total de 1,289 hectares, onde foi implantado *Pinus elliottii* no ano de 1963, com um espaçamento de 2 m x 2 m, totalizando 2.500 árvores por hectare, as quais foram desbastadas ao longo dos anos remanescendo atualmente 180 árv. ha<sup>-1</sup> (Galeski, 2022). A implantação de *I. paraguariensis* ocorreu no início da década de 1990, com espaçamento de 4 m x 3 m (833 árv.ha<sup>-1</sup>) nas entre linhas do plantio de *P. elliottii*, que já tinha passado por 3 desbastes até aquela ocasião. Desataca-se que desde a implantação até as mensurações realizadas nesta pesquisa, nenhuma intervenção, como podas comerciais ou de condução, foi realizada nas árvores de *I. paraguariensis*.

No ano de 2022, realizou-se a mensuração (censo) dos diâmetros a 1,3 m do solo (d) das árvores de *I. paraguariensis* e de *P. elliottii* no talhão e o posicionamento espacial de todos os indivíduos das duas espécies pelo GPS de navegação. Para *I. paraguariensis* foram mensurados, em 10% dos indivíduos, a altura total, altura de copa, diâmetro de copa e diâmetro da base.

Em seguida realizou-se o ajuste de 5 (cinco) modelos matemáticos (Tabela 1) para estimar a altura total, altura de copa, diâmetro de copa e diâmetro da base em função do “d”. Após a escolha do melhor modelo, este foi utilizado na estimativa das variáveis dendro-morfométricas, conforme Tonini & Arcoverde (2005).

Na Figura 1 é possível observar que em uma faixa longitudinal do talhão não ocorre a presença de árvores de *P. elliottii*, em decorrência da presença uma antiga uma linha de transmissão de energia elétrica, fazendo com que as árvores de *I. paraguariensis* localizadas nesta



**Figura 1.** Localização da área de estudo na Floresta Nacional de Três Barras com referência ao estado de Santa Catarina, Brasil.

área não tenham uma cobertura do dossel sobre elas, como em outros pontos do talhão. A existência desta característica justificou o cálculo dos indicadores morfométricos para as árvores localizadas no sub-bosque e a pleno sol.

As árvores de *I. paraguariensis* foram agrupadas em classes diamétricas de 2 cm, e proporcional a frequência das classes, foram selecionados 30 indivíduos, sendo que foram 20 no sub-bosque e 10 a pleno sol (situadas abaixo da linha de transmissão de energia do talhão), nos quais, com o uso do trado de Pressler, foram coletadas duas amostras de rolos de incremento, no sentido Norte-Sul e outra no Leste-Oeste. Após a coleta, os mesmos foram acomodados em suporte de madeira para a secagem, posterior colagem e lixamento com 3 gramaturas (100, 180 e 220 grãos/cm<sup>2</sup>).

As amostras foram digitalizadas ao lado de uma régua com scanner a 1200 dpi. As imagens obtidas foram visualizadas e os anéis de crescimento mensurados em Software de processamento de imagens. Foi obtida a média dos 4 raios, Norte-Sul e Leste-Oeste e a soma do raio acumulado ao longo dos anos, desde o primeiro ano até a última datação, obtendo o diâmetro sem casca.

Com estes valores foi possível determinar a idade de cada indivíduo avaliado, observar o tempo médio de passagem nas classes diamétricas, ou seja, quantos anos em média cada árvore permanece em uma determinada classe diamétrica, além de obter o incremento corrente e médio para as árvores sombreadas pelo *P. elliottii* e situadas em pleno sol. Para as amostras de árvores das duas condições, foi ajustado o modelo de Chapman-Richards (1).

$$Y = \beta_0 \left(1 - e^{-\beta_1 t}\right)^{\beta_2} \quad (1)$$

Em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes;  $Y$  =  $d$  (cm);  $t$  = idade (anos).

Tanto nos ajustes das variáveis dendro-morfométricas como no modelo de crescimento (Chapman-Richards) foram usados alguns critérios para a escolha do melhor modelo para cada variável pretendida: (i) maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  aj.) (ii) menor erro

**Tabela 1.** Modelos testados para as relações dendrométricas.

| Modelos | Expressões  |
|---------|---|
| I       | $y = e^{\beta_0 + \beta_1 d}$                         |
| II      | $y = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$               |
| III     | $y = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d^3$ |
| IV      | $y = \beta_0 + \beta_1 (1/d^2)$                       |
| V       | $y = \beta_0 + \beta_1 d$                             |

Em que:  $y = h$  (m) para relações hipsométricas;  $y =$  diâmetro de copa (m) para relação diâmetro de copa;  $y =$  diâmetro da base (cm) para relação diâmetro da base;  $d$  (cm) = diâmetro a 1,3 m do solo;  $\ln =$  logaritmo natural e  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3 =$  coeficientes de regressão.

padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy \times \%$ ), (iii) menor valor de Critério de Informação de Akaike (AIC), (iv) menor valor de Critério de Informação Bayesiano (BIC) e (v) dispersão gráfica de resíduo mais homogênea, além de verificar a sua normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk a 95% de probabilidade.

Os dados das variáveis dendrométricas e morfométricas foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Levene e, em caso de significância, foram transformados extraíndo-se o inverso da raiz quadrada ( $1/\sqrt{x}$ ) de cada valor. Em seguida procedeu-se a análise de variâncias para identificar possíveis diferenças entre as condições de sub-bosque e pleno sol, sendo discriminadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

### 3. RESULTADOS

Observou-se para *Pinus elliottii* um total de 180 árvores por hectare e para *Ilex paraguariensis* um total de 393 árvores por hectare, com “ $d$ ” médio de 55,7 e 9,6 cm respectivamente para as duas espécies. A área basal total no talhão foi de 49,5 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, sendo 4,3 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (9% do total) de *I. paraguariensis* e 45,2 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> (91%) de *P. elliottii*.

Na Tabela 2 observam-se os valores dos modelos testados para estimar cada variável pretendida. Na Figura 2, apresenta os de resíduos para cada modelo escolhido como o melhor.

De acordo com os critérios de seleção adotados para a escolha dos melhores modelos matemáticos, pode-se observar que o modelo I foi melhor para quase todas as análises, com exceção da estimativa do  $d_{copa}$ .

Na Tabela 3, observam-se os parâmetros dendrométricos e morfométricos de todos os indivíduos de *I. paraguariensis* avaliados, além de uma estratificação dos que estavam localizados no sub-bosque de *P. elliottii* e os que estavam localizados a pleno sol. Esta separação ocorreu para observar a existência ou não de diferença nesses parâmetros entre árvores a pleno sol e na sombra.

Constata-se na Tabela 3 que o diâmetro a 1,3 m do solo ( $d$ ) médio de todas as árvores de *I. paraguariensis* foi de 9,6 cm, com amplitude de 27,1 cm e 1,7 cm. A altura total ( $h$ ), apresentou valor médio de 8,6 m e amplitude de 15,5 m e 4,6 m. O diâmetro da base ( $d_{base}$ ) médio para *I. paraguariensis* tem valor de 10,4 cm, com amplitude de 24,2 cm a 2,1 cm, demonstrando grande similaridade com os valores do diâmetro a 1,3 m do solo ( $d$ ).

As variáveis  $d$ ,  $d_{base}$ ,  $d_{copa}$ , GE, e APC não obtiveram homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene, sendo transformadas extraindo-se o inverso da raiz quadrada ( $\frac{1}{\sqrt{x}}$ ) de cada valor. Observa-se a homogeneidade de variâncias e significância pela Anova, apontando diferença estatística a 95% de probabilidade, para todas as variáveis analisadas entre as diferentes condições (sombreamento e a pleno sol).

Na Figura 3 observa-se o diagrama de caixa (boxplot) de todas as variáveis dendrométricas e morfométricas em análise, além de observar a sumarização realizada pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade, demonstrando a ocorrência de diferença estatística entre todas as variáveis nas duas condições (sombreamento e a pleno sol).

Na Tabela 4, observa-se, para as 30 árvores em que foram coletados os rolos de incremento, os valores máximos, médios e mínimos obtidos em cada uma das condições, ou seja, valores do sub-bosque e a pleno sol.

Na Tabela 5, observa-se os valores de tempo médio de passagem em anos, para que cada indivíduo atinja a última classe diamétrica.

Para o modelo de Chapman-Richards, visando estimar o diâmetro sem casca em função da idade observa-se as suas respectivas estatísticas e as curvas geradas para as duas condições avaliadas (Figura 4).

#### 4. DISCUSSÃO

Para as estimativas das alturas totais e de copa os coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$  aj.) tiverem valores inferiores a 0,44. Machado et al. (1994) estudando o comportamento da relação hipsométrica para o *P. elliottii*, chegaram à conclusão de que esse valor mais baixo para o coeficiente de determinação ajustado, é explicado pela baixa variação das alturas em relação ao diâmetro, ou seja, uma árvore de diâmetro menor, tem a mesma altura que outra de maior diâmetro, esses valores então devem-se ao fato de uma maior homogeneidade dos dados. Barros et al. (2002) relataram que para relações hipsométricas os valores baixos dos coeficientes de determinação ajustados são esperados devido à baixa correlação entre diâmetro e altura. Pode-se acrescentar ainda que *I. paraguariensis* encontra-se, em sua grande maioria, no sub-bosque do *P. elliottii*, o que de acordo com Bartoszeck (2002), Barros et al. (2002) e Rufino et al. (2010) é um dentre vários fatores que podem interferir na relação entre o diâmetro e a altura. Para o erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Syx\%$ ), Roman et al. (2009) relataram que são desejados

**Tabela 2.** Estatísticas e coeficientes dos modelos testados para cada variável de *I. paraguariensis*.

| Variável               | Modelo | Coeficientes         |                      |                             |                       | R <sup>2</sup> aj. | Syx (%)      | BIC           | AIC           | p-valor       |
|------------------------|--------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
|                        |        | $\beta_0$            | $\beta_1$            | $\beta_2$                   | $\beta_3$             |                    |              |               |               |               |
| h (m)                  | I      | <b>1,3169*</b>       | <b>0,3753*</b>       | -                           | -                     | <b>0,4393</b>      | <b>17,17</b> | <b>231,52</b> | <b>227,26</b> | <b>0,9884</b> |
|                        | II     | 4,1462*              | 0,599*               | -0,0115 <sup>ns</sup>       | -                     | 0,4358             | 17,22        | 234,99        | 228,61        | 0,9944        |
|                        | III    | 5,2867*              | 0,198 <sup>ns</sup>  | 0,0288 <sup>ns</sup>        | -0,0012 <sup>ns</sup> | 0,4298             | 17,31        | 238,71        | 230,21        | 0,9819        |
|                        | IV     | 9,4782*              | -41,46*              | -                           | -                     | 0,2300             | 20,12        | 251,18        | 246,93        | 0,5727        |
|                        | V      | 5,2197*              | 0,3609*              | -                           | -                     | 0,4330             | 17,26        | 232,21        | 227,96        | <b>0,9698</b> |
| h <sub>copa</sub> (m)  | I      | <b>0,6127*</b>       | <b>0,4762*</b>       | -                           | -                     | <b>0,3291</b>      | <b>27,28</b> | <b>232,34</b> | <b>228,09</b> | <b>0,0549</b> |
|                        | II     | 2,2294*              | 0,3955 <sup>ns</sup> | -0,0049 <sup>ns</sup>       | -                     | 0,3238             | 27,39        | 235,92        | 229,54        | 0,0462        |
|                        | III    | 3,6168 <sup>ns</sup> | -0,092 <sup>ns</sup> | 0,0441 <sup>ns</sup>        | -0,0014 <sup>ns</sup> | 0,3186             | 27,5         | 239,46        | 230,95        | 0,0524        |
|                        | IV     | 6,073*               | -29,85*              | -                           | -                     | 0,1344             | 30,99        | 248,14        | 243,89        | 0,0035        |
|                        | V      | 2,8738*              | 0,2804*              | -                           | -                     | 0,3098             | 27,67        | 234,1         | 229,85        | 0,0143        |
| d <sub>copa</sub> (m)  | I      | -0,177 <sup>ns</sup> | 0,597*               | -                           | -                     | 0,6097             | 19,42        | 124,49        | 120,23        | 0,0226        |
|                        | II     | <b>1,1124*</b>       | <b>0,2273*</b>       | <b>-0,0005<sup>ns</sup></b> | -                     | <b>0,6109</b>      | <b>19,39</b> | <b>127,37</b> | <b>120,99</b> | <b>0,0542</b> |
|                        | III    | 1,5675 <sup>ns</sup> | 0,0673 <sup>ns</sup> | 0,0155 <sup>ns</sup>        | -0,0004 <sup>ns</sup> | 0,6066             | 19,5         | 131,13        | 122,62        | 0,0531        |
|                        | IV     | 3,702*               | -24,13*              | -                           | -                     | 0,31               | 25,82        | 159,81        | 155,55        | 0,008         |
|                        | V      | 1,5616*              | 0,179*               | -                           | -                     | 0,4263             | 23,55        | 148,36        | 144,11        | 0,0352        |
| d <sub>base</sub> (cm) | I      | <b>0,2702*</b>       | <b>0,9178*</b>       | -                           | -                     | <b>0,8367</b>      | <b>15,76</b> | <b>244,04</b> | <b>239,79</b> | <b>0,1176</b> |
|                        | II     | 0,8255 <sup>ns</sup> | 0,9902*              | 0,0014 <sup>ns</sup>        | -                     | 0,8345             | 15,87        | 247,95        | 241,57        | 0,1402        |
|                        | III    | -0,342 <sup>ns</sup> | 1,4007 <sup>ns</sup> | -0,0398 <sup>ns</sup>       | 0,0012 <sup>ns</sup>  | 0,8326             | 15,96        | 251,74        | 243,23        | 0,1534        |
|                        | IV     | 12,682*              | -115,0*              | -                           | -                     | 0,4349             | 29,33        | 321,03        | 316,77        | 0,0012        |
|                        | V      | 1,2932 <sup>ns</sup> | 0,9748*              | -                           | -                     | 0,743              | 19,78        | 272,17        | 267,91        | 0,0002        |

Em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes de regressão; R<sup>2</sup> aj. = coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) = Erro padrão da estimativa em porcentagem; BIC = Critério de Informação Bayesiano e AIC = Critério de Informação de Akaike; h (m) = altura total; h<sub>copa</sub> (m) = altura de copa; d<sub>copa</sub> (m) = diâmetro de copa e d<sub>base</sub> (cm) = diâmetro da base. \* = coeficiente significativos pelo teste t a 95% de probabilidade; ns = Coeficiente não significativo; p-valor = Valor p do teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade dos resíduos dos ajustes. Estatísticas em negrito correspondem ao melhor ajuste de cada variável;

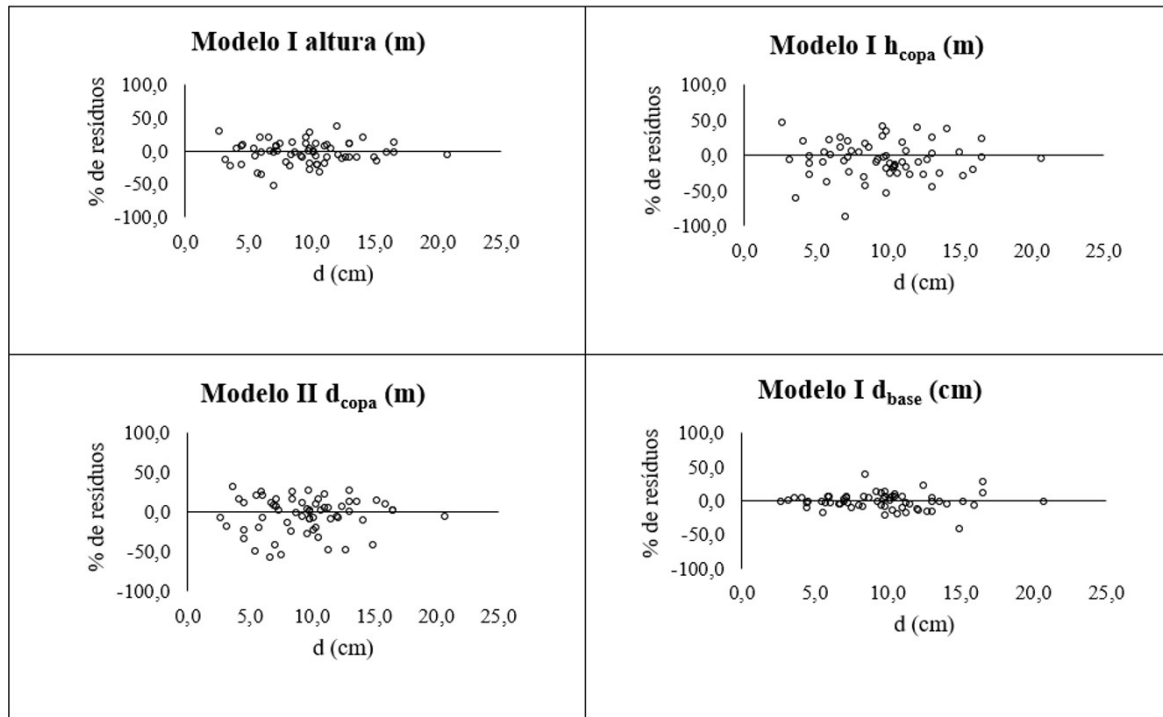


Figura 2. Distribuição dos resíduos para os modelos selecionados para cada variável de *I. paraguariensis*.

Tabela 3. Parâmetros dendrométricos e morfométricos de *I. paraguariensis* e comparação entre as condições de sub-bosque e pleno sol.

| Condição         | d (cm) | h (m) | d <sub>base</sub> (cm) | h <sub>copa</sub> (m) | d <sub>copa</sub> (m) | GE   | IS   | PC (%) | IA   | FC   | APC (m <sup>2</sup> ) | Ni/ha |
|------------------|--------|-------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------|------|--------|------|------|-----------------------|-------|
| Total            | 9,6    | 8,6   | 10,4                   | 5,5                   | 3,2                   | 1    | 0,4  | 62,9   | 0,4  | 0,6  | 8,8                   | 1532  |
| Sub-Bosque       | 9,2    | 8,5   | 10                     | 5,4                   | 3,1                   | 1    | 0,4  | 62,6   | 0,4  | 0,6  | 8,2                   | 1599  |
| Pleno sol        | 11,5   | 9,3   | 12,4                   | 6                     | 3,7                   | 0,9  | 0,3  | 64,1   | 0,4  | 0,6  | 11,5                  | 1207  |
| Levene (p-valor) | 0,50   | 0,25  | 0,55                   | 0,08                  | 0,64                  | 0,32 | 0,27 | 0,88   | 0,40 | 0,30 | 0,70                  | 0,14  |
| Anova (p-valor)  | 0,00   | 0,00  | 0,00                   | 0,00                  | 0,00                  | 0,00 | 0,00 | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00                  | 0,00  |

Em que: d (cm) = diâmetro a 1,3 m do solo; h (m) = altura total; d<sub>base</sub> (cm) = diâmetro de base; d<sub>copa</sub> (m) = diâmetro de copa; h<sub>copa</sub> (m) = altura de copa; GE = grau de Esbeltez; IS = índice de saliência; PC (%) = proporção de copa; IA = índice de abrangência; FC = formal de copa; APC (m<sup>2</sup>) = área de projeção de copa e Ni/ha = número potencial de árvores por hectare para cada área de copa; p-valor: Valor “p” dos testes de homogeneidade de variâncias de Levene e da análise de variâncias.

erros inferiores a 10%, o que não ocorreu neste estudo, em que o menor erro foi de 17,17%. Mostra-se com esse valor, que existe uma maior variação entre as alturas estimadas por meio do modelo I.

Raros são os trabalhos que demonstram o desempenho de ajustes de variáveis morfométricas para *I. paraguariensis*, os quais buscaram-se comparações com outras espécies da Floresta Ombrófila Mista, como por exemplo, o estudo de Orellana & Koehler (2008) que avaliaram relação diâmetro de copa (d<sub>copa</sub>) em função do diâmetro a 1,3 m do solo (d) para a espécie de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohw. Estes autores encontraram valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,58, um valor semelhante ao encontrado no presente trabalho. No trabalho de Sanquetta et al. (2014), estudando a mesma relação para a espécie *Acacia mearnsii* De Wild, encontraram valores de erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%) variando de 13% a 28%, também semelhante ao apresentado por esse trabalho.

Os valores apresentados para a variável diâmetro da base (d<sub>base</sub>), para *I. paraguariensis*, mostraram que, nesse caso, tem-se uma correlação muito forte entre as variáveis diâmetro da base (d<sub>base</sub>) e diâmetro a 1,3 m do solo (d). Leite & Rezende (2010) ao estimarem volume de madeira partindo do diâmetro da base em uma área explorada de

floresta, observaram uma correlação muito forte entre diâmetro da base (d<sub>base</sub>) e diâmetro a 1,3 m do solo (d). Os autores também afirmaram que as estimativas de volumes realizadas no trabalho pelo diâmetro da base (d<sub>base</sub>), não diferem estatisticamente das estimativas realizadas pelo diâmetro a 1,3 m do solo (d).

Para o diâmetro de copa (d<sub>copa</sub>) médio observou-se o valor de 3,2 m. Durló & Denardi (1998) estudando a espécie *Cabralea canjerana*, encontraram um valor para o diâmetro de copa (d<sub>copa</sub>) médio de 4,30 m, sendo também uma espécie nativa da FOM que apresenta copa em formato simpodial. Santos (2018) destacou que os menores valores de diâmetro de copa (d<sub>copa</sub>) indicam o menor espaço lateral para a copa de cada árvore se desenvolver, ocasionando a competição por espaço e recurso entre as árvores que pode ser de originado pela falta ou o manejo inadequado. Esta afirmação pode justificar os pequenos diâmetros de copa de *I. paraguariensis* nesse estudo principalmente das árvores que se encontram no sub-bosque do plantio de *Pinus elliottii*. Tal característica pode ser observada na Figura 3 e Tabela 3, em que as árvores presentes a pleno sol apresentam em média, diâmetros de copa 0,6 m maiores do que as localizadas no sub-bosque.

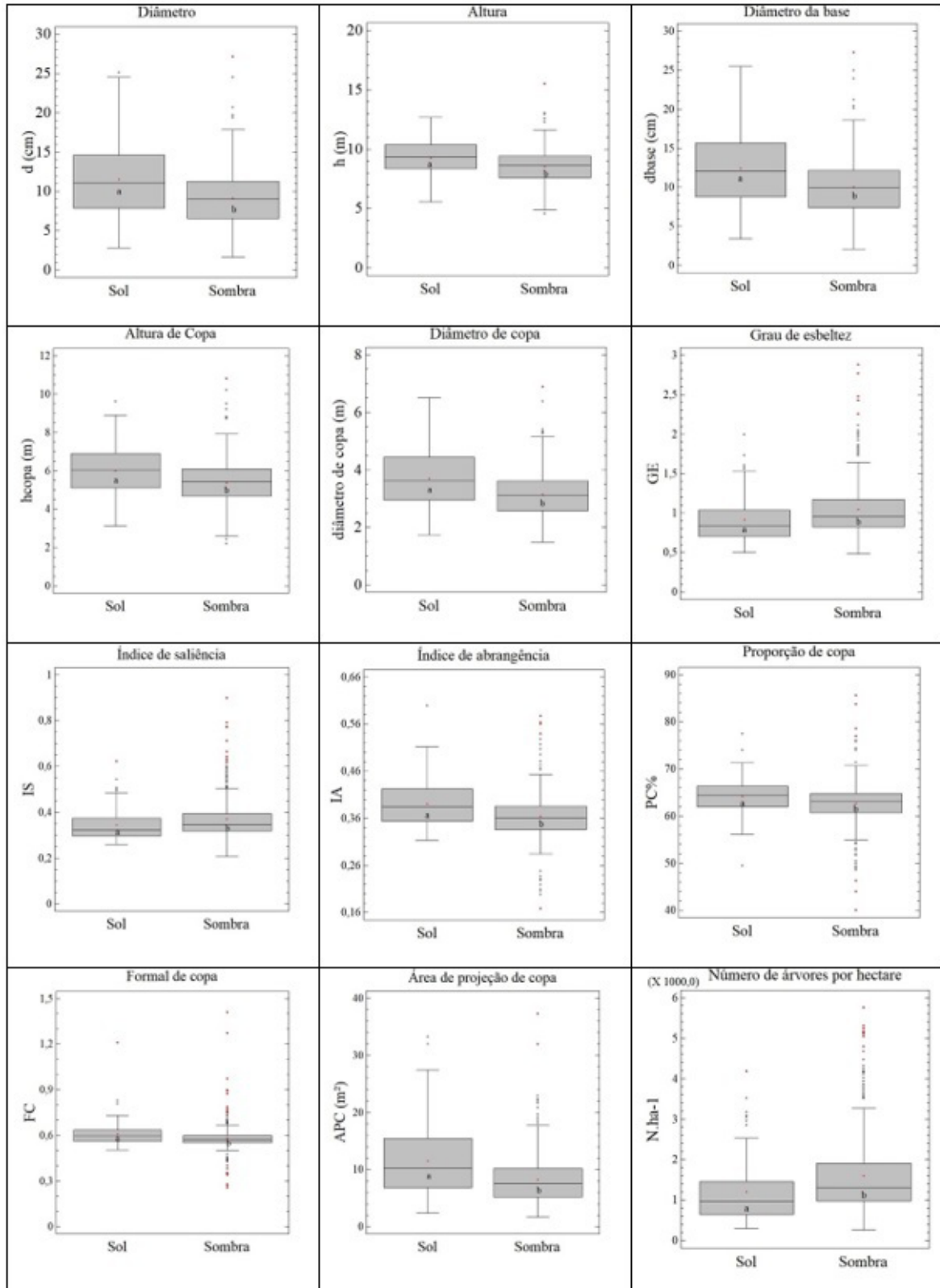


Figura 3. Variáveis dendrométricas e morfométricas analisadas com a sumarização e entre as médias das duas condições (sombreamento e a pleno sol).

O grau de esbeltez (GE) tem valor médio de 1,0, valor de máximo de 2,9 e mínimo de 0,5. Tonini & Arco-Verde (2005) relataram que valores de grau de esbeltez (GE) maiores que 1, indicam a necessidade de desbastes. Os mesmos também indicam que esses valores mostram

que o crescimento em altura foi maior que o crescimento em diâmetro, se assim forem comparados.

O índice de saliência (IS) demonstra que em média, o diâmetro de copa ( $d_{\text{copa}}$ ) é 36 vezes maior que o diâmetro a 1,3 m do solo (d). Roman et al.

(2009) encontraram valor próximo a 25 para *Cordia trichotoma*, ou seja, um valor abaixo do encontrado neste trabalho.

A Proporção de copa em porcentagem (PC%) tem um valor médio de 62,9%, e os valores de máximo e mínimo de 85,6% e 40,0%. Segundo Roman et al. (2009) esta variável é um indicador de vitalidade e produtividade, ou seja, quanto maior a porcentagem, mais produtiva pode ser a árvore. Os principais produtos comerciais de *I. paraguariensis* são obtidos de sua copa (Tonini et al., 2008), neste caso é interessante que os indivíduos possuam maiores proporções de copa, as quais foram observadas nas árvores situadas em pleno sol.

O formal de copa (FC) tem um valor médio de 0,6, com valores variando entre 0,3 e 1,4. Orellana & Koehler (2008) mostraram valores entre 0,4 e 2,3 para *Ocotea odorifera*, com média de 1,3. O valor de formal de copa (FC) indica o quão achatada é a copa da árvore, que

de acordo com as constatações de Durló (2001), Orellana & Koehler (2008) e Roman et al. (2009), pode-se afirmar que a população de *I. paraguariensis* tem copas esbeltas, copas arredondadas e copas achatadas, pois os mesmos autores relataram que valores próximos de 1, indica que a copa é redonda, enquanto valores acima de 1, indicam copas achatadas e valores abaixo de 1, copas esbeltas.

O Índice de abrangência (IA) apresentou os valores variando entre 0,2 a 0,6, com a média de 0,4. Roman et al. (2009) relataram que se existir correlação entre a altura (h) e o índice de abrangência (IA), pode-se utilizá-lo como indicador de desbaste ao longo do ciclo de vida. Durló (2001) encontrou valores semelhantes ao deste trabalho, variando entre 0,17 e 0,69, com a média de 0,33, avaliando a espécie *Cabralea canjerana*. Ainda segundo Tonini & Arco-Verde (2005), esses valores diminuem com altura, tendo em vista que o crescimento em altura é maior que o crescimento

**Tabela 4.** Valores médios, máximos e mínimos para as variáveis estudadas nas duas condições de sombreamento para as 30 árvores que tiveram os rolos de incremento coletados.

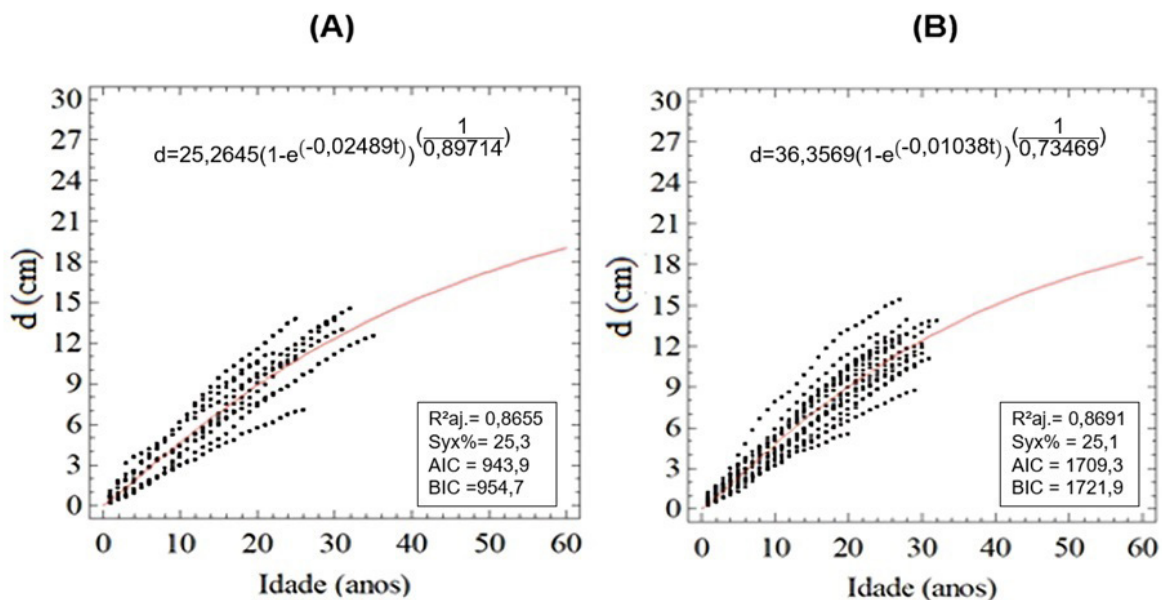
| Condições  |        | d<br>(cm) | Idade<br>(anos) | ICA<br>(cm.ano <sup>-1</sup> ) | IMA<br>(cm.ano <sup>-1</sup> ) |
|------------|--------|-----------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sub-bosque | Médio  | 11,7      | 27,5            | 0,41                           | 0,46                           |
|            | Máximo | 15,4      | 32,1            | 0,47                           | 0,48                           |
|            | Mínimo | 5,5       | 20              | 0,32                           | 0,41                           |
| Pleno sol  | Médio  | 11,6      | 27              | 0,41                           | 0,46                           |
|            | Máximo | 14,5      | 34,9            | 0,47                           | 0,48                           |
|            | Mínimo | 7,1       | 20              | 0,32                           | 0,41                           |

Em que: d = diâmetro a 1,3 m do solo (cm); Idade = idade da árvore (anos); ICA = Incremento Corrente anual (cm.ano<sup>-1</sup>); n = número de árvores amostradas e IMA = Incremento Médio Anual (cm.ano<sup>-1</sup>).

**Tabela 5.** Valores do tempo (em anos) que a espécie levou para atingir diferentes classes diamétricas.

| Centro de classes (cm) | Tempo de passagem (anos) |     |     |     |     |     |     |     | Média | Total |
|------------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
|                        | 1                        | 3   | 5   | 7   | 9   | 11  | 13  | 15  |       |       |
| Pleno Sol              | 4,3                      | 4,2 | 4,6 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,0 | 2,0 | 4,0   | 32,1  |
| Sub-bosque             | 3,9                      | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,5 | 4,9 | 3,0 | 5,0 | 4,4   | 34,9  |

Em que: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 e 15 = centro de classes diamétricas (cm); Média = tempo médio para mudar de classe (anos) e Total = tempo até atingir a última classe, de 15 cm de diâmetro (anos).



**Figura 4.** Gráficos, estatísticas e coeficientes do modelo de Chapman Richards da relação entre “d” (cm) e Idade (anos) para *I. paraguariensis* a pleno sol e sub-bosque. Em que: A) = *I. paraguariensis* a pleno sol B) = *I. paraguariensis* no sub-bosque.

em diâmetro de copa. Para área de projeção de copa (APC), observou-se valores entre 1,7 m<sup>2</sup> e 37,2 m<sup>2</sup>, sendo que a média foi de 8,8 m<sup>2</sup>.

O número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (Ni), apresentou os valores entre 268 e 5.755, sendo que a média ficou em 1.532. Esta variação, segundo Atanazio (2018), pode ser explicada pelo fato de algumas partes serem mais adensadas, o que faz com que os indivíduos percam em diâmetro e com isso apresentem copas menores do que as demais.

O resultado desse estudo corrobora com o que Coelho et al. (2000) informaram no estudo com *I. paraguariensis*, que uma maior intensidade de luz, faz com que a espécie se desenvolva melhor. Considerando os valores médios, em quase todos os parâmetros a espécie se comportou melhor a pleno sol, indicando diferença estatística entre os dois grupos, em todas as variáveis avaliadas.

Avaliando-se a idade e o crescimento diamétrico da floresta, conforme valores apresentados na Tabela 4, a idade teve variação (diferença entre o maior e menor valor observado) de 12,1 anos para a condição de sub-bosque e 14,9 anos para a condição de pleno sol. Segundo Figueiredo Filho et al. (2017) essa diferença pode ser explicada pelo fato de que em alguns anos após o plantio, ocorrer a regeneração natural dessa espécie, devido à falta de intervenção para a manutenção do plantio, tendo em vista que a espécie apresenta potencial para produção de sementes com idade próxima dos 5 anos (Carvalho, 1994).

Figueiredo Filho et al. (2017) observaram na Floresta Nacional de Irati – Paraná, que o incremento da espécie de *I. paraguariensis* foi de 0,37 cm.ano<sup>-1</sup>, ou seja, abaixo do valor encontrado nesse estudo, porém tratam-se de indivíduos que tiveram regeneração espontânea no interior de um plantio de *Araucaria angustifolia* e não implantados como na presente pesquisa.

Na Tabela 5, observou-se média menor no tempo de passagem para os indivíduos localizados no sub-bosque. Carvalho (2003) descreveu que a erva-mate é uma espécie de sombra, que aceita a maior intensidade de sol na sua fase adulta. Coelho et al. (2000) relataram que uma redução maior ou igual a 50% de luminosidade, já é suficiente para diminuir a produção da espécie. Isso reforça que a disponibilidade de luz (15% para o sistema consórcio), limita o crescimento da erva-mate sombreada, o que também foi verificado por Gliessmann (2000). A partir da determinação das idades relativas de uma floresta é possível, por meio do método de tempo de passagem, quantificar o período necessário para que os indivíduos da floresta mudem de classe diamétrica (Caballero & Malleux, 1976; Mackay, 1961; Gomes, 1964). Além disso, segundo Araújo et al. (1993) junto com as análises de regressão, esse método pode descrever o crescimento em diâmetro de uma floresta nativa sem manejo.

Pela modelagem do crescimento diamétrico, que foi a variável independente utilizada para a estimativa de todas as variáveis morfométricas, o modelo de Chapman Richards obteve erro padrão da estimativa de 25,3%, e coeficiente de determinação ajustado de 0,8655 para a condição de pleno sol. No mesmo modelo, para a condição de sub-bosque estuando a mesma variável, obteve-se um erro padrão de estimativa de 25,1%, e coeficiente de determinação ajustado de 0,8691. De modo geral, as curvas apresentaram a configuração esperada: sigmoide, com um ponto de inflexão, um ponto de máxima tangência e tendência assintótica (Hosokawa et al., 1998), observando-se que seu crescimento é contínuo, sem grandes variações no decorrer da sua idade.

O modelo de Chapman-Richards, classificado como modelo biológico (Campos & Leite, 2006) representa a assintota da variável Y estimada no seu coeficiente  $\beta_0$  (Zeide, 1993), ou seja, o máximo que a variável modelada pode atingir. Neste caso, observa-se valores de  $\beta_0$  iguais a 25,2645 para as árvores localizadas a pleno sol e 36,3569 para as árvores localizadas à sombra, demonstrando que as árvores localizadas no sub-bosque atingem o seu diâmetro máximo mais tardiamente.

Estas informações podem reforçar a necessidade da espécie ser implantada em sistemas de consórcio, pois como ela apresentou menor tempo de passagem entre as classes diamétricas e variáveis morfométricas piores com piores desempenho na condição de sombra, apesar de ritmos de crescimento semelhantes, poderia se deduzir que a espécie tem a necessidade de uma cobertura de sombra no início do seu desenvolvimento como afirmado por Carvalho (2003), mas que necessitaria de aberturas de dossel ao longo dos anos para melhorar o seu desenvolvimento. Tais pontos poderiam ser atrativos considerando-se a implantação de ervais em plantios já antigos e desbastados de *Pinus* sp, conforme recomendou Carpanezzi (1988), com gradativa abertura de espaço até uma futura condição de pleno sol com a remoção completa das árvores do dossel, como o observado nesta pesquisa para as árvores localizadas na fixa livre de sombra situada sob a linha de transmissão no interior do talhão.

## 5. CONCLUSÕES

Para os principais indicadores morfométricos do *I. paraguariensis*, a condição a pleno sol teve valores médios relativamente melhores que os valores da condição sub-bosque, havendo diferença estatísticas para todas as variáveis analisadas.

Com a análise retrospectiva do crescimento diamétrico da *Ilex paraguariensis*, observou-se que este povoamento tem idades entre 20 e 34,9 anos, sugerindo que as menores idades sejam de indivíduos regenerantes do plantio original, tendo em vista a inexistência de intervenção no local.

Para o crescimento diamétrico em cada ano, a espécie ainda não atingiu sua máxima produção biológica em ambas as condições.

Plantios de *I. paraguariensis* no sub-bosque de povoamentos antigos *Pinus* sp são atrativos pois a gradativa abertura do dossel da espécie no estrato superior pode melhorar o desempenho morfométrico da espécie no sub-bosque, sobretudo a proporção de copa, que impacta positivamente no seu maior rendimento comercial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Araújo, P. A., Souza, A. L., Campos, J. C. C., & Paula Neto, F. (1993). Idade relativa como subsídio à determinação de ciclo de corte no manejo sustentável de povoamentos florestais nativos. *Revista Árvore*, 17(1), 100-106.
- Arruda, M. B. (Org.). (2001). *Ecossistemas Brasileiros* (49 p.). Brasília: Edições IBAMA.
- Atanazio, K. A. (2018). *Relações morfométricas e quantificação da produção de pinhas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze no sul do Brasil* (Dissertação de mestrado). Universidade do estado de Santa Catarina, Lages.
- Barros, D. A., Machado, S. A., Arcebi Junior, F. W., & Scolforo, J. R. S. (2002). Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 45, 3-28.
- Bartoszeck, A. C. P. S. (2002). *Evolução da distribuição diamétrica e da relação hipsométrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracingais da região metropolitana de Curitiba* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Brito, F. (2006). *Corredores ecológicos: uma estratégia integradora na gestão dos ecossistemas* (273 p.). Florianópolis: Editora da UFSC.

- Caballero, J. D., & Malleux, J. O. (1976). Estudio de una metodología para la determinación de edades en bosques naturales. *Revista Floresta del Perú*, 5(1-2), 33-40.
- Campos, J. C. C., & Leite, H. G. (2006). *Mensuração Florestal: Perguntas e respostas* (2. ed, 470 p.). Viçosa: Editora UFV.
- Carvalho, M. M. (2006). *O desmatamento das florestas de araucária e o Médio Vale do Iguaçu: uma história de riqueza madeireira e colonizações* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Carvalho, P. E. R. (2003). *Espécies arbóreas brasileiras* (1039 p.). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Carvalho, P. E. R. (1994). *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira* (640 p.). Curitiba: EMBRAPA/CNP Florestas.
- Carpanezzi, A. A. (1988). *Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina* (Documentos 21, 113 p.). Curitiba: EMBRAPA-CNPF.
- Cherubini, P., Gartner, B. L., Tognetti, R., Braker, O. U., Schoch, W., & Innes, J. I. (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from Mediterranean climates. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 78(1), 119-148. PMID:12620063. <http://doi.org/10.1017/S1464793102006000>.
- Coelho, G. C., Rachwal, M., Schnorrenberger, E., & Schenkel, E. P. (2000). Efeitos do sombreamento sobre a sobrevivência, morfologia e química da Erva-Mate. In *Congresso Sul-Americano da Erva-Mate, reunião técnica do cone sul sobre a cultura da Erva-Mate* (pp. 396-399), Encantado, RS.
- Costa, E. A., Finger, C. A. G., Marangon, G. P., Cubas, R., & Longhi, R. V. (2014). Relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. In *Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais* (pp. 696-700), Recife, PE.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. (2003). *Dados e informações biofísicas da Unidade de planejamento Regional Planalto Norte Catarinense – UPR 4* (70 p.). Florianópolis: Ed. EPAGRI.
- Durlo, M. A. (2001). Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. *Ciência Florestal*, 11(1), 141-149. <http://doi.org/10.5902/19805098501>.
- Durlo, M. A., & Denardi, L. (1998). Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 8(1), 55-66. <http://doi.org/10.5902/19805098351>.
- Figueiredo Filho, A., Retslaff, F. S., Retslaff, F. S., Longhi-Santos, T., & Stepka, T. F. (2017). Crescimento e idade de espécies nativas regenerantes sob plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. *Floresta e Ambiente*, 24(0), e00104814. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.104814>.
- Galeski, G. (2022). *Avaliação do crescimento de árvores longevas de Pinus elliottii Engelm na Floresta Nacional de Três Barras* (Monografia). Universidade do estado de Santa Catarina, Lages.
- Gomes, M. A. A. (1964). *Lições de silvicultura geral* (220 p.). Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.
- Gerhardt, M. (2003). *História ambiental da erva-mate* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Gliessmann, S. R. (2000). *Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável* (653 p.). Porto Alegre: EDURGS/ UFRGS.
- Hosokawa, R. T., Moura, J. B., & Cunha, U. S. (1998). *Introdução ao manejo e economia de florestas* (162 p.). Curitiba: Editora UFPR.
- Lima Neto, J. (1984). *Erva-mate sob cobertura* (5 p.). Três barras: IBDF.
- Leite, F. S., & Rezende, A. V. (2010). Estimativa do volume de madeira partindo do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme. *Ciência Florestal*, 20(1), 69-79. <http://doi.org/10.5902/198050981762>.
- Lingner, D. V., Oliveira, Y. M., Rosot, N. C., & Dlugosz, F. L. (2007). Caracterização da estrutura e da dinâmica de um remanescente de Floresta com Araucária no Planalto Catarinense. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 55(1), 55-66.
- Longhi, R. V., Schneider, P. R., Lira, D. F. S., & Lisboa, G. S. (2017). Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil. *Agrária*, 12(2), 210-219. <http://doi.org/10.5039/agraria.v12i2a5437>.
- Machado, S. A., Bailey, R. L., Basso, S. F., & Bevilacqua Junior, V. G. (1994). Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliottii* no Paraná. *Cerne*, 1(1), 5-12.
- Mackay, E. (1961). *Fundamentos y métodos de la ordenación de montes* (2. ed., 768 p.). Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Mattos, P. P., Santos, A. T., Oliveira, Y. M. M., & Rosot, M. A. D. (2007a). Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candóí, PR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 54, 153-156.
- Mattos, P. P., Santos, A. T., Rivera, H., Oliveira, Y. M. M., Rosot, M. A. D., & Garrastazu, M. C. (2007b). Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 55, 107-114.
- Oliveira, J. M. (2007). *Anéis de crescimento de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze Araucaria angustifolia: bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Orellana, E., & Koehler, A. B. (2008). Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer Morphometric relations of *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais*, 8(2), 229-237. <http://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v6i2.10496>.
- Passos, M. G., Prado, G. P., Fontana, C., & Bianchini, E. (2021). Structure and Tree Diversity in a Mixed Ombrophilous Forest Remnant, Southern Brazil. *Floresta e Ambiente*, 28(2), e20200064. <http://doi.org/10.1590/2179-8087-floram-2020-0064>.
- Penteado Júnior, J. F., & Goulart, I. C. G. R. (2019). *Erva 20: Sistema de Produção de Erva-Mate* (152 p.). Brasília: Embrapa.
- Roman, M., Bressan, D. A., & Durlo, M. A. (2009). Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.). *Ciência Florestal*, 19(4), 473-480. <http://doi.org/10.5902/19805098901>.
- Rufino, R. F., Miguel, E., Santos, G. A., Santos, T. E. B., & Souza, F. (2010). Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos conduzido sobre o sistema de rebrota. *Enciclopédia Biosfera*, 8(10), 1-10.
- Sanquetta, C. R., Behling, A., Corte, A. P. D., Fernandes, A. C., Beckert, S. M., & Simon, A. A. (2014). Equações para Estimativa do Diâmetro de Copa para Acácia-negra. *Floresta e Ambiente*, 21(2), 192-205. <http://doi.org/10.4322/floram.2014.018>.
- Santos, D. V. (2018). *Padrões morfométricos para Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze na região do Planalto Sul Catarinense* (Dissertação de mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- Seitz, R. A., & Kanninen, M. (1989). Tree rings analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. *IAWA Journal*, 10(2), 170-174. <http://doi.org/10.1163/22941932-90000485>.
- Scheeren, L. W., Fleig, F. D., Schneider, P. R., & Finger, C. A. G. (2003). Crescimento de Canela-Lageana, *Ocotea pulchella* Nees et Mart. ex Nees, na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, 13(1), 145-152. <http://doi.org/10.5902/198050981732>.
- Schneider, P. S. P., Scheeren, L. W., Fleig, F. D., Schneider, P. R., & Finger, C. G. (2000). Crescimento da canela-de-veado, *Heliopsis scabra* Benth., na depressão central do estado do Rio Grande do Sul. In *Simpósio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal* (pp. 177-190), Santa Maria, RS.

- Souza, A. M. (1998). *Dos ervais ao mate: possibilidades de revalorização dos tradicionais processos de produção e de transformação de erva-mate no planalto norte catarinense* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Spiecker, H. (2002). Tree rings and forest management in Europe. *Dendrochronologia*, 20(1-2), 191-202. <http://doi.org/10.1078/1125-7865-00016>.
- Tonini, H., & Arco-Verde, M. F. (2005). Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(7), 633-638.
- Tonini, H., Costa, P., & Kaminski, P. E. (2008). Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil em Roraima. *Floresta*, 38(3), 445-457. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v38i3>.
- Watzlawick, L. F., Vulcanis, L., Sanquetta, C. R., & Nutto, L. (2005). Perspectivas de manejo de Capororoca (*Myrsine umbellata* MART.) utilizando Análise Retrospectiva. *Revista Ambiente*, 1(1), 71-82.
- Zeide, B. (1993). Analysis of growth equations. *Forest Science*, 39(3), 594-616. <http://doi.org/10.1093/forestscience/39.3.594>.

#### CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES :

TFS: Conceptualization, Methodology Investigation, Writing – review & editing; LOW: Conceptualization, Methodology, Software Formal Analysis, Investigation, Writing – original draft; RS: Conceptualization, Methodology, Software Formal Analysis, Investigation, Writing – original draft; LCJF: Methodology, Investigation, Writing – review & editing; GPM: Methodology, Investigation, Writing – review & editing; GSL: Methodology, Investigation, Writing – review & editing