

Modelagem da estrutura diamétrica da Floresta Ombrófila Mista e *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

*Modeling of the diametric structure of the Mixed Ombrophilous Forest and *Araucaria Angustifolia* (Bertol.) Kuntze*

Marcos Felipe Nicoletti¹, Ivan de Sousa Pinheiro², Victória Varela Silva³, Thiago Floriani Stepka⁴,
Douglas Rufino Vaz⁵, Mário Dobner Júnior⁶

RESUMO: O objetivo do artigo é avaliar a adequação de diferentes modelos de distribuição probabilística na caracterização da estrutura diamétrica de uma floresta nativa secundária de *Araucaria angustifolia* em Campo Belo do Sul e Capão Alto, Santa Catarina. Utilizou-se o método de área fixa com amostragem em conglomerados, medindo árvores com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) ≥ 10 cm. As classes de diâmetro foram agrupadas em amplitudes de 10 cm. Testaram-se as funções de densidade e probabilidade Gamma, Normal, Log-normal, Exponencial, Weibull 2p e Weibull 3p. A avaliação dos ajustes foi feita com as estatísticas: teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa ajustado e corrigido, coeficiente de determinação ajustado, critério de informação de Akaike e critério Bayesiano. A floresta apresentou uma distribuição diamétrica em J-invertido e apenas o modelo Weibull 3p ajustou-se a todas as classes diamétricas. Os modelos Log-normal e Weibull 3p foram os mais adequados, com Weibull 3p apresentando o melhor desempenho geral.

Palavras-chave: Crescimento florestal; Distribuições probabilísticas; Manejo florestal.

ABSTRACT: The objective of this article is to evaluate the adequacy of different probabilistic distribution models in the characterization of the diameter structure of a secondary native forest of *Araucaria angustifolia* in Campo Belo do Sul and Capão Alto, Santa Catarina. The fixed area method was used with cluster sampling, measuring trees with Diameter at Breast Height (DBH) ≥ 10 cm. The diameter classes were grouped into amplitudes of 10 cm. The density and probability functions Gamma, Normal, Log-normal, Exponential, Weibull 2p and Weibull 3p were tested. The following statistics were evaluated: Kolmogorov-Smirnov test, adjusted and corrected standard error of estimation, adjusted coefficient of determination, Akaike information criterion and Bayesian criterion. The forest presented an inverted J-diameter distribution and only the Weibull 3p model was adjusted to all diameter classes. The Log-normal and Weibull 3p models were the most suitable, with Weibull 3p showing the best overall performance.

Keywords: Forest growth; Probabilistic distributions; Forest management.

Autor correspondente: Marcos Felipe Nicoletti
E-mail: marcos.nicoletti@udesc.br

Recebido em: 2023-10-30
Aceito em: 2024-06-05

¹ Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), mestrado e doutorado, da Universidade do Estado de Santa Catarina— UDESC, Lages (SC), Brasil.

² Engenheiro florestal pela Universidade Federal Rural da Amazônia — UFRA, Belém (PA), Brasil

³ Acadêmico do curso de bacharel em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina — UDESC, Lages (SC), Brasil

⁴ Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF), mestrado e doutorado, da Universidade do Estado de Santa Catarina— UDESC, Lages (SC), Brasil.

⁵ Mestre do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) da Universidade do Estado de Santa Catarina— UDESC, Lages (SC), Brasil.

⁶ Diretor da empresa Florestal Gateados AS e Doutor do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal (PPGEF) pela Albert-Ludwigs Universität Freiburg (Alemanha) e Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), Brasil.

INTRODUÇÃO

A modelagem florestal torna-se cada vez mais importante para gerar estimativas acuradas (Nicoletti *et al.*, 2020), buscando desenvolver técnicas e métodos eficientes para estimar, projetar, reconstruir e inferir a respeito do potencial das florestas, a fim de fornecer subsídios para um manejo adequado (Santos; Stepka; Hess, 2023). Contudo, à medida que os modelos exigem um número maior de variáveis explicativas, aumenta-se os custos de coleta dos dados. Uma estratégia usada por anos na mensuração florestal é a utilização do diâmetro à 1,3 m acima do solo (d) (Sbardella *et al.*, 2021) como variável independente para a maioria dos modelos florestais (Fernandes *et al.*, 2020) pois, além de ser a mais acessível, também descreve com precisão o padrão do comportamento da floresta (Santos; Stepka; Hess, 2023).

O diâmetro é uma variável de uso múltiplo dentro da mensuração florestal, já que é a partir dele que são obtidas outras variáveis, como área seccional, volume e coeficiente de forma (Santos; Stepka; Hess, 2023; Farias *et al.*, 2019). A partir dessa informação, é possível conhecer a distribuição diamétrica, definir o grau de ocupação de uma área, bem como modelar e prognosticar o crescimento e produção da floresta (Santos; Stepka; Hess, 2023; Scolforo, 2006). Ademais, a obtenção desses dados pode ser realizada por meio do censo da área ou predição, utilizando-se de técnicas de amostragem.

De acordo com Cruz *et al.* (2021) e Machado *et al.*, (2009), a melhor forma de estimar a estrutura diamétrica de uma espécie ou de uma floresta é por meio das Funções de Densidade Probabilística (FDP's). Essas funções permitem a obtenção da probabilidade de árvores ocorrerem dentro de um determinado intervalo de diâmetro (Campos; Leite, 2017), permitindo futuras predições imprescindíveis para que os planos de manejo sejam implantados (Vendruscolo *et al.*, 2020). Assim, conforme as particularidades de cada espécie, torna-se necessário a escolha de um modelo que descreva com coerência o desempenho da variável de interesse (Santos; Stepka; Hess, 2023; Machado *et al.*, 2010).

As distribuições probabilísticas constituem conceitos fundamentais na estatística, com aplicações práticas e teóricas, em que as frequências esperadas de ocorrência da variável aleatória são estimadas pelas funções de densidade de probabilidade (Santos; Stepka; Hess, 2023). De acordo com Cruz *et al.* (2021) e Oliveira (2020), as FDP's permitem estimar o número de árvores por classe de diâmetro ao longo do tempo, sendo este fator importante para avaliar o histórico e crescimento de um indivíduo, além de ser primordial para o planejamento florestal.

Deste modo, tem-se por objetivo estudar a adequação de diferentes modelos de distribuição probabilística na caracterização da estrutura diamétrica de floresta nativa secundária de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, para assim oferecer subsídios para o manejo da espécie e da tipologia Floresta Ombrófila Mista.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os fragmentos de Floresta Ombrófila Mista estudados estão localizados no município de Campo Belo do Sul e Capão Alto, estado de Santa Catarina (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, a região é caracterizada pelo clima do tipo Cfb, com clima mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estações secas e geadas severas frequentes. Este tipo climático é comum do Planalto Meridional brasileiro, com temperatura média anual de 16 °C (Alvarez *et al.*, 2013).

As áreas apresentam florestas de estágio sucessional secundário e estão na calha do Rio Vacas Gordas. Nestas, a exploração da *Araucaria angustifolia* se deu, segundo relatos dos proprietários, na década de 1960. Há, portanto, aproximadamente 50 anos de recuperação pós exploração.

2.2 SISTEMA DE AMOSTRAGEM

Usou-se o método de área fixa com a amostragem em conglomerados (Figura 1), em que todas as árvores com diâmetro à altura do peito ≥ 10 cm foram medidas o diâmetro (d), bem como altura total (h) e altura do fuste (hf), a partir da primeira bifurcação, com auxílio de fita métrica e Trupulse, respectivamente. Após a medição, demarcou-se as árvores com plaquetas metálicas para evitar duplicidade de coleta. A instalação de conglomerados seguiu a metodologia do Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina (IFFSC) e contou com uma amostra de 11 conglomerados sendo cinco fragmentos de floresta secundária abordados nesse estudo. Os vértices das parcelas (20 m x 50 m) foram demarcados de forma permanente no campo.

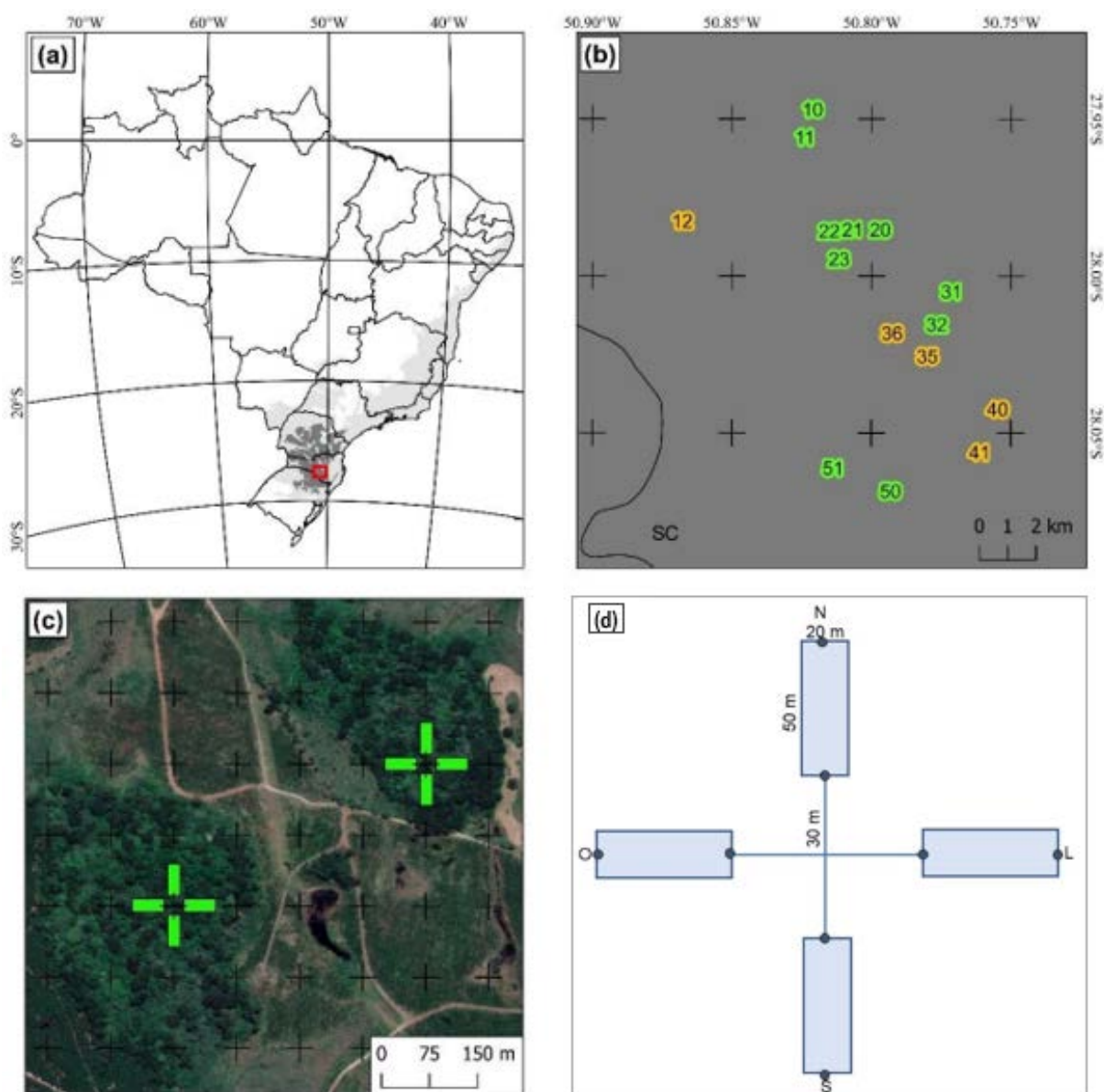


Figura 1. Fragmentos do estudo localizado no sul do Brasil (a), caracterizados como secundários (laranja) e antigos (verde) (b), bem como as unidades amostrais em delineamento de conglomerados, localizadas após uma malha UTM predefinida (c). Os fragmentos 21 e 22 são apresentados com mais detalhes no mapa (c), seguido do modelo esquemático dos conglomerados (d)

Fonte: Adaptado de Vaz *et al.* (2022) e Vibrans *et al.* (2010)

1.1. AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICAS (FDP'S)

Para os ajustes das FDP's, agrupou-se as classes de diâmetro, arbitrariamente, em uma amplitude de 10 cm. Para verificar a estrutura diamétrica da população total do fragmento, assim como de *A. angustifolia*, foram testadas as funções de densidade e probabilidade: Gamma, Normal, Log-normal, Exponencial, Weibull 2p e Weibull 3p (Tabela 1).

Tabela 1. Funções de densidade probabilísticas testadas para descrever a distribuição diamétrica da população de *A. angustifolia*

Distribuições	Modelos de Densidade Probabilística
Gamma Exponencial	$f(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha) \cdot \Gamma(\beta) \cdot (b - a)^{\alpha + \beta - 1}} \left(\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right)^{\alpha - 1} \left(-\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right)^{\beta - 1}$ $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$
Normal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$
Log-Normal	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma^2} \cdot \frac{e^{-\left(\frac{1}{2\sigma^2}\right) \cdot (\ln x - \mu)^2}}{x}$
Weibull 2p	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\alpha - 1} e \left[-\left(\frac{x}{\beta} \right)^\alpha \right]$
Weibull 3p	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \left(\frac{x - y}{\beta} \right)^{\alpha - 1} e \left[-\left(\frac{x - y}{\beta} \right)^\alpha \right]$

Legenda: $f(x)$: função a ser ajustada; x : variável aleatória estudada (diâmetro em cm); x_{min} : menor valor de x ; x_{max} : maior valor de x ; Γ : função gama; $\alpha, \beta, \gamma, k, \mu, \sigma^2, \sigma$: parâmetros a serem estimados para a variável de interesse; e : exponencial; \ln : logaritmo neperiano

2.4 CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE AJUSTE

Para a avaliação dos ajustes, usou-se as estatísticas: teste de Kolmogorov-Smirnov, erro padrão da estimativa ajustado e corrigido, coeficiente de determinação ajustado, critério de informação de Akaike e critério Bayesiano. Desta forma, foi possível avaliar o desempenho dos ajustes a partir de um intervalo de probabilidade de 95%.

Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov é usado para verificar a aderência dos modelos estudados, baseando-se na discrepância entre as distribuições: $Dn = \sup_x |Fn(x) - Fo(x)|$, em que $Fn(x)$ representa a distribuição acumulativa teórica de $Fo(x)$. O cálculo da estatística KS_{cal} e KS_{tab} é apresentado a seguir (Fórmula 1 e 2):

$$KS_{cal} = \frac{\text{Máximo}|Fo(x) - Fe(x)|}{N} \quad (1)$$

$$KS_{tab} = \frac{1,35}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

onde, $Fo(x)$: frequência observada relativa; $Fe(x)$: frequência esperada relativa, N : frequência total, 1,35: corresponde valor de K-S tabelado para uma população acima de 100 árvores ($\alpha = 0,95$).

Quando o KS calculado for menor que o tabelado, não se rejeita a hipótese nula de que as frequências observadas e estimadas possuem aderência (Scolforo, 2006).

Erro padrão da estimativa corrigido (Syx%)

O erro padrão da estimativa indica quão próximos os valores estimados estão dos valores observados, em que quanto mais próximo de zero mais preciso o modelo. Já o erro padrão da estimativa em porcentagem, é o desvio padrão dos valores previstos da variável dependente ao redor da linha de regressão estimada, dado pela seguinte fórmula:

$$syx_{\%} \text{ corr.} = \sqrt{\frac{SQ.Res.}{n-p}} \times 100 \quad (3)$$

onde: \bar{y}_0 : a média da variável de interesse observada; $SQ.Res.$: Soma de quadrado do resíduo; n : o número de observações, e; p : o número de coeficientes do modelo.

Coeficiente de determinação ajustado e corrigido ($R^2_{aj.}$)

O coeficiente de determinação ajustado e corrigido, utilizado para verificar o grau de associação do modelo com a variável resposta, sendo que quanto maior o valor, maior a relação entre as variáveis, é dado pela seguinte expressão:

$$R^2_{aj.} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \times \left(\frac{SQ.Res.}{SQ.T.} \right) \quad (4)$$

onde: n : número de observações; p : número total de parâmetros; $SQ.Res.$: Soma de quadrado do resíduo; $SQ.T.$: Soma de quadrado total.

Critério de Informação de Akaike (AIC)

O critério de informação de Akaike está fundamentado na Teoria da Informação, refletindo a perda de informação associada às predições de um modelo. Assim, quanto menor o valor de AIC, mais expressivo e melhor é o modelo:

$$AIC = n \cdot \ln(SQres) - n \cdot \ln(n) + 2p \quad (5)$$

onde, n : número de observações da amostra; p : número de parâmetros do modelo; $SQres$: Soma de Quadrados dos resíduos.

Critério Bayesiano (BIC)

O Critério Bayesiano de Schwarz (BIC) tem como pressuposto a existência de um “modelo verdadeiro” que descreve a relação entre a variável dependente e as diversas variáveis explanatórias entre os modelos sob seleção. Assim, o critério é definido como a estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o verdadeiro modelo dentre os avaliados, sendo o menor BIC considerado o de melhor ajuste, definido por:

$$BIC = -2L + 2K * \ln(n) \quad (6)$$

onde: n : número de observações; K : número de parâmetros; L : logaritmo natural da função da verossimilhança avaliada no máximo.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

1.2. AJUSTE DAS FUNÇÕES DE DENSIDADE PROBABILÍSTICAS (FDP'S)

Avaliando as variáveis dendrométricas para o conjunto de fragmentos, observou-se que, em termos médios, a floresta possui “d” de $21,2 \pm 0,21$ cm, altura total de $14,9 \pm 0,19$ m e altura do fuste de $8,7 \pm 0,19$ m. Já para a espécie *Araucaria angustifolia* os valores médios das variáveis dendrométricas apresentaram “d” de $34,5 \pm 1,21$ cm, a altura total $17,7 \pm 0,24$ m e a altura do fuste $13,0 \pm 0,26$ m. Contudo, os valores médios encontrados pelo IFSSC são de 29 cm para o “d” e 13,9 m para a altura total (Serviço Florestal Brasileiro, 2018), podendo essa diferença ser explicada em função dos estágios de sucessão das áreas.

Os valores das estimativas dos parâmetros encontrados para as FDP's ajustadas para todas as espécies pertencentes à floresta e, especificamente, para *A. angustifolia* estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estimados a partir das funções de densidade probabilísticas para fragmentos secundários de Floresta Ombrófila Mista do Planalto Sul de Santa Catarina

FDP	Coef.	Floresta	<i>A. angustifolia</i>
Normal	μ	21,20093	34,49739
	sd	11,63306	18,66274
Weibull 2p	b	1,96714	1,96701
	c	24,07489	24,07489
Gamma	α	4,45831	3,41682
	β	0,21028	0,09905
Log Normal	$\log \mu$	2,93768	3,37128
	$\log b$	0,45953	0,60873
Exponencial	λ	0,04717	0,02899
	a	10,67299	25,22120
Weibull 3p	c	0,89287	1,08840
	b	10,00000	9,96793

Legenda: FDP: função de densidade probabilística; Coef.: Coeficientes estimados da equação

Ao considerar o conjunto total de espécies do fragmento florestal, conforme apresentado na Figura 2, a floresta apresentou uma distribuição diamétrica em forma de J invertido, caracterizado pela maior presença de árvores nas classes de menor diâmetro (Costa *et al.*, 2020). Este comportamento em exponencial negativa sugere, além de uma resposta à exploração ocorrida, que as populações que compõem esta formação são estáveis e que existe um balanço de mortalidade e recrutamento.

A partir dos ajustes para todas as espécies, os modelos representaram bem as maiores classes de diâmetro, contudo, apenas o modelo Weibull 3p ajustou-se às classes com menor d, demonstrando a superioridade deste modelo (Figura 2). Téio *et al.* (2011) e Machado *et al.* (2009) ressaltaram a superioridade da função Weibull 3p devido as suas características intrínsecas e peculiaridades no ajuste.

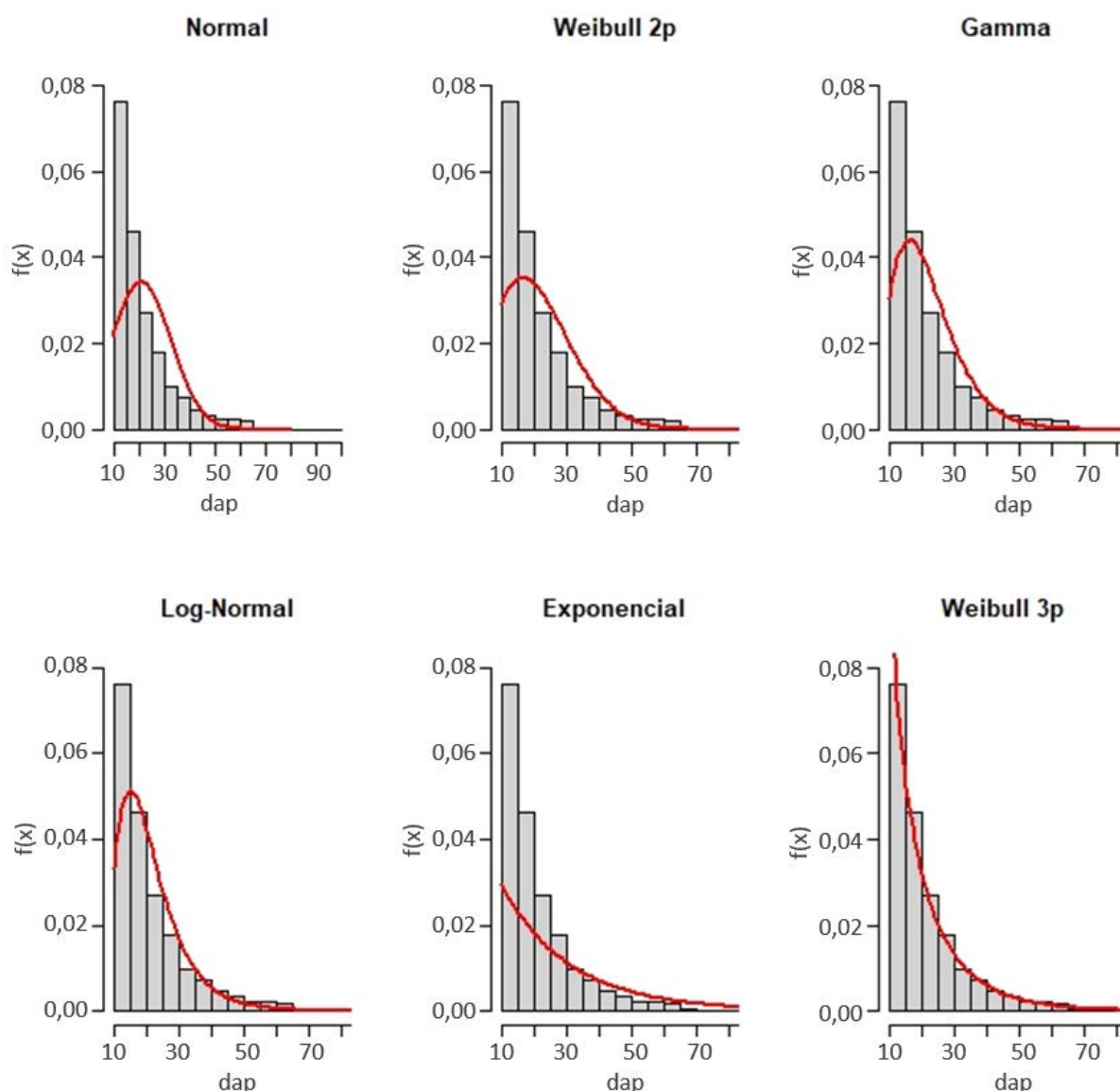


Figura 2. Ajuste das funções de densidade probabilística para o conjunto de espécies pertencente aos fragmentos secundários de Floresta Ombrófila Mista do Planalto Sul de Santa Catarina

Em contrapartida, na Figura 3, observa-se que devido ao comportamento distinto apresentado pela distribuição da *A. angustifolia*, os modelos não apresentaram o ajuste esperado de forma visual, com exceção dos modelos de Log-normal e Weibull 3p. De modo geral, ainda pôde-se observar que a maioria das funções não representaram de forma adequada as primeiras classes, bem como as classes de 20-30 cm de “d”.

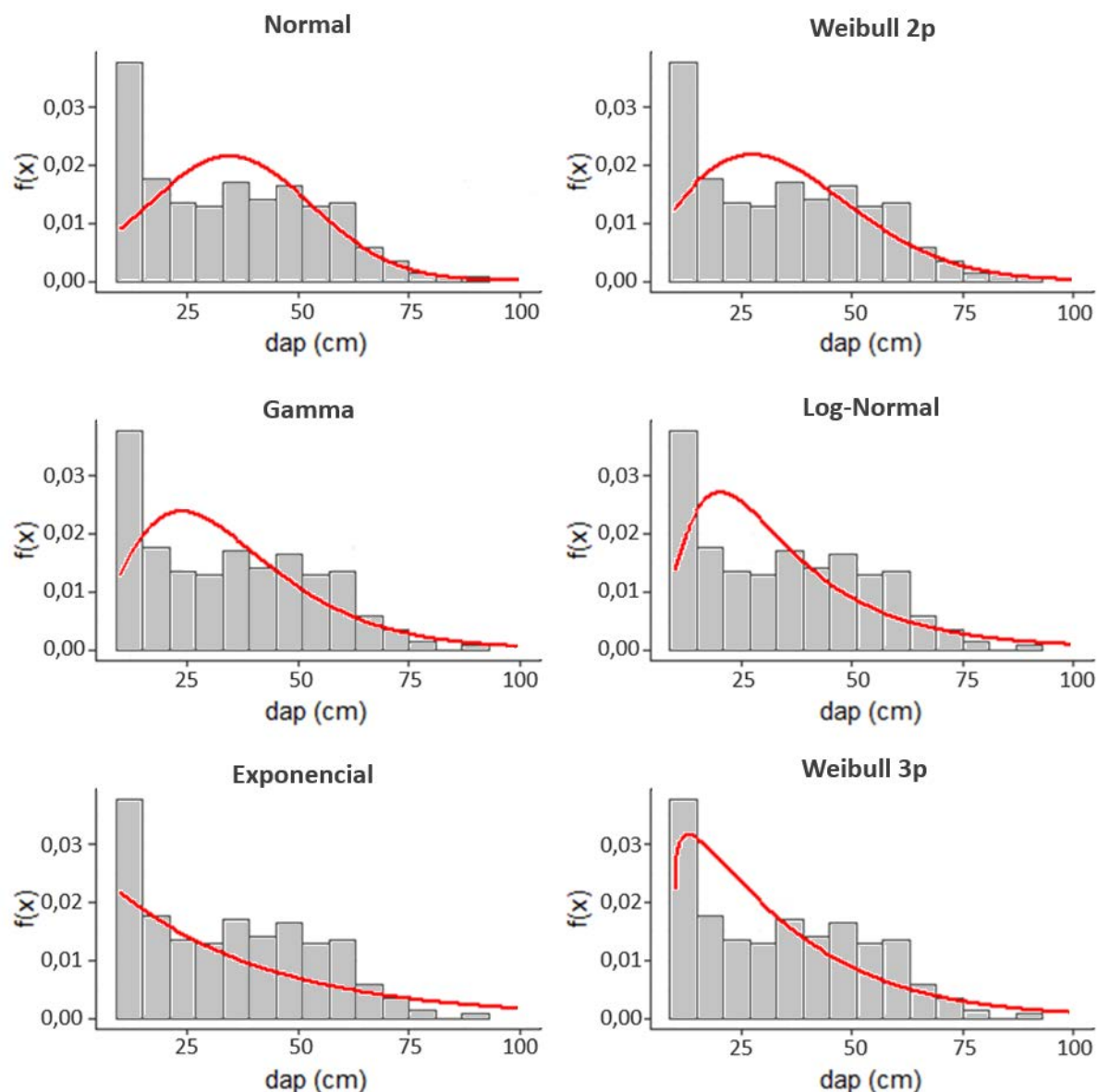


Figura 3. Ajuste dos modelos de densidade probabilística para *A. angustifolia* (Bertol.) Kuntze em fragmentos secundários de Floresta Ombrófila Mista do Planalto Sul de Santa Catarina

3.2 CRITÉRIOS DE AJUSTE PARAS AS FDP'S

Os critérios de ajustes para todas as funções ajustadas e seus respectivos valores estão apresentados na Tabela 3. Analisando-os, o teste de KS para a floresta confirmou que apenas o modelo Weibull 3p apresentou aderência significativa para o conjunto de dados. Além disso, o modelo obteve menor erro padrão da estimativa $S_{yx}\%$ (2,1%), maior coeficiente de determinação ajustado e corrigido R^2_{aj} . (95,6%); assim como melhor classificação baseados de nos critérios de AIC (19.800,00) e BIC (20.050,21).

Tabela 3. Critério de ajuste para fragmentos secundários de Floresta Ombrófila Mista do Planalto Sul de Santa Catarina

FDP	KS	Syx%	R ² aj.	AIC	BIC
Normal	0,1678107	5,6	0,858	22109,88	22121,80
Weibull 2p	0,1627108	3,2	0,915	21352,89	21364,81
Gamma	0,1067891	3,1	0,896	20819,22	20831,13
Log Normal	0,0834785	3,2	0,862	20433,38	20445,29
Exponencial	0,1627108	6,7	0,782	21352,89	21364,81
Weibull 3p	0,028694*	2,1	0,956	19800,00	20054,21

Legenda: *Significativo a 5% de significância; FDP: Função de Densidade Probabilística; KS: Teste de Kolmogorov-Smirnov; Syx%: Erro padrão da estimativa em percentagem; R² aj.: Coeficiente de determinação ajustado; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério Bayesiano

No trabalho de Machado *et al.*, (2009), testaram-se funções de densidade probabilística para Floresta Ombrófila Mista e observaram que o modelo Weibull 3p apresentou aderência significativa em função do teste de KS (0,011), bem como baixo erro padrão da estimativa em percentagem (0,41%). Observaram, ainda, que os modelos de Weibull 2p, Exponencial e Gamma não foram aderentes.

Orellana & Figueiredo Filho (2017), ao avaliar os procedimentos de seleção das funções probabilísticas para modelar a distribuição de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista, observaram que a função Weibull 3p foi aderente ao conjunto de dados. Para Orellana *et al.*, (2017), na qual trabalharam com dados de três remediações para a floresta como um todo e, especificamente, com 20 espécies de maior VI, constataram que a função Weibull 3p apresentou estimativas mais próximas aos dados observados quando comparada às demais funções testadas, comprovando a superioridade às demais.

Tendo isso em vista, nesse estudo, a função que apresentou melhor desempenho para a floresta como um todo foi a Weibull 3p. A partir dos parâmetros estimados, tornou-se possível a determinação da probabilidade de ocorrência de determinado evento, neste caso o número de árvores por classe diamétrica. Ainda, a partir da probabilidade de ocorrência e comportamento da distribuição, é factível estimar valores importantes para avaliação do estoque das florestas, bem como identificar possíveis distúrbios em sua composição florística-estrutural.

De acordo com a Tabela 4, onde estão apresentados os critérios de ajuste das funções para a espécie *A. angustifolia*, esses demonstram mais uma vez a superioridade da função Weibull 3p. No entanto, a função Log-normal que, visualmente, apresentou um bom desempenho, não foi aderente segundo o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), assim como para as demais funções analisadas.

Tabela 4. Critérios de ajuste para *A. angustifolia* (Bertol.) Kuntze em fragmentos secundários de Floresta Ombrófila Mista do Planalto Sul de Santa Catarina

FDP	S	Syx%	R ² aj.	AIC	BIC
Normal	0,1074513	8,5	0,789	2002,92	2009,79
Weibull 2p	0,1035976	3,1	0,899	1969,94	1976,82
Gamma	0,1043962	3,8	0,863	1971,46	1978,33
Log Normal	0,9244193	2,9	0,876	1979,17	2044,53
Exponencial	0,2516444	5,9	0,785	2090,81	2094,25
Weibull 3p	0,028694*	2,3	0,943	1586,54	1523,11

Legenda: *Significativo a 0,05 de significância; KS: Teste de Kolmogorov-Smirnov; Syx%: Erro padrão da estimativa em percentagem; R² aj.: Coeficiente de determinação ajustado; AIC: Critério de informação de Akaike; BIC: Critério Bayesiano

Orellana *et al.* (2017), ao avaliar diferentes métodos de ajustes e procedimentos de seleção de funções probabilísticas para modelar a distribuição diamétrica em florestas nativas de Araucárias, confirmou o excelente desempenho apresentado pela função Weibull 3p. Em contradição, Ebling e Pellico Netto (2015) ao modelarem a distribuição de diâmetro de *A. angustifolia*, observaram que o modelo de Weibull foi aderente segundo o teste de KS, contudo não foi o de melhor desempenho.

Por outro lado, Machado *et al.* (2009), ao avaliarem a distribuição de *A. angustifolia* em fragmentos nativos de Floresta Ombrófila Mista, encontraram um comportamento da espécie tendendo à distribuição normal. E ao ajustarem as funções de densidade probabilística, confirmaram que o melhor desempenho, segundo o teste de aderência KS e os critérios de ajuste, foi da função normal. Do mesmo modo, Debastiani *et al.* (2019) encontraram o mesmo comportamento ao avaliar o diâmetro das árvores, a partir da relação diâmetro de copa dos fragmentos de *A. angustifolia*.

Logo, o padrão encontrado no presente estudo difere tanto do comportamento tradicional de florestas naturais, em forma exponencial negativa, quanto da distribuição normal, encontrado em outros estudos. Neste caso, há um comportamento excêntrico que pode indicar um acentuado desequilíbrio no desenvolvimento da espécie, o qual pode ser explicado devido a espécie ter sido grandemente explorada durante o ciclo econômico do século XX para o uso da sua madeira (Dobner Jr *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2018).

O melhor desempenho da função Weibull 3p foi comprovado, já que essa função apresenta maior flexibilidade em relação aos demais modelos testados e apresentou bom desempenho aos demais ajustes. Devido as suas características e alternativas de ajuste, a função de Weibull 3p vem se apresentando como das mais adequadas na modelagem de diferentes cenários que compõem a floresta, tendo êxito em quase todas as formas de distribuições (Santos; Stepka; Hess, 2023; Cruz *et al.*, 2021).

A avaliação do comportamento da distribuição mostra a situação atual, assim como pode indicar possíveis perturbações passadas ocorridas na floresta (Santos; Stepka; Hess, 2023), como desmatamentos ou incêndios naturais. Esta verificação encontra-se ligada ao estoque de árvores de uma classe em relação do estoque da classe imediatamente superior. A aplicação dos modelos de densidade probabilística permite estimar a probabilidade do número de árvores em determinado intervalo de diâmetro, bem como pode ser associado aos modelos de crescimento para verificar o estoque de volume da floresta (Santos; Stepka; Hess, 2023; Cruz *et al.*, 2021; Oliveira, 2020). O manejo faz uso dessa ferramenta, com o intuito de diagnosticar quais são as metodologias mais adequadas de intervenção nas florestas, as quais permitam a melhoria do potencial e recuperação do equilíbrio entre as classes de diâmetro, seguindo a tendência mundial de conservação através do uso sustentável (Dobner Jr, 2020).

Assim, a partir da aplicação destes modelos, é possível verificar quais as classes de diâmetro são mais recorrentes na floresta. Isso permitirá um levantamento prévio do comportamento das espécies, além de inferências a respeito da curva de distribuição que, com o auxílio dos estudos referentes a ecologia das espécies, mostrará a frequência ideal de árvores em cada classe diamétrica.

4 CONCLUSÕES

A função Weibull 3p apresentou o melhor desempenho ao ajustar a distribuição diamétrica da floresta e da espécie *Araucaria angustifolia*, em relação aos locais e fragmentos da FOM analisados, sendo uma importante ferramenta do manejo florestal que poderá ser utilizada para inferências futuras sobre a estrutura da floresta.

5 AGRADECIMENTO

Agradeço a FAPESP pelo apoio por meio do grupo de pesquisa de Gestão de Recursos Florestais.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. z.*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017.
- COSTA, E. A.; LIESENBERG, V.; HESS, A. F.; DEDO, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; LONGHI, R. V.; SCHONS, C. T.; BORSOI, G. A. Simulating *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze timber stock with Liocourt's law in a natural forest in Southern Brazil. *Floresta*, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 1–14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11030339>.
- CRUZ, L. L.; NAKAJIMA, N. Y.; SILVA, R. M.; HOSOKAWA, R. T.; JARDIM, F. C. S.; CORTE, A. P. D. Distribuição diamétrica de três espécies de *Lecythidaceae* após exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental. *Sci. For.*, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 171–190. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509836011>.
- DEBASTIANI, A. B.; MARTINS, L. P.; SANTOS, K. S. M.; CORTE, A. P. D.; NETO, S. P.; SANQUETTA, C. R. Distribuição do diâmetro de copa e diâmetro quadrático de *A. angustifolia* e *Pinus taeda*. *Sci. For.*, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 270. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509829219>.
- DOBNER Jr, M.; PAIXÃO, C. A.; COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G. Effect of site and competition on diameter growth of *Araucaria angustifolia*. *Floresta*, Curitiba, v. 49, p. 717–724. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v49i4.58161>.
- DOBNER Jr, M. Pruning *Araucaria angustifolia* for knot-free timber production. *Floresta*, Curitiba, v. 52, p. 54–63. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v52i1.75179>.
- EBLING, Â. A.; PELLICO NETTO, S. Modelagem de ocorrência de coortes na estrutura diamétrica da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. *Cerne*, Lavras, v. 21, n. 2, p. 251–257. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201521111667>.
- FARIAS, K. J.; NICOLETTI, M. F.; AGUIAR, N. S. Quantificação do volume total por meio de modelos volumétricos e de afilamento em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. *Rev. Ciênc. Agrovet.*, Lages, L=v. 1, p. 1. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711812019033>.
- FERNANDES, P. R. S.; SOUSA, D. A.; COELHO, M. C. B.; SILVA, M. V. C.; LIMA, E. N. P.; ATAIDE, Y. S. B.; LIMEIRA, M. M. C. Equações hipsométricas para *Pinus* sp. na estação experimental de ciências florestais de Itatinga, São Paulo. *J. Biotechnol.*, Uberlândia, v. 9, n. 1, p. 96–106. 2021. DOI: <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v8n4.sena>.
- MACHADO, S. A.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; NASCIMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A. Distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em um fragmento de floresta ombrófila mista. *Sci. Agrar.*, Curitiba, v. 10, n. 2, p. 103–110. 2009. DOI: <https://doi.org/10.5380/rfa.v10i2.13575>.

MACHADO, S. A.; SANTOS, A. A. P.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; ZAMIN, N. T. Modelagem da Distribuição Diamétrica de Quatro Espécies de Lauraceae em um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Rev. Ciênc. Exatas Nat.**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 91–105. 2010.

NICOLETTI, M. F.; LAMBERT, L.; SOARES, P.; CRUZ, G. Equações hipsométricas, volumétricas e funções de afilamento para *Pinus spp.* **Rev. Ciênc. Agrovet.**, Lages, v. 19, p. 474-482. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711942020474>.

OLIVEIRA, M. F. Padrão de crescimento, estrutura e modelagem de seis espécies madeireiras da floresta Amazônica, em diferentes locais na região Norte do estado de Mato Grosso, Brasil (Tese de doutorado). Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2020.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETO, S.; DIAS, A. N. Métodos de ajuste e procedimentos de seleção de funções probabilísticas para modelar a distribuição diamétrica em floresta nativa de Araucária. **Sci. For.**, Santa Maria, v. 27, n. 3. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828668>.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A. Uso do método da predição de parâmetros para projetar a distribuição diamétrica em florestas nativas com a função Weibull. **Sci. For.**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 981–991. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828670>.

SANTOS, D. W. S.; STEPKA, T. F.; HESS, A. F. Modelagem da distribuição diamétrica e hipsométrica de espécies comerciais nativas da Amazônia brasileira. **Sci. For.**, Santa Maria, v. 51. 2023. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.15>.

SBARDELLA, M.; FRANCO, J. R.; GOMES, J. W. S.; DAL PAI, A.; DAL PAI, E. Digital instrument for diameter forest measurement using low-cost microcontroller. **Res., Soc. Dev.**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 17. 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24197>.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFPA/FEAPE, 2006.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional: Santa Catarina: principais resultados**. In: Relatórios Técnicos – Inventário Florestal Nacional (IFN), 2018. p. 106.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, A.; MORAES, M. L. T.; OLIVEIRA, J. A.; OLIVEIRA, A. A.; AGUIAR, A. V. Seleção de procedências de *Araucária angustifolia* (Berto.) O. Kuntze para produção de madeira e pinhão. **Sci. For.**, Santa Maria, v. 46, n. 120, p. 519–531. 2018. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v46n120.01>.

TÉO, S. J.; ROCHA, S. P.; BORTONCELLO, A. C.; PAZ, R. A.; COSTA, R. H. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Pesqui. Florest. Bras.**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 183–192. 2011. DOI: <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.67.183>.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CERQUEIRA, C. L.; MADI, J. P. S.; SILVA, R. S.; CARVALHO, S. P. C. E.; MEDEIROS, R. A. Alterações temporais na distribuição diamétrica de Teca em diferentes espaçamentos. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 2, p. 210–215. 2020. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.8145>.