

Artigos

Índices morfométricos obtidos por meio de estimadores por razão em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. no Rio Grande do Sul

Morphometric indices obtained by ratio estimates in *Acacia mearnsii* de Wild. stand in Rio Grande do Sul, Brazil

Liz Lorena Cabrera Hong¹ , Alexandre Behling¹ ,
Sylvio Pellico Netto¹ , Ana Paula Dalla Corte¹ 

¹Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

RESUMO

O estudo morfométrico de espécies florestais contribui para a compreensão do desenvolvimento de um indivíduo a partir de variáveis, como diâmetro à altura do peito (*dap*), altura (*h*) e informações sobre a copa da árvore. As principais características morfométricas das árvores são a Proporção de Copa (*PC*), Grau de Esbeltez (*GE*), Índice de Saliência (*IS*), Índice de Abrangência (*IA*) e Formal de Copa (*FC*). A modelagem tradicional para obtenção destes índices resulta em uma estimativa pontual. O objetivo deste estudo foi obter os índices morfométricos para a espécie acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild.), ao longo de seu ciclo de cultivo, por meio de estimadores por razão. Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram obtidos na região sul do estado do Rio Grande do Sul, em três regiões, que apresentam concentração de plantios comerciais da espécie: Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini. Quarenta e oito parcelas temporárias foram instaladas em povoamentos com idade entre um e 10,75 anos e amostradas 672 árvores para mensuração das variáveis *dap*, altura total (*h*), comprimento de copa (*cc*) e diâmetro de copa (*dc*). A modelagem dos índices foi realizada aplicando-se os estimadores por razão. As copas, em média, ocupam 52,10% da altura, sendo este mais proeminente nas florestas jovens, decaindo ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos. O *GE* resultou em valor superior a 1, indicando que o crescimento em altura supera o crescimento em *dap*. Em média, apresentam copas 22 vezes maior que o *dap*, com tendência decrescente em função da idade, crescimento em altura maior que o crescimento em *dap* e copas esbeltas. As precisões não são constantes ao longo das idades, e, em sua maioria, os índices apresentam precisão média. Os resultados apresentados são úteis para entender os processos dinâmicos ocorrentes nas florestas de acácia-negra.

Palavras-chave: Morfometria; Acácia negra; Precisão do índice



ABSTRACT

The morphometric study of forest species contributes to the understanding of an individual's development based on variables such as diameter at breast height (*DBH*), height and information on the crown of the tree. The main morphometric characteristics of the trees are the Crown Ratio (CR), Degree of Slenderness (DS), Saliency Index (SI), Coverage Index (CI) and Crown Formal (CF). The traditional modeling to obtain these indexes results in a one-off estimate. The objective of this study was to obtain the morphometric indices for black wattle species (*Acacia mearnsii* de Wild.) throughout its cultivation cycle, using ratio estimates. The data used to carry out this work were obtained in the southern region of the state of Rio Grande do Sul, in three regions, which have a concentration of commercial plantations of the species: Cristal, Encruzilhada do Sul and Piratini. Forty-eight (48) temporary plots were installed in stands between one year and 10.75 years old and 672 trees were sampled to measure the *DBH*, total height (*h*), crown length (*l*) and crown diameter (*dc*) variables. The modeling of the indexes was performed using ratio estimates. The crowns, on average, occupy 52,10% of the height, this being more prominent in young forests, decreasing throughout the cultivation cycle of the stands. The DS resulting in a value greater than 1, indicating that growth in height exceeds growth in *DBH*. On average, they have crowns 22 times larger than *DBH*, with a decreasing trend due to age, growth in height greater than the growth in diameter of the crown, and, in most cases, black wattle trees have slender crowns. Precisions are not constant over the ages, and, for the most part, the indices are of medium accuracy. The results presented in this work are useful to understand the dynamic processes occurring in black wattle forests.

Keywords: Morphometry; Black wattle; Index accuracy

1 INTRODUÇÃO

Um aspecto importante no manejo de espécies florestais é conhecer a morfometria das árvores, cuja obtenção se dá por meio de mensuração de variáveis, como diâmetro à altura do peito (*dap*), altura (*h*) e, também, daquelas relacionadas à copa (Orellana; Koehler, 2008). Estudar a morfometria de espécies florestais contribui para a compreensão do desenvolvimento de um indivíduo na floresta (Roman; Bressan; Durlo, 2009). Segundo Ricken, Hess, Mattos, Braz, Nakajima e Hosokawa (2020), o estudo da morfometria da copa das árvores permite entender as relações interdimensionais e reconstruir o espaço utilizado por cada árvore. Durlo e Denardi (1998) acrescentam que estudos referentes à morfometria de árvores são utilizados para prever o grau de competição de um povoamento e inferir sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo arbóreo. Ademais, Leonardo, Cerqueira, Lenzi, Madi, Drescher, Caldeira e Martinez (2017) consideram que o conhecimento da morfometria e a dinâmica das formas das árvores possibilitam aprimorar as intervenções silviculturais.



Os primeiros estudos sobre a dimensão da copa e suas relações se devem a Burger em 1939 (Costa; Finger; Hess, 2015). Durlo e Denardi (1998) apresentam a definição das principais características morfométricas das árvores: (1) Proporção de Copa (*PC*), (2) Grau de Esbeltez (*GE*), (3) Índice de Saliência (*IS*), (4) Índice de Abrangência (*IA*) e (5) Formal de Copa (*FC*).

A proporção de copa, obtida em percentagem, é a razão entre o comprimento de copa (*cc*) e altura total da árvore (Orellana; Koehller, 2008). Esta variável é um indicador de vitalidade das árvores, revelando que, quanto maior for a percentagem de copa mais vital e produtiva é a árvore (Durlo; Denardi, 1998). O grau de esbeltez, variável que relaciona a altura total da árvore e seu *dap*, indica seu grau de estabilidade, neste caso, segundo Durlo e Denardi (1998), quanto mais alto for o grau de esbeltez maior é a instabilidade da árvore. Ainda, segundo Hess, Souza, Costa e Magalhães (2018), este índice serve como indicador da capacidade ou resistência da árvore devido ao movimento provocado pelo vento.

O índice de saliência, cuja relação se dá pelas variáveis diâmetro de copa (*dc*) e *dap* da árvore, expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o seu *dap* (Torres; Todeschini; Farias, 2019). Havendo alta correlação entre estas variáveis, este índice informa o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore para que ela possa crescer sem concorrência (Santos; Silva; Vieira; Santos; Silva; Floriano, 2019), sendo, portanto, importante na especificação de desbaste (Durlo; Denardi, 1998). O índice de abrangência, obtido pela razão entre *dc* e altura total da árvore (Carmona; Aquino; Rocha; Silva; Ficagna; Baloneque; Otake; Pauletto, 2018), pode ser utilizado como indicador de desbaste ao longo do ciclo do povoamento, uma vez que existe alta correlação entre estas variáveis (Torres; Todeschini; Farias, 2019). O índice formal de copa, expresso pela relação *dc* e o comprimento da copa (*l*), indica a qual forma geométrica a árvore se assemelha (Zimmermann; Fleig; Redin; Aguiar, 2012). Quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade de um povoamento (Durlo; Denardi, 1998).



Normalmente os índices morfométricos são calculados de forma a obter um único valor, ou seja, são calculados gerando uma estimativa pontual. Entretanto, seria útil obter também uma precisão do índice, para identificar seu comportamento, em termos de média e variância, em diferentes idades ou para povoamentos em diferentes condições ambientais. Dessa forma, além de se estimar o valor pontual (valor do índice), requer-se também estimar a precisão de um índice. Para obter essas duas informações, estimadores por razão podem ser utilizados para modelar os índices morfométricos.

O estimador por razão é uma variável auxiliar, de fácil obtenção e cujo valor total na população seja conhecido, para estimar a variável de interesse (Soares; Paula Neto; Souza, 2011). Presume-se que o uso de estimadores por razão para gerar estimativas tenha iniciado com o trabalho de Cochran em 1940. Segundo Cochran (1977), quando se tem uma variável auxiliar x_i , de baixo custo amostral e correlacionada com y_i , pode-se fazer uso do estimador por razão. Segundo o mesmo autor, o objetivo desse método é alcançar a melhor acurácia, aproveitando a correlação entre x_i e y_i . Os estimadores por razão permitem obter a precisão do índice e, conseqüentemente, um intervalo de confiança poderá ser estabelecido.

A acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) ocorre naturalmente no sudeste da Austrália, sendo a terceira espécie florestal mais plantada no Brasil. Plantada comercialmente no Rio Grande do Sul, onde representa significativa parcela dos reflorestamentos do Estado. Além do uso como matéria-prima para tanino, celulose e carvão, apresenta, ainda, grande importância social, por ser plantada em pequenas propriedades, beneficiando milhares de famílias na região. O plantio de acácia negra é visto como uma atividade de bons rendimentos, dado o seu rápido crescimento, adaptabilidade, múltiplos usos e aproveitamento de derivados, mercados diversificados, como a madeira descascada para cavacos usados na produção de celulose, aglomerados, chapas e painéis, lenha, carvão vegetal, geração de energia, madeira branca, goma, dentre outros (Cosmo; Galeriani; Novakoski, 2020).



Há poucos estudos referentes aos índices morfométricos para a espécie acácia-negra. Neste trabalho foi investigada a seguinte questão: Como é o comportamento dos índices morfométricos ao longo de um ciclo de cultivo da espécie? Assim, o objetivo deste trabalho foi calcular os índices morfométricos para a espécie acácia-negra, por meio de estimadores por razão, e avaliar seus respectivos comportamentos durante o ciclo produtivo desta espécie.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Origem dos dados

Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram coletados na região sul do estado do Rio Grande do Sul. Três regiões foram estabelecidas (Figura 1), as quais apresentam concentração de plantios comerciais da espécie acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) denominadas: Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini.

O clima do Rio Grande do Sul é Temperado (Cfb) do tipo Subtropical (Cfa), classificado como Mesotérmico Úmido, segundo a classificação de Köppen, ou seja, sem estação seca, as chuvas são distribuídas por todo o ano, com precipitações mensais superiores a 60 mm, verão quente e moderadamente quente (Kuinchtner; Buriol, 2001). Os municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini estão localizados na região Serra do Sudeste do estado e Cristal encontra-se na região Encosta do Sudeste. A região da Encosta do Sudeste pertence à variedade Cfa, na Serra do Sudeste predomina o clima Cfb nas partes mais altas e Cfa nas partes mais baixas (Mochiutti; Higa; Simon, 2007).

A encosta do Sudeste apresenta relevo plano, com altitude inferior a 30m, exceto os esporões, onde encontram-se os campos secos e as florestas latifoliadas altas, alcançando até 200 m de altitude. Predominam solos argissolos, neossolos e cambissolos, nos topos e encostas, e solos planossolos e gleissolos nas áreas baixas e planas. A região da serra do Sudeste apresenta-se em formas arredondadas, a altitude varia entre 20 a 200 metros nas bordas e até 400 a 600 m nas serras (Mochiutti; Higa;

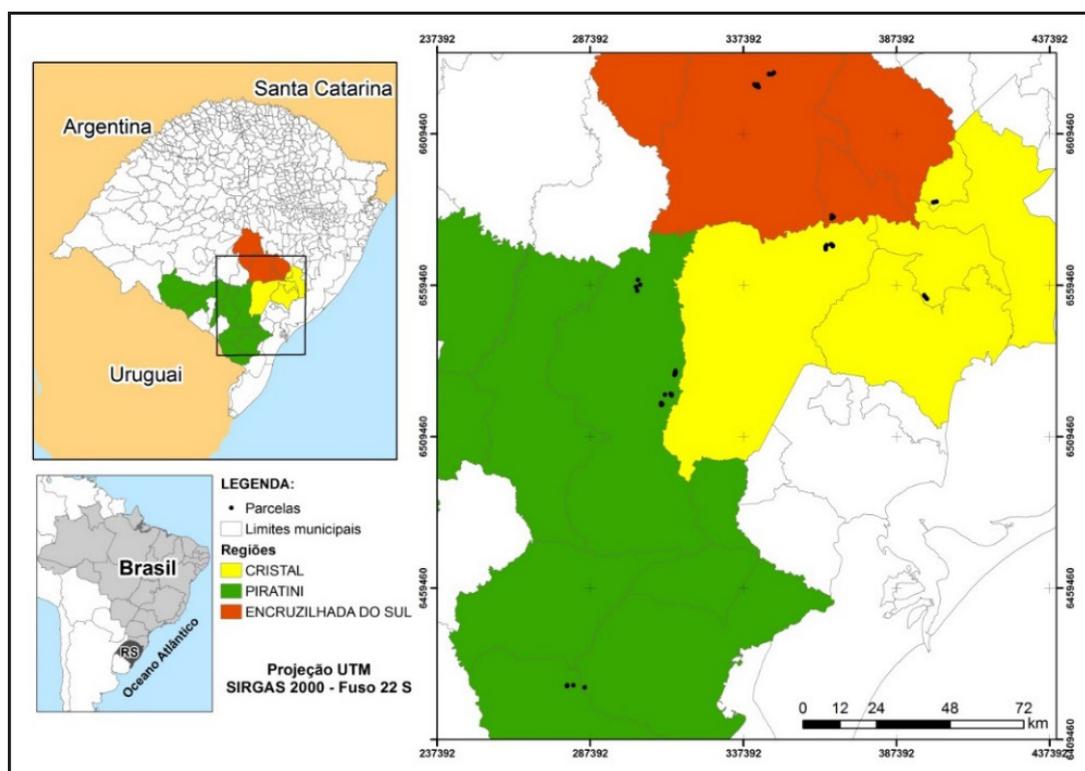


Simon, 2007). Nesta região predominam solos originários do granito, ocorrendo principalmente os neossolos, também os cambissolos e argissolos.

A mensuração de variáveis ocorreu nos meses de junho e julho do ano de 2014. Em cada região, foram amostrados quatro povoamentos em uma sequência de idade após o plantio, de forma que os dados amostrais representassem toda a idade de rotação da cultura. Dessa forma, em Cristal foram amostrados povoamentos com idades de 1,75; 2,75; 5,00 e 10,08 anos, em Encruzilhada do Sul com 1,83; 3,08; 5,75 e 10,75 anos e no município de Piratini povoamentos com idades de 1; 2,33; 5,25 e 9,83 anos.

Os plantios foram estabelecidos em áreas de primeira rotação e segunda rotação. O preparo do solo foi efetuado somente na linha de plantio, com mudas produzidas a partir de sementes (provenientes de pomares de sementes). Os plantios foram feitos manualmente, com espaçamento de 3m x 1,75m e adição de 50 g de fertilizante por muda.

Figura 1 – Locais de amostragem de povoamentos de acácia negra no estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Behling, Pellico Neto, Sanquetta, Corte, Affleck, Rodrigues e Behling (2018)



Em cada povoamento foram instaladas, aleatoriamente, quatro parcelas circulares com diâmetro de 10 m. Ao todo, foram instaladas 48 parcelas temporárias e todas as árvores nas parcelas foram consideradas para mensuração das variáveis. O tamanho da amostra está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Número de árvores amostradas por região e idade

Local	Idade	Número de árvores amostradas
Piratini	1,00	71
Cristal	1,75	59
Encruzilhada do Sul	1,83	56
Piratini	2,33	48
Cristal	2,75	47
Encruzilhada do Sul	3,08	68
Piratini	5,00	43
Cristal	5,25	60
Encruzilhada do Sul	5,75	50
Piratini	9,83	51
Cristal	10,08	57
Encruzilhada do Sul	10,75	62

Fonte: Autores (2021)

2.2 Mensuração das variáveis morfométricas

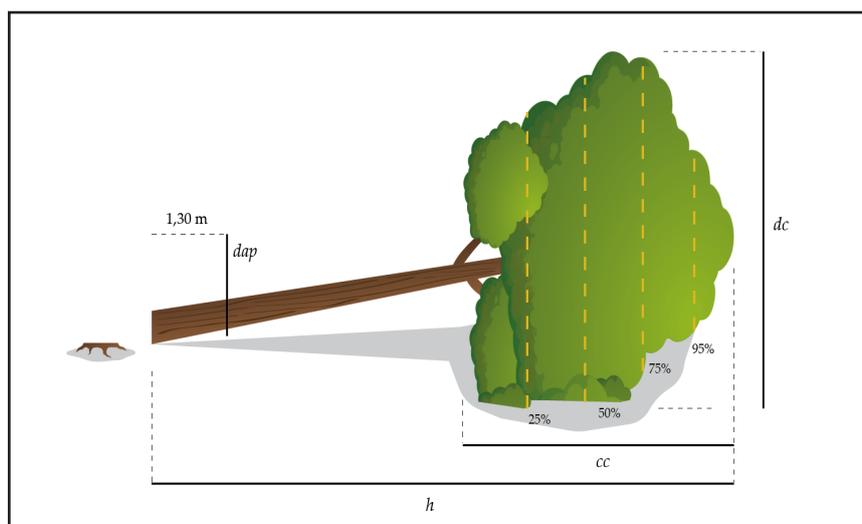
Todas as árvores nas parcelas foram derrubadas (corte rente ao solo) para mensuração das seguintes variáveis (Figura 2):

- Diâmetro à altura do peito (*dap*, em cm): mensurado com uma fita dendrométrica a 1,3 m do solo. Árvores bifurcadas abaixo do *dap* foram consideradas árvores individuais;
- Altura total (*h*, em m): mensurada com uma trena, correspondeu ao comprimento da base da árvore até a ponteira;
- Comprimento de copa (*cc*, em m): mensurada com uma trena, cujo valor refere-se à distância do primeiro ramo (vivo) da base da copa até a ponta da árvore;



- Diâmetro de copa (dc , em m): mensurado com uma trena nas posições 25, 50, 75 e 95% do comprimento de copa, em duas medições em lados opostos da copa para obtenção da média dos dois diâmetros medidos em cada posição. O valor de foi definido como o maior valor encontrado ao longo da copa da árvore.

Figura 2 – Variáveis mensuradas nas árvores de acácia negra no estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Autores (2021)

2.3 Modelos de morfometria

Os índices morfométricos apresentados neste estudo baseiam-se em Durlo e Denardi (1998):

- Proporção de copa: Obtida em porcentagem, corresponde à razão das variáveis comprimento de copa e altura total da árvore. Representa o percentual de ocupação da copa em relação à altura da árvore;

- Grau de esbeltez: Correspondente à razão entre a altura total da árvore e seu diâmetro à altura do peito. Quanto mais alto o valor deste índice mais instável é a árvore (Durlo; Denardi, 1998);

- Índice de saliência: Expresso pela relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito da árvore. O valor obtido indica quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o dap da árvore;



– Índice de abrangência: Obtido pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore. Conforme ocorre aumento da altura da árvore, há necessidade de um espaço maior entre elas para desenvolvimento em diâmetro (Klein; Hess; Krefta; Vieira Filho; Ciarnoscki; Costa, 2017). A relação tende a diminuir com o incremento em altura da árvore;

– Formal de copa: Obtido pela razão do diâmetro e comprimento de copa. Quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade da árvore, isso deve-se à relação entre o manto de copa e a área de projeção de copa.

A modelagem tradicional dos índices morfométricos resulta em um único valor (estimativa pontual) e, geralmente, é comum estabelecer os índices utilizando as expressões conforme Tabela 2. Entretanto, para poder aplicá-la, as variáveis do numerador devem ser proporcionais ao quadrado das variáveis do denominador. Para a espécie acácia negra isso não acontece, portanto, a aplicação dos estimadores por razão é mais apropriada.

Tabela 2 – Modelos de índices morfométricos utilizados na modelagem tradicional

Índice morfométrico	Modelo
Proporção de Copa	$PC_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{cc}{dap} \frac{1}{n} 100 \quad (1)$
Grau de Esbeltez	$GE_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{h}{dap} \frac{1}{n} \quad (2)$
Índice de Saliência	$IS_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{dap} \frac{1}{n} \quad (3)$
Índice de Abrangência	$IA_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{h} \frac{1}{n} \quad (4)$
Formal de Copa	$FC_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{CC} \frac{1}{n} \quad (5)$

Fonte: Autores (2021)

Em que: PC_{tj} é o índice de proporção de copa calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); GE_{tj} é o índice de grau de esbeltez calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); IS_{tj} é o índice de saliência calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); IA_{tj} é o índice de abrangência calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); FC_{tj} é o índice de formal de copa calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j).



Os cálculos para aplicação do estimador por razão foram fundamentados e descritos em Péllico Neto e Behling (2019). Considere o índice morfométrico proporção de copa:

$$PC = \frac{l}{h} \quad (6)$$

Logo,

$$l = PC h \quad (7)$$

A solução de pc pode ser equacionada por meio de estimadores por razão como:

$$l = R_{PCj} h \quad (8)$$

Em que: R_{PCj} é o índice de proporção de copa obtido por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j).

O mesmo ocorre com os demais índices (Tabela 3).

Tabela 3 – Representação dos modelos de índices morfométricos na modelagem por estimadores por razão

Índice morfométrico	Modelo tradicional		Modelo por estimador por razão	
Grau de Esbeltez	$GE = \frac{h}{dap}$	(9)	$h = R_{GEj} dap$	(10)
Índice de Saliência	$IS = \frac{dc}{dap}$	(11)	$dc = R_{ISj} dap$	(12)
Índice de Abrangência	$IA = \frac{dc}{h}$	(13)	$dc = R_{IAj} h$	(14)
Formal de Copa	$FC = \frac{dc}{cc}$	(15)	$dc = R_{FCj} cc$	(16)

Fonte: Autores (2021)

Em que: R_{GEj} é o índice de grau de esbeltez calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{ISj} é o índice de saliência calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{IAj} é o índice de abrangência calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{FCj} é o índice de formal de copa calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j).



Alternativamente, para facilitar o processo de apresentação dos estimadores por razão para um determinado povoamento, os modelos anteriores podem ser apresentados genericamente como:

$$y_i = R x_i \quad (17)$$

Em que: y_i é o valor da variável dependente para a i -ésima árvore; x_i é o valor da variável independente para a i -ésima árvore; R é um índice morfométrico.

Dado que a amostragem das árvores foi realizada proporcionalmente à variância, as estimativas de \hat{R} podem ser obtidas, tal como:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \frac{1}{\lambda x_i} y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 \frac{1}{\lambda x_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \hat{R} \quad (18)$$

A utilização do estimador permite o cálculo de variância (19), erro padrão (21) para, desta forma, obter o intervalo de confiança (22) e precisão do índice (23).

$$S^2_{\hat{R}_j} = \frac{1-f}{n\bar{X}^2} \frac{\sum_{i=1}^N (y_{ij} - R_j x_{ij})^2}{N-1} \quad (19)$$

Em que: $S^2_{\hat{R}_j}$ é a variância da estimativa da razão; y_{ij} é o valor da variável dependente para a i -ésima árvore para árvores na idade j ; x_{ij} é o valor da variável independente para a i -ésima árvore para árvores na idade j ; N corresponde ao número total de árvores no povoamento; n corresponde ao número de árvores na amostra; \bar{X} é a média aritmética estimada.

$$f = n N^{-1} \quad (20)$$

$$S\bar{Y}_j = \sqrt{\frac{(1-nf)}{n(n-1)}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \hat{R}_j x_{ij})^2}{n-1}} \quad (21)$$

$$\bar{Y}_j = \bar{Y} \pm t \sqrt{S^2_{\bar{Y}_j}} \quad (22)$$



$$E_{rj} = \frac{ts\bar{y}_j}{\bar{Y}_j} 100 \quad (23)$$

Em que: f corresponde ao fator de correção decorrente de população finita; $S\bar{Y}_j$ é o erro padrão da estimativa da razão para árvores na idade j ; \bar{Y}_j corresponde ao intervalo de confiança da estimativa da razão para árvores na idade j ; E_{rj} corresponde à precisão da estimativa da razão para árvores na idade j ; \bar{Y} corresponde à média das amostras.

Nota-se que valores de precisão mais próximos de 0 (zero) apontam menor variabilidade dos índices, ou seja, quanto menor o resultado obtido mais preciso torna-se a avaliação. Dessa forma, a precisão do índice será avaliada conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos resultados da precisão do índice

Precisão %	Classificação
$\leq 5\%$	Alta
$> 5\% \leq 10\%$	Média
$> 10\%$	Baixa

Fonte: Autores (2021)

A modelagem dos índices foi realizada utilizando-se a linguagem de programação *Julia*, por meio de funções desenvolvidas pelos autores. O resultado de cada índice e seu respectivo intervalo de confiança foram apresentados em gráficos, com objetivo de avaliar o comportamento ao longo das idades.

A análise exploratória dos dados foi efetuada por meio do cálculo das estatísticas: média, valores de máximo, mínimo e desvio padrão. A linguagem de programação *Julia* também foi utilizada para o processamento dos dados. Obteve-se a estatística descritiva das variáveis morfométricas para os dados gerais, sem considerar a idade e o local de plantio do povoamento.



3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estatística descritiva das variáveis morfométricas

Observa-se que os dados apresentam alta variabilidade (Tabela 5). O coeficiente de variação (CV%) variou de 39,88 % a 100,21 %, sendo o *dc* a variável com o menor CV%, representando maior homogeneidade do conjunto de dados, quando comparado às demais variáveis, seguida da variável *h* com variação em torno da média de 40,63%. A variação dos dados é justificada, principalmente, pelas diferentes idades das árvores nos povoamentos amostrados.

Segundo Finger, Spathelf, Scheneider e Coelho (2000), a acácia-negra é cultivada em rotações curtas, 7 anos, atingindo, em média, altura de 15,8 m e diâmetro de 12,4 cm. O *dap* variou de 0,64 a 23,55 cm, apresentando uma média de 9,50 cm, com desvio padrão de mais ou menos 5,39 cm. A média de *dap* das árvores mais velhas (acima de 9 anos) foi de 12,92 cm. No estudo, a maior árvore de acácia-negra apresentou 23,55 cm de *dap*, *h* de 21,90 m e *v* igual a 0,4773 m³. A média de *h* dos povoamentos foi de 12,17 m e volume médio obtido igual a 0,0663 m³. O *cc* variou de 0,8 m a 15,6 m, com uma média de 5,81 m. O *dc* apresentou variação de 0,45 m a 5,6 m, apresentando uma média de 1,92 m.

Tabela 5 – Estatística descritiva das variáveis morfométricas coletadas nos povoamentos de acácia-negra, em três regiões do Rio Grande do Sul

Estatística	Variáveis				
	<i>dap</i> (cm)	<i>h</i> (m)	<i>cc</i> (m)	<i>dc</i> (m)	<i>v</i> (m ³)
Mínimo	0,64	1,60	0,80	0,45	0,0002
Máximo	23,55	21,90	15,60	5,60	0,4773
Média	9,50	12,50	5,81	1,92	0,0663
Variância	19,28	24,45	5,73	0,59	0,0044
Desvio padrão	4,39	4,95	2,39	0,76	0,0664
Coeficiente de variação (CV)	46,21	40,63	41,22	39,88	100,2140
Erro Padrão	0,17	0,19	0,09	0,03	0,0026
IC inferior	9,17	12,12	5,63	1,86	0,0612
IC superior	9,83	12,87	5,99	1,98	0,0713

Fonte: Autores (2021)

Em que: *dap* é o diâmetro à altura do peito; *h* é a altura; *cc* é o comprimento de copa; *dc* é o diâmetro de copa; *v* é o volume.



3.2 Modelagem dos índices morfométricos

Aplicando os estimadores por razão foram estimados os índices morfométricos (Tabela 6), estabelecido o intervalo de confiança (Figura 3) e a precisão dos índices (Tabela 7).

Tabela 6 – Índices morfométricos nas diferentes idades dos povoamentos em três regiões do Rio Grande do Sul ajustados por meio de estimadores por razão

Índices morfométricos						
Local	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
P	1,00	96,4%	1,43	0,44	0,31	0,32
C	1,75	59,4%	1,09	0,27	0,25	0,42
E	1,83	71,6%	1,16	0,26	0,22	0,31
P	2,33	59,6%	1,21	0,22	0,18	0,30
C	2,75	41,3%	1,32	0,19	0,14	0,34
E	3,08	45,9%	1,32	0,19	0,15	0,32
C	5,00	38,4%	1,35	0,18	0,13	0,35
P	5,25	43,5%	1,32	0,19	0,14	0,33
E	5,75	34,4%	1,38	0,17	0,12	0,36
P	9,83	48,5%	1,22	0,19	0,16	0,32
C	10,08	41,3%	1,28	0,16	0,12	0,30
E	10,75	45,0%	1,32	0,17	0,12	0,28
Total		52,1%	1,28	0,22	0,17	0,33

Fonte: Autores (2021)

Em que: E. do Sul corresponde ao município de Encruzilhada do Sul; PC é o índice de proporção de copa; GE é o índice grau de esbeltez; IS é o índice de saliência; IA é o índice de abrangência; FC é o índice formal de copa.

Tabela 7 – Precisão dos índices morfométricos nas diferentes idades dos povoamentos em três municípios do Rio Grande do Sul ajustados por meio de estimadores por razão

Precisão do índice morfométrico						
Local	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
P	1,00	0,32%	3,32%	8,17%	7,37%	7,38%
C	1,75	5,47%	3,87%	4,92%	6,38%	7,34%
E	1,83	3,11%	3,93%	5,73%	7,44%	6,83%
P	2,33	5,24%	5,68%	4,62%	7,45%	6,47%
C	2,75	5,26%	4,59%	5,23%	7,94%	6,82%
E	3,08	5,82%	3,22%	5,12%	6,33%	5,10%
C	5,00	6,43%	5,69%	5,04%	7,88%	8,71%
P	5,25	5,16%	4,41%	4,97%	5,85%	5,40%
E	5,75	8,30%	4,72%	5,57%	7,46%	9,24%
P	9,83	8,31%	5,34%	5,87%	7,97%	10,34%
C	10,08	10,62%	4,51%	6,56%	8,78%	14,33%
E	10,75	10,08%	3,60%	5,05%	6,30%	12,21%

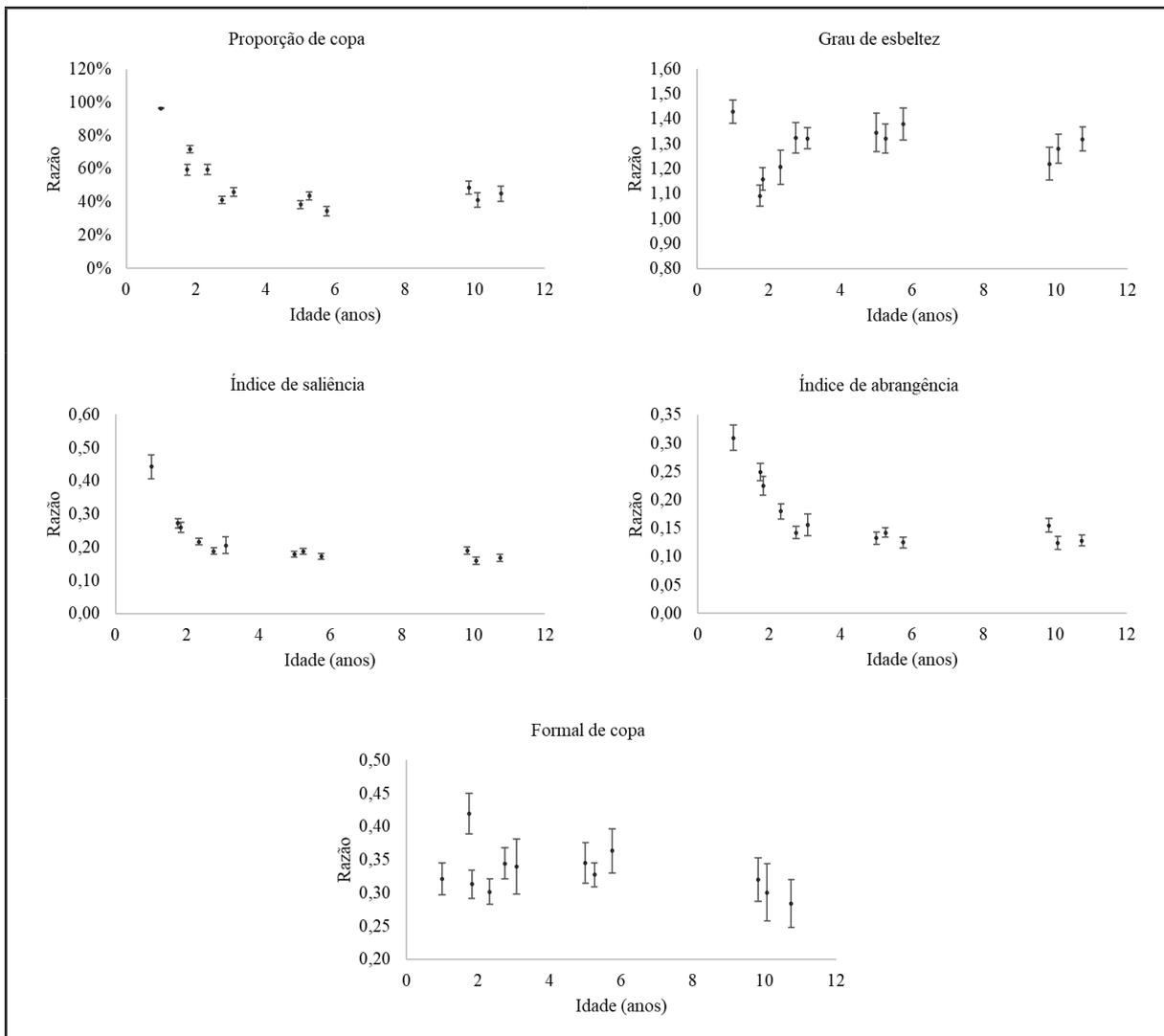
Fonte: Autores(2021)

Em que: E. do Sul corresponde ao município de Encruzilhada do Sul; PC é o índice de proporção de copa; GE é o índice grau de esbeltez; IS é o índice de saliência; IA é o índice de abrangência; FC é o índice formal de copa.



Os valores de intervalo de confiança demonstram que a precisão varia entre idades, ou seja, as variâncias das variáveis variam ao longo do ciclo de cultivo. Os índices *PC*, *IS* e *IA* apresentam menor variação dos resultados no decorrer das idades. Apesar de maiores, no índice *GE* o intervalo de confiança apresenta-se constante em todas as idades. O *FC* revela maior variação em relação à média, das idades, dentre os índices calculados.

Figura 3 – Intervalo de confiança dos índices morfométricos ajustados por meio de estimadores por razão



Fonte: Autores (2021)



3.2.1 Proporção de copa

A acácia-negra apresentou proporção de copa média de 52,1%, ou seja, 52,1% da altura total das árvores é ocupada pela copa. Portanto, em média, nos povoamentos estudados a sua copa ocupa mais da metade da altura da árvore. Observa-se um decréscimo no valor do índice para as florestas mais velhas. Os resultados variam de 34,4% a 96,4%. Nota-se que os povoamentos de menor idade apresentam os maiores valores para este índice, com valores acima de 50%, sendo, ainda, o povoamento instalado em Piratini o que apresentou melhor índice, com $PC=96,4\%$ para árvores com idade de 1 ano. A menor proporção de copa encontra-se em Encruzilhada do Sul, no povoamento com 5,75 anos de idade.

Verifica-se que existe variação em função do local nas florestas jovens (menos de dois anos), visto que de 1 ano para 1,75 anos de idade o índice passa de 96,4% para 59,4% e passa a aumentar (71,6%) na idade 1,83 anos. Nas demais idades essa variação é mais estável, variando em torno de 42%. Conforme Durlo e Denardi (1998), essa variação pode ser atribuída aos diferentes graus de concorrência que as árvores estão submetidas, podendo, também, estar relacionada à dimensão da árvore. As condições de auto sombreamento dos galhos nas florestas maduras é outro motivo para diminuição da altura de copa, conseqüentemente a obtenção de valores menores para os índices.

A precisão tende, também, a diminuir com a idade, variando de 0,32%, no povoamento jovem de 1 ano de idade, a 10,62%, apresentado no povoamento de 10,08 anos de idade. A precisão, segundo a classificação proposta, é alta nos indivíduos jovens (até 2 anos de idade), média em árvores em idade intermediária e precisão baixa quando estas atingem 10 anos de idade.

3.2.2 Grau de esbeltez

O índice que caracteriza a estabilidade das árvores apresentou média igual a 1,28. O GE tende a um comportamento homogêneo, com resultados em torno



de 1,28, o que pode ser constatado por meio das precisões, que foram em média 4,41%, indicando alta precisão do índice. A maior variação, 1,09 (1,83 anos) a 1,43 (1 ano), ocorre na floresta jovem, revelando a interferência do local de plantio, também é observado nessas idades melhores precisões do índice. Segundo Costa, Castro, Wandelli, Coral e Souza (2009), quanto maior o grau de esbeltez, maior a instabilidade da árvore e quanto menor o valor deste índice mais estável é a árvore. Os valores deste índice, em média, diminuíram ao longo das idades. Em média, apresentaram diferença entre as idades, 0,39, sendo que após os 3 anos de idade essa variação foi em torno 0,13. Conforme Tonini e Arco-Verde (2005), uma relação superior a 1 indica que o crescimento em diâmetro é menor que o crescimento em altura, portanto, todas as unidades amostrais instaladas nos povoamentos, em média, apresentaram maior crescimento em altura do que em diâmetro. Altos valores de *GE* podem ser ocasionados por competitividade pelos recursos do meio (Durlo; Denardi, 1998).

Para este índice o maior valor de precisão foi menor que 6% (povoamento de 5 anos de idade), sendo a precisão nas demais idades inferior a esse percentual, indicando alta precisão do índice.

3.2.3 Índice de saliência

O *IS* para a acácia negra resultou em uma média igual a 0,22. Infere-se, então, que a espécie tem uma copa 22 vezes maior que o *dap*. Nota-se que os valores médios de *IS* apresentam tendência a diminuir nas florestas mais velhas, ou seja, à medida que a árvore aumenta o seu *dap*, o *IS* diminui. Selle e Vuaden (2010) descrevem que a diminuição deste índice indica que, proporcionalmente, à medida que a árvore cresce em altura, o diâmetro de copa apresenta menor incremento que o *dap*. Observa-se na floresta jovem com 1 ano de idade *IS* médio igual a 0,44. Nesta idade o *dc* é 44 vezes maior que o seu *dap*, configurando-se claramente a necessidade da área foliar no desenvolvimento inicial de uma espécie, uma vez que o crescimento da árvore dependerá da quantidade de conversão fotossintética (Sanquetta; Behling; Corte; Cadori; Costa Junior; Macedo, 2014).



Constata-se maior variação de *IS* nas florestas jovens (idades inferiores a 2 anos), tendendo a um decréscimo gradual após essas idades. Embora seja notado um comportamento nos valores do índice, não há uma tendência notória no comportamento da precisão do índice quando se observa a idade, a mais baixa encontra-se na floresta com 1 ano de idade com 8,17% de precisão. As melhores precisões, inferiores a 5%, encontram-se nas idades 1,75; 2,33 e 5,25 anos. Nas demais idades o índice apresenta precisão média, com valores em torno de 5,57%.

3.2.4 Índice de abrangência

Assim como o *IS*, o *IA* apresenta comportamento decrescente, ou seja, observa-se tendência de redução dos valores deste índice com o aumento da idade, em que o *IA* é igual a 0,31 no povoamento com 1 ano de idade e 0,13 no povoamento com 10,75 anos; isso ocorre devido ao crescimento em altura da acácia negra com o avanço da idade dos povoamentos. O aumento de *h* não é acompanhado proporcionalmente pelo aumento de *dc* (Costa; Castro; Wandelli; Coral; Souza, 2009), ou seja, o *IA* tende a diminuir com a altura, dado que seu crescimento é maior que o observado no diâmetro de copa (Tonini; Arco-Verde, 2005).

O *IA* médio encontrado foi de 0,17, indicando que, em média, o diâmetro da copa chega a extensões inferiores às alturas das árvores. Os valores de *IA* observados nas florestas jovens apresentam média igual a 0,26, enquanto nas florestas intermediárias e maduras o índice revela-se em torno de 0,14. A precisão varia pouco, sem comportamento definido em função da idade, de classificação média, em torno de 7,26%, em que a melhor precisão encontra-se nas acácias com 5,25 anos, com 5,85%, e a pior revela-se na floresta madura (10,08 anos) com 8,78%.

3.2.5 Formal de copa

O *FC* indica o grau de achatamento das copas. Quando seu valor é igual a 1,0 significa que a copa é redonda, valores abaixo de 1,0 caracterizam copas esbeltas e



valores acima de 1,0 caracterizam copas achatadas (Silva; Fortes; Riva; Schorr, 2017). A acácia negra apresentou *FC* médio igual a 0,33. O índice apresenta tendência homogênea, variando de 0,28 a 0,42. A maior variação, assim como verificado nos índices anteriores, ocorre entre as idades jovens. Os resultados apontam que no estudo as árvores apresentam-se com copas esbeltas. Segundo Klein, Hess, Krefta, Vieira Filho, Ciarnoscki e Costa (2017), entre árvores com mesmo diâmetro, será mais produtiva aquela que apresentar menor valor de *FC*. Menores valores de *FC* são encontrados mais comumente nas árvores maduras (acima de 9 anos de idade).

A precisão não apresenta tendência clara em relação à idade, nota-se redução nas florestas maduras (em torno de 10 anos), onde a precisão é baixa, alcançando precisão igual a 14,33% em Cristal aos 10,08 anos. A precisão é média nas florestas jovens e intermediárias (até 5,75 anos). A melhor precisão revela-se na idade 3,08 (5,10%) e 5,25 (5,40%). O *FC* revela-se com pior resultado de precisão (8,35%) quando comparado aos índices anteriormente citados.

4 CONCLUSÕES

Os índices Proporção de Copa, Índice de Saliência e Índice de Abrangência tendem a diminuir ao longo do ciclo de cultivo da espécie acácia negra. O Grau de Esbeltez não apresentou tendência de comportamento, sendo considerado homogêneo, bem como foi observado para o índice Formal de Copa.

As precisões não são constantes ao longo das idades, e, em sua maioria, os índices apresentam precisão média.

A utilização de estimadores por razão, além de proporcionar ao índice seu intervalo de confiança e também a sua precisão, é a maneira adequada para a obtenção destes índices (à forma de seleção das árvores aplicada no presente estudo, geralmente, também é aquela em outros). Dessa forma, a avaliação dos índices morfométricos por meio dos estimadores por razão foi apropriada. Além dos valores dos índices, avaliar a precisão dos índices possibilita constatar o grau com que os resultados dos índices se repetem.



REFERÊNCIAS

- BEHLING, A.; PELLICO NETO, S.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; AFFLECK, D. L. R.; RODRIGUES, A. L.; BEHLING, M. Critical analyses when modeling tree biomass to ensure additivity of its components. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 1759-1774, 2018.
- CARMONA, I. N.; AQUINO, M. G. C.; ROCHA, D. I. S.; SILVA, J. J. N.; FICAGNA, A. G.; BALONEQUE, D. D.; OTAKE, M. Y. F.; PAULETTO, D. Variáveis morfométricas de três espécies florestais em sistema agroflorestal. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 131-144, 2018.
- COCHRAN, W. G. **Sampling Techniques**. 3d. 1997. *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex Steud. **Ciência Florestal**, 19(4), 473-480.
- COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M.; NOVAKOSKI, F. P. Cultivo de acácias: acácia australiana e acácia negra. **Agronomia brasileira**. v. 4, p. 1 – 4, 2020.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequidiana. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.
- COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 843-850, 2009.
- DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.
- FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P.; SCHENEIDER, P. R.; COELHO, L. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra (*Acacia Mearnsii* de Wild). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 387 - 391, 2000.
- HESS, A. F.; SOUZA, I. A. de; COSTA, E. A.; MAGALHÃES, T. L. Morphometric Relationships as Indicative of Silvicultural Interventions for Brazilian Pine in Southern Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 7, p. 110-121, 2018.
- KLEIN, D. R.; HESS, A. F.; KREFTA, S. M.; VIEIRA FILHO, M. D. H.; CIARNOSCKI, L. D.; COSTA, E. A. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- LEONARDO, F. V. S.; CERQUEIRA, C. L.; LENZI, I. L. C.; MADI, J. P. S.; DRESCHER, R.; CALDEIRA, S. F.; MARTINEZ, D. T. Morphometry of *Caryocar brasiliense* Camb. in homogeneous plantation in Cerrado region. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 131-135, 2017.
- MOCHIUTTI, S.; HIGA, A. R.; SIMON, A. A. Susceptibilidade de ambientes campestres a invasão de acácia-negra (*Acacia mearnsii* DE WILD.) no Rio Grande do Sul. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.



- ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista acadêmica, Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.
- PÉLLICO NETO, S.; BEHLING, A. Additivity of tree biomass components using ratio estimate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 3, 2019.
- RICKEN, P.; HESS, A. F.; MATTOS, P. P. de; BRAZ, E. M.; NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T. Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no Sul do Brasil. **Pesq. flor. bras.**, Colombo, v. 40, p. 1-11, 2020.
- ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell) Arráb. Ex. Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.
- SANTOS, A. R. C. S.; SILVA, L. G.; VIEIRA, A. C. S.; SANTOS, A. A. L.; SILVA, N. L.; FLORIANO, E. P. Morphometry of *Tabebuia aurea* (Silva Manso, Benth. & Hook. f ex s. Moore) in sections of the Federal University of Alagoas, Maceió, AL. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 32445-32454, 2019.
- SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; CORTE, A. P. D.; CADORI, G. C.; COSTA JUNIOR, S.; MACEDO, J. H. P. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em Fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 573-580, 2014.
- SELLE, G. L., VUADEN, E. Crescimento de seis espécies nativas da região central do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 169-192, 2010.
- SILVA, F. A.; FORTES, F. O.; RIVA, D.; SCHORR, L. P. B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.
- SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa: Minas Gerais: Editora UFV, 2011. v. 1. 272 p.
- TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.
- TORRES, V. S.; TODESCHINI, F.; FARIAS, M. F. Morfometria de *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, em floresta urbana de Porto Alegre. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 25, n. 1, p. 20-30, 2019.
- ZIMMERMANN, A. P. L.; FLEIG, F. D.; REDIN, C. G.; AGUIAR, A. V. de. Relações morfométricas para árvores dominantes de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 7, 2012, Viçosa, MG. [Anais...]. Viçosa, MG: UFV, 2012., 2012.



Contribuição de Autoria

1 Liz Lorena Cabrera Hong

Engenheira Florestal, Mestranda em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-0932-3730> • lizlorena.hong@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Análise de dados; Recebimento de financiamento; Pesquisa; Metodologia; Desenvolvimento, implementação e teste de software; Redação do manuscrito original; Design da apresentação de dados; Validação de Dados e experimentos

2 Alexandre Behling

Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7032-2721> • alexandre.behling@yahoo.com.br

Contribuição: Conceitualização; Metodologia; Administração do projeto; Supervisão; Disponibilização de ferramentas; Escrita – revisão e edição

3 Sylvio Pellico Netto

Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3178-1810> • sylviopelliconetto@gmail.com

Contribuição: Conceitualização; Metodologia; Supervisão; Escrita – revisão e edição

4 Ana Paula Dalla Corte

Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0001-8529-5554> • anapaulacorte@gmail.com

Contribuição: Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

HONG, L. L. C.; BEHLING, A.; PELLICO NETTO, S.; CORTE, A. P. D. Índices morfométricos obtidos por meio de estimadores por razão em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 4, e64994, p. 1-22, 2023. DOI 10.5902/1980509864994. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509864994>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.