

Artigos

Modelagem das relações morfométricas com a produção de pinhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no sul do Brasil

Modeling of the morphometric relations with the production of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze IN southern Brazil

Kemely Alves Atanazio^I , André Felipe Hess^{II} , Sandra Mara Krefta^{III} ,
Luis Paulo Baldissera Schorr^{IV} , Isadora de Arruda Souza^V ,
Carlos Alberto Ramos Domiciano^{VI} , Tarik Cuchi^{VII} , Giselli Castilho Moraes^{VIII} 

^IUniversidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil

^{II}Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil

^{III}Eco Empreendimentos Ambientais, Chapecó, SC, Brasil

^{IV}Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil

^VKlabin S/A, Telêmaco Borba, PR, Brasil

^{VI}Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, Brasil

^{VII}Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará, Itaituba, PA, Brasil

RESUMO

As relações morfométricas referem-se ao espaço que uma árvore precisa para se desenvolver e auxiliam nas práticas de manejo da floresta. Diante disso, o estudo objetivou ajustar modelos entre as relações morfométricas e a quantidade de pinhas de sítios florestais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze localizados em Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, Santa Catarina. A amostragem voltou-se para as árvores femininas produtoras de pinhas, sendo mensuradas as variáveis circunferência a 1,30 metros da superfície do solo, altura total, número de pinhas, altura de inserção de copa e os quatro raios de copa. Posteriormente, foram calculados o diâmetro a 1,30 metros da superfície do solo, o comprimento de copa, a área de copa, a proporção de copa, o diâmetro de copa, índice de abrangência, índice de saliência, grau de esbeltez, formal de copa e o número potencial de árvores por hectare para cada área de copa. Com o conjunto de dados, foram calculadas as estatísticas descritivas de cada variável e realizada a análise da correlação de Pearson, que possibilitou a modelagem da quantidade de pinhas em função das variáveis morfométricas com maior correlação. Os resíduos dos modelos ajustados foram submetidos aos testes de normalidade, homogeneidade das variâncias e interdependência de erros, sendo utilizados os modelos lineares generalizados. A média de produção de pinhas e das variáveis dendromorfométricas mais elevadas foram encontradas no sítio florestal de Lages. As variáveis independentes diâmetro, proporção de copa, comprimento de copa e diâmetro de copa apresentaram correlação de 0,23, 0,15, 0,18 e 0,20%, respectivamente. Os resultados dos modelos mostraram que a quantidade de pinhas tem maior relação com o diâmetro e variáveis de copa, indicando que o manejo florestal deve proporcionar espaço lateral para o bom desenvolvimento das copas, pois auxilia na produção de pinhas e na redução da competição.

Palavras-chave: Regressão; Pinheiro-brasileiro; Floresta Ombrófila Mista

ABSTRACT

Morphometric relationships refer to the space that a tree needs to develop and they assist in forest management practices. Therefore, this study aimed to fit models between these morphometric relationships and the number of pine cones from *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze forest sites located in Lages, Bom Jardim da Serra and Painel, in Santa Catarina state. The sampling focused on cone-producing female trees, then it measured the variable circumference at 1.30 meters from the soil surface, total height, number of pine cones, crown insertion height, and four crown rays. Subsequently, the variable diameter at 1.30 meters from the soil surface, canopy length, crown area, canopy ratio, crown diameter, range Index, salience index, slenderness rate, crown formal, and a potential number of trees per hectare for each crown area were calculated. Along with the data set, the descriptive statistics of each variable were calculated and Pearson's correlation analysis was performed, which made it possible to model the number of pine cones as a function of the morphometric variables with the highest correlation. The residuals of the fitted models were subjected to tests of normality, homogeneity of variances, and interdependence of errors, using generalized linear models. The means of production of cones and of the highest dendro-morphometric variables were found in the forest site of Lages. The independent diameter variables at breast height, crown proportion, crown length and crown diameter showed a correlation of 0.23, 0.15, 0.18, 0.20%, respectively. The model results showed that the number of pine cones is more related to the diameter and crown variables, indicating that forest management should provide lateral space for the good development of crowns because it assists the production of pine cones and the reduction of competition.

Keywords: Regression; Brazilian Pine tree; Mixed Ombrophilous Forest

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da evolução humana, o ecossistema florestal foi vastamente explorado em consequência do avanço da agricultura e das rápidas mudanças provocadas pela Revolução Industrial, ocasionando uma elevada redução da cobertura vegetal natural em diversos países (ZANON; FINGER; SCHNEIDER, 2009). O Brasil optou por empregar a madeira como matéria-prima, iniciando em 1883, a extração das reservas naturais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, conhecida popularmente como araucária, pinheiro, pinheiro-brasileiro ou pinheiro-do-paraná, sendo que, durante o período de ocupação das terras no Estado, a *Araucaria angustifolia* tornou-se a base da colonização dos imigrantes europeus, que chegaram ao país no final do século XIX para se dedicarem, sobretudo, à agricultura (LEÃO, 2000). Devido à grande exploração desta espécie no passado, atualmente, é encontrada em áreas reduzidas, tanto em sua formação primária como em florestas secundárias, provenientes da regeneração natural (KOCH; CORRÊA, 2002).

Araucaria angustifolia está inserida na Floresta Ombrófila Mista, no bioma Mata Atlântica, com ocorrências nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. É uma planta dioica que possui grande demanda por nutrientes e sua vegetação apresenta formações em agrupamentos, com múltiplas associações com outras espécies (NASCIMENTO *et al.*, 2010; MATTOS, 2011). A espécie produz um subproduto florestal não madeireiro, conhecido como pinhão, sendo um importante recurso socioeconômico, pois é fonte de renda de várias famílias na época entre outono e inverno.

Em razão da espécie ocorrer em uma ampla região geográfica no Sul e Sudeste do Brasil, há diferenças na fenologia reprodutiva entre as populações, sendo que diversos fatores podem limitar o sucesso reprodutivo da árvore feminina. Geralmente, esse sucesso depende da proporção de sexos na população, já que uma proporção desbalanceada de sexos implica a contribuição desigual do número de gametas, favorecendo o sexo mais abundante (ZANON; FINGER; SCHNEIDER, 2009).

Segundo Puchalski, Mantovani e Reis (2006), os fatores relacionados com condições edafoclimáticas proporcionam diferenças entre a estrutura demográfica das áreas, principalmente no que se refere ao porte médio das plantas, podendo ser mensuradas através da obtenção de variáveis dendrométricas como o diâmetro, a altura e suas relações com variáveis morfométricas (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006). Segundo Costa *et al.* (2014), as relações morfométricas possibilitam retratar as dimensões das árvores sem a necessidade de identificar sua idade, além disso, contribuem em atividades silviculturais e no planejamento florestal, sobretudo, no uso sustentável das florestas.

Durlo e Denardi (1998) descrevem que as variáveis morfométricas são a proporção ou porcentagem da copa, grau de esbeltez, índice de saliência, formal de copa, índice de abrangência. Segundo Roman, Bressan e Durlo (2009), utilizando as informações sobre a morfometria da copa, é possível realizar inferências de produtividade, vitalidade, competição e estabilidade dos indivíduos arbóreos, o que configura um importante método para aperfeiçoar as técnicas silviculturais e de manejo florestal.

Diante disso, é interessante quantificar a produção de pinhas para entender sua variação, definindo qual o ano que está produzindo mais ou qual região, ou quais as características biométricas que influenciam o número de pinhas por plantas. No entanto, há poucos estudos que avaliam a produtividade de pinhas com os índices morfométricos, o que é interessante ser estudado, pois, a partir desses índices, pode-se verificar se características da copa, espaço que as árvores estão ocupando e relação com variáveis dendromorfométricas afetam a produção de pinhas.

Com base nesses pressupostos, este estudo objetivou determinar os índices morfométricos e relacioná-los com a quantidade de pinhas por árvore individual e, com isso, ajustar modelos a fim de conhecer as variações na quantidade de pinhas entre os diferentes sítios florestais e características morfométricas de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, como ferramenta de auxílio para intervenções silviculturais e de manejo para a espécie.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados foram mensurados em três sítios florestais com remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, localizados no Estado de Santa Catarina. Os sítios encontram-se nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel e possuem uma área de 84 ha, 73,46 ha e 50,47 ha, respectivamente, sendo que não ocorre o emprego de técnicas de manejo florestal nos locais. O solo da região é classificado como Neossolo Litólico.

O clima das áreas de estudo é Cfb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, temperado e caracterizado por ser constantemente úmido sem estação seca (ALVARES *et al.*, 2013). Em Lages, a altitude é de 1.200 m, a temperatura média anual varia de 13,8°C a 15,8°C e a precipitação anual de 1.360 mm a 1.600 mm, em Bom Jardim da Serra a altitude é de 1.350 m, temperatura média anual de 14°C e precipitação anual de 1.670 mm e em Painel, a altitude é de 1.150 m, 15,3°C de temperatura média anual e 1.125 mm de precipitação anual (EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA, 2002; RICKEN *et al.*, 2020).

2.2 Coleta dos dados

Para o presente estudo foram amostradas árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em estágio reprodutivo, distribuídas nas três áreas de estudo e optando-se por uma abordagem baseada em árvores individuais, com objetivo de identificar as árvores do sexo feminino. Cada árvore foi plaqueteada com seu respectivo número, sendo cada árvore considerada como uma unidade amostral.

2.3 Obtenção das variáveis morfométricas e dendrométricas

Para cada árvore feminina mensuraram-se as variáveis: Circunferência a 1,30 metros da superfície do solo (*cap*), que foi obtida com o auxílio de uma fita métrica, em centímetros, e posteriormente convertida para diâmetro (*dap*); Altura total (*h*), Altura de inserção da copa (*hic*) e Raios de copa (*rc*), em metros, obtidos com hipsômetro TruPulse. Sendo determinados também o comprimento de copa (*cc*), calculado pela diferença entre a *h* e a *hic* em metros; Diâmetro de copa (*dc*), calculado em metros através da duplicação do raio de copa médio obtido com os *rc*; Área de copa (*ac*), em metros quadrados, calculado com base no valor da média dos *rc*; Proporção da copa (*pc*), determinada em porcentagem por meio da razão entre o *cc* e a *h*; Formal de copa (*fc*), determinado em valor absoluto por meio da razão entre o *dc* e o *cc*; Índice de abrangência (*ia*), determinado em valor absoluto por meio da razão entre o *dc* e a *h*; Índice de saliência (*is*), determinado em valor absoluto por meio da razão entre o *dc* e o *dap*; Grau de esbeltez (*ge*), determinado em valor absoluto por meio da razão entre a *h* e o *dap*; Número potencial de árvores por hectare para cada área de copa (*ni*), determinado por meio da razão entre a área de um hectare e *ac* de cada copa de árvore.

2.4 Quantificação da proporção macho e fêmea e número de pinhas

A abordagem da contagem das pinhas foi durante os meses de março a abril de 2017 e 2018. A informação da quantidade de pinhas por árvore foi obtida pelo observador com uso de binóculo, percorrendo todos os quadrantes da área de copa.

Para proporção de macho e fêmeas, a metodologia empregada consistiu em esticar uma trena de 30 m no sentido Norte-Sul e, usando a linha da trena como base, foi contada a proporção de dioica da espécie. Essa tarefa foi realizada somente no ano de 2018 em cada sítio amostral, usando como critério o número de 10 linhas, alocadas sequencialmente na área. A identificação da árvore do sexo masculino ocorreu pela visualização de seus estróbilos e do feminino pela presença de pinhas.

2.5 Processamento dos dados e análise estatística

As árvores mensuradas em cada sítio florestal foram divididas em classes diamétricas de 5 cm, o que possibilitou verificar a densidade por superfície de área e a produção de pinhas em cada classe. Posteriormente, foram calculadas as estatísticas descritivas das variáveis dendromorfológicas.

Também foi calculada a correlação de Pearson, que permitiu identificar as variáveis com influência em maior ou menor grau sobre os índices morfométricos e a quantidade de pinhas. A correlação foi calculada considerando um nível de significância a 5% probabilidade de erro, através do procedimento PROC CORR do Statistical Analysis System (SAS), versão 9.4 (SAS INSTITUTE, 2012).

Os dados foram sujeitos à verificação dos pressupostos para ajuste de regressão linear (normalidade, independência dos erros e homogeneidade das variâncias), sendo utilizados os testes de Anderson-Darling, Durbin-Watson e de White. Com base nos testes, foi constatado que os dados não atendiam aos pressupostos supracitados, optou-se então pelo emprego dos modelos lineares generalizados (MLG), cujo método de distribuição empregado foi o de Gamma e funções de ligação testadas foram as de identidade e logarítmica, que são umas das mais utilizadas para modelagem de variáveis florestais (NELDER; WEDDERBURN, 1972; TURKMAN; SILVA, 2000; HESS *et al.*, 2015).

A significância e ajustamento dos modelos foi observada em função dos critérios de desvio, dispersão dos dados estimados em função dos dados observados, gráfico dos resíduos e valores dos critérios de informações de Akaike (*AIC*) (AKAIKE, 1981) e Bayesiano (*BIC*) (SCHWARZ, 1978).

Os critérios de informações de *AIC* (Equação 1) e *BIC* (Equação 2) representam a ausência de generalidade do modelo e penalizaram tanto a falta de ajuste dos dados quanto a alta complexidade do modelo. Sendo assim, foram considerados os menores valores de ambos os critérios na definição dos melhores ajustes dos modelos, conforme Equações (1) e (2):

$$AIC = -2[\log(L) - p] \quad (1)$$

$$BIC = -2[\log(L) - p \log(n)] \quad (2)$$

Em que: *AIC* é o critério de informação de Akaike; *BIC* é o critério de informação Bayesiano; *L* é o valor da verossimilhança para o modelo estimado; *p* é o número de parâmetros do modelo e *n* é o número de observações.

Para realizar os ajustes e a análise dos dados, foi utilizado o *software* Statistical Analysis System (SAS), versão 9.4 (SAS INSTITUTE, 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Proporção do sexo

Ao todo foram identificados 375 indivíduos de *Araucaria angustifolia* no ano de 2018, em que 267 eram do sexo masculino e 108 do sexo feminino (Tabela 1).

Foram observados 74,26%, 70,21% e 57,14% de machos e 25,73%, 29,78% e 42,35% de fêmeas, para os sítios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, respectivamente. Percebe-se que nos três sítios há uma maior predominância do sexo masculino, que pode estar relacionada com o passado da espécie, pois, antigamente, a mesma era muito explorada por produtores rurais, que muitas vezes optavam pela retirada de árvores femininas que apresentavam pinhas no intuito de facilitar a sua coleta, deixando na floresta indivíduos do sexo masculino.

Tabela 1 – Número de indivíduos de *Araucaria angustifolia* classificados por sexo nos sítios florestais localizados nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, Santa Catarina

Sexo	Lages	Bom Jardim da Serra	Painel	Total
Feminino	70	14	24	108
Masculino	202	33	32	267
Total	272	47	56	375

Fonte: Autores (2020)

De acordo com Mattos (2011), a *Araucaria angustifolia* é normalmente dioica e em geral há uma maior porcentagem de plantas masculinas do que femininas, o que se assemelhou aos dados obtidos no presente estudo. De acordo com Rigueti, Rangel e Silva (2012), estudos referentes à proporção sexual têm se tornado muito importantes, uma vez que podem trazer informações sobre a distribuição espacial de um povoamento, auxiliando no entendimento sobre a influência de fatores ecológicos que afetam a reprodução, a dispersão e o tamanho do grupo de uma população.

3.2 Número de árvores e pinhas

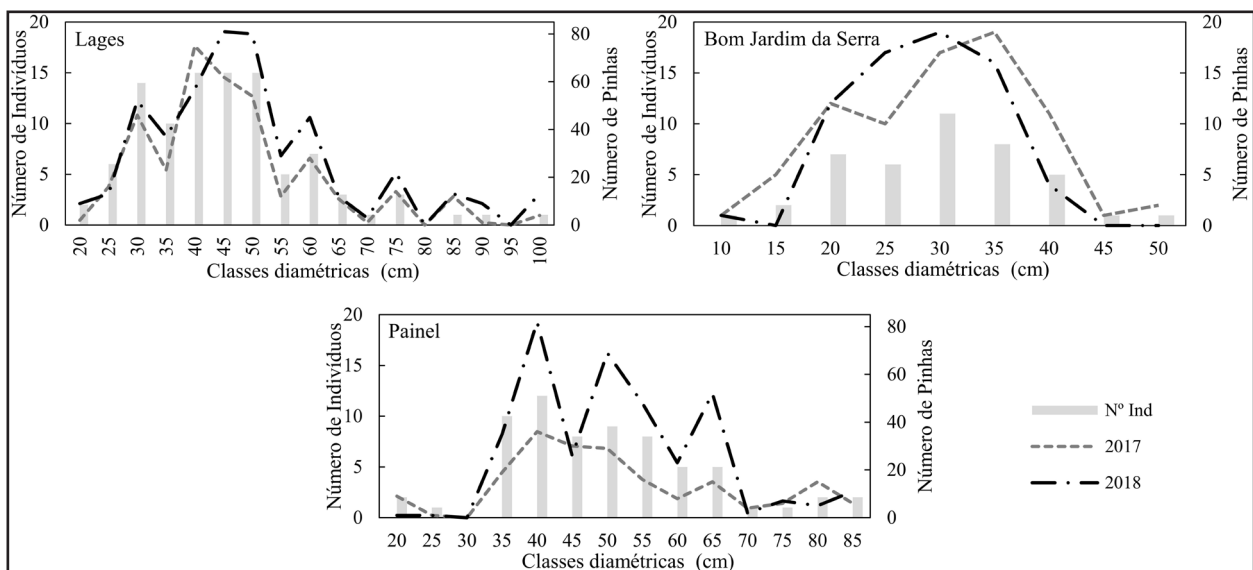
Nos sítios florestais de Lages (A), Bom Jardim da Serra (B) e Painel (C) foi mensurado um total de 99, 42 e 66 árvores femininas, respectivamente, totalizando 207 árvores-amostra. Para o ano de 2017, a quantidade de pinhas contabilizada foi de 633 para as três áreas, que representa uma média de 3,05 pinhas/árvore, variando sua quantidade de 1 a 12 pinhas por planta. Para o ano de 2018, houve um acréscimo desta quantidade, totalizando 917 pinhas, e média de 4,42 pinhas/árvore, apresentando um total de 1.550 pinhas contadas nesses dois anos consecutivos.

Essas divergências na produção entre os anos de 2017 e 2018 pode ser em virtude das diferenças decorrentes das altitudes de uma região para outra, já que o sítio florestal de Bom Jardim da Serra encontra-se em maiores altitudes e com diferença nas condições climáticas dos demais sítios. Outra justificativa é o fato de haver

desuniformidade na idade que os indivíduos entram em época reprodutiva, motivada tanto pelas condições climáticas como por condições de adensamento e competição, já que o ciclo reprodutivo é um processo dependente de fatores endógenos e exógenos (ZECHINI *et al.*, 2012).

Na avaliação das classes diamétricas (Figura 1), foi observado que o sítio de Lages (A), por se tratar de um sítio com uma área maior, apresentou maior número de indivíduos, que abrangeram um maior número de classes diamétricas e maior quantidade de pinhas.

Figura 1 – Distribuição diamétrica dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* com presença de pinhas em florestas naturais localizadas nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, Santa Catarina



Fonte: Autores (2020)

De forma geral, a maior quantidade de pinhas por árvore em todos os sítios amostrados ocorreu nas classes diamétricas intermediárias (30 a 50 cm), indicando que estas árvores atingiram a maturidade fisiológica e apresentam maior razão de copa, capacidade fotossintética e são passivas para o manejo visando à produção de pinhas. Tais informações corroboram as observações de Zechini *et al.* (2012) e Zanon, Finger

e Schneider (2009), que identificaram maior número de fêmeas *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze portadoras de pinhas em indivíduos nas classes diamétricas entre 35 a 55 cm no Planalto Catarinense e 40 a 45 cm em povoamentos implantados no Rio Grande do Sul, respectivamente. O menor número de árvores produtoras de pinhas nas classes de menor diâmetro pode ter ocorrido pelo fato destes indivíduos ainda não terem entrado na fase produtiva.

Já nos indivíduos com *dap* maior que 60 cm, constatou-se um número reduzido de pinhas, fator que pode estar associado com a idade mais elevada das árvores, que muitas vezes apresentaram sinais visíveis de redução biológica do crescimento, que é um indicativo de senescência, o qual é caracterizado pela redução das características fisiológicas (ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

3.3 Relações morfométricas e número de pinhas

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os sítios amostrados com remanescentes de *Araucaria angustifolia* apresentam diferenças quanto às características dendromorfométricas e número de pinhas (Tabela 2).

A média do número de pinhas por árvore para o ano de 2017 para os sítios A, B e C foram de 3,65, 1,85 e 2,93 pinhas/árvore, enquanto para 2018 foi de 4,84, 1,68 e 5,57 pinhas/árvore, respectivamente, indicando uma maior produção para alguns sítios no ano de 2018. Valores semelhantes foram encontrados por Zechini *et al.* (2012) e Silva e Reis (2009), que observaram, respectivamente, uma média de 3,6 pinhas/árvore produzidas para o ano de 2010 em áreas ao entorno da Floresta Nacional de Três Barras e 5,6 pinhas/árvore na Reserva Genética Florestal de Caçador no ano de 2006, ambas as áreas em Santa Catarina.

O sítio florestal B apresentou uma média baixa na produção de pinhas, o que pode estar associado a fatores climáticos, como a altitude do local e ao fato desta área possuir muitas vertentes e alta umidade, dificultando a formação e crescimento da espécie. A não realização de manejo florestal na área até o momento, assim como nas

demais áreas do estudo, também pode ter ocasionado a baixa produção de pinhas, uma vez que não há luminosidade e espaço suficiente para um bom desenvolvimento das copas e produção de pinhas pelas árvores.

Tabela 2 – Variáveis dendromorfológicas e número de pinhas de *Araucaria angustifolia* para os sítios florestais localizados nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painei, Santa Catarina

Variável	Sítio	Média	Mínimo	Máximo	Variável	Sítio	Média	Mínimo	Máximo
np2017	A	3,65	1	12	ac (m ²)	A	56,72	9,34	148,48
	B	1,85	1	4		B	36,4	8,29	108,43
	C	2,93	1	12		C	78,58	7,3	314,15
np2018	A	4,84	0	20	pc (%)	A	39,46	14,21	75,29
	B	1,68	0	9		B	19,42	1,94	53,36
	C	5,57	0	22		C	29,49	1,61	75,52
dap (cm)	A	47,41	22,73	100,27	fc	A	1,21	0,39	3,27
	B	31,84	14,32	50,92		B	3,37	0,34	18,5
	C	51,39	20,37	88,17		C	3	0,57	24,25
h (m)	A	19,5	10,5	30,7	ia	A	0,43	0,2	0,78
	B	17,43	9,2	31		B	0,39	0,12	0,61
	C	16,39	8,8	27,7		C	0,6	0,15	1,07
hic (m)	A	12	3,7	20	is	A	17	11	26
	B	14,01	6,7	29,5		B	20	11	30
	C	11,4	35	18,9		C	18	8	26
dc (m)	A	8,2	3,45	13,75	ge	A	43	23	76
	B	6,51	3,25	11,75		B	57	31	121
	C	9,55	3,05	20		C	34	16	69
cc (m)	A	7,49	3	16,6	ni	A	237,52	67,34	1069,72
	B	3,41	0,3	12,9		B	394,58	92,22	1205,43
	C	4,92	0,2	11		C	191,89	31,83	1368,7

Fonte: Autores (2020)

Em que: Sítio A = Lages; Sítio B = Bom Jardim da Serra; Sítio C = Painei; np2017 = número de pinhas no ano de 2017; np2018 = número de pinhas no ano de 2018; dap = diâmetro 1,30 metros da superfície do solo; h = altura total; hic = altura de inserção de copa; dc = diâmetro de copa; cc = comprimento de copa; ac = área de copa; pc = percentual de copa; fc = formal de copa; ia = índice de abrangência; is = índice de saliência; ge = grau de esbeltez; ni = número potencial de árvores por hectare para cada área de copa.

O dc foi maior no sítio C (9,55m), seguido pelo sítio A (8,20 m) e B (6,51 m), segundo Klein *et al.* (2017), maiores valores de dc sugerem maior espaço lateral para o crescimento e desenvolvimento das árvores, que atingem o dossel superior,

demonstrando sua capacidade de competição por luz e recursos necessários para o crescimento dos indivíduos.

O cc foi maior no sítio A (7,49 m), demonstrando que os indivíduos deste sítio apresentam porte maior que os indivíduos dos demais sítios, seguido pelo sítio C (4,92 m) e B (3,41 m). Hess *et al.* (2018) estudando as relações interdimensionais e dinâmica estrutural no manejo sustentável de *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina encontraram um valor de cc médio de 5,2 m em uma área no município de Lages, Santa Catarina.

Os maiores valores encontrados para variável pc foram para o sítio A (39,46%), indicando que este sítio apresenta árvores produtivas, já que, conforme Durlo e Denardi (1998), a pc é um indicativo de qualidade das árvores, ou seja, essa variável é capaz de indicar a vitalidade e também o grau de concorrência a que uma árvore está submetida, quanto maior seu valor, mais vital e produtiva é a árvore, apresentando uma copa com melhor qualidade (MINATTI *et al.*, 2016).

Considerando-se que um menor fc resulta em uma produtividade maior, o sítio A apresentou os melhores resultados (1,21), seguido pelo C (3,00) e B (3,37). Essa produtividade se deve pela relação entre o manto de copa e a área de projeção de copa, já que se duas árvores da mesma espécie tiverem o mesmo dc , produzirá mais por unidade de projeção de copa que aquela que tiver um menor fc , ou seja, terá maior manto de copa para uma mesma área de projeção (ZECHINI *et al.*, 2012).

Em relação ao ni dos indivíduos femininos mensurados, nota-se que os valores médios mais altos foram encontrados no sítio B (394,58 ind/ha), seguido do sítio A (237,52 ind/ha) e C (191,89 ind/ha). Embora o sítio B tenha apresentado a maior média de ni , o mesmo apresentou os menores valores de dap e ac , comportamento que pode ser explicado devido à área estar muito adensada, fazendo com que os indivíduos percam em diâmetro e apresentem copas menores.

3.4 Correlação de Pearson

Dentre as variáveis analisadas, as que apresentaram correlação significativa a 5% de probabilidade com o número de pinhas foram o *dap*, *dc*, *cc*, *ac*, *pc*, *ge* e *ni*, indicando que o porte da árvore possui correlação com a produção de pinhas (Tabela 3).

Tabela 3 – Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dendromorfométricas e número de pinhas de *Araucaria angustifolia* para os sítios florestais localizados nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, Santa Catarina

	<i>dap</i>	<i>h</i>	<i>hic</i>	<i>dc</i>	<i>cc</i>	<i>ac</i>	<i>pc</i>	<i>fc</i>	<i>ia</i>	<i>is</i>	<i>ge</i>	<i>ni</i>
<i>np</i>	0,23*	9,7 ^{-2ns}	-3,4 ^{-2ns}	0,20*	0,18*	0,17*	0,15*	-0,10 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-4,7 ^{-2ns}	-0,17*	-0,21*
<i>dap</i>	1	0,34*	0,14 ^{ns}	0,75*	0,28*	0,73*	9,9 ^{-2ns}	-0,12 ^{ns}	0,43*	-0,39*	-0,67*	-0,60*
<i>h</i>	-	1	0,72*	0,11 ^{ns}	0,45*	0,10 ^{ns}	2,9 ^{-2ns}	-0,25*	-0,50*	-0,34*	0,36*	-0,11 ^{ns}
<i>hic</i>	-	-	1	-0,15 ^{ns}	-0,29*	9,8 ^{-3ns}	-0,65*	0,18*	-0,41*	-0,24*	0,44*	5,8 ^{-2ns}
<i>dc</i>	-	-	-	1	0,18 ^{ns}	0,97*	0,10 ^{ns}	-1-3 ^{ns}	0,76*	0,26*	-0,60*	-0,78*
<i>cc</i>	-	-	-	-	1	0,13 ^{ns}	0,87*	-0,58*	-0,16 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	-6,1 ^{-2ns}	-0,22*
<i>ac</i>	-	-	-	-	-	1	6-2 ^{ns}	3,3 ^{-2ns}	0,75*	0,24*	-0,54*	-0,65*
<i>pc</i>	-	-	-	-	-	-	1	-0,58*	3,5 ^{-2ns}	3,5 ^{-3ns}	-0,18*	-0,17 ^{ns}
<i>fc</i>	-	-	-	-	-	-	-	1	0,16 ^{ns}	0,21*	3,4 ^{-2ns}	4,4 ^{-2ns}
<i>ia</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,42*	-0,71*	-0,59*
<i>is</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,14 ^{ns}	-0,22*
<i>ge</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,61*
<i>ni</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Fonte: Autores (2020)

Em que: *np* = número de pinhas; *dap* = diâmetro a 1,30 metros da superfície do solo (cm); *h* = altura total (m); *hic* = altura de inserção de copa (m); *dc* = diâmetro de copa (m); *cc* = comprimento de copa (m); *ac* = área de copa (m²); *pc* = percentual de copa (%); *fc* = formal de copa; *ia* = índice de abrangência; *is* = índice de saliência; *ge* = grau de esbeltez; *ni* = número potencial de árvores por hectare para cada área de copa; * = correlação significativa; ^{ns} = correlação não significativa.

O *ni* e o *ge* apresentaram correlação negativa com o *np*, indicando que para as áreas avaliadas, um maior número de indivíduos por hectare resulta em uma menor quantidade de pinhas, já que as árvores não dispõem de espaço lateral de crescimento, diminuindo o raio de copa e demais variáveis associadas. O *dap* e o *dc* apresentaram

correlação positiva com a quantidade de pinhas, indicando que à medida que se aumenta o *dap* e o *dc*, aumenta o *np*, mostrando que as copas precisam se desenvolver para aumento da produção de pinhas.

Figuereido Filho *et al.* (2015) estudando modelos matemáticos para estimar a produção de pinhões de árvores nativas e plantadas de *Araucaria angustifolia* encontraram correlações positivas das variáveis *dap* (0,67), *dc* (0,58) e *ac* (0,60) com a produção de pinhas na FLONA de Irati, Paraná. Estudos de Zechini *et al.* (2012) mostraram que a correlação entre a variável *np* com o *dap* apresentaram valores entre 0,17 a 0,76, sendo significativos em diferentes sítios florestais. Os autores ainda enfatizam a existência de uma variação anual na produção de pinhas em nível individual em função do *dap* e que a espécie apresenta uma tendência de aumento da produção de pinhas à medida que aumenta o *dap*.

O *dap* apresentou correlação negativa com *ni* e com *ac* (-0,65), já que um maior número de árvores interfere no espaço lateral para crescimento para o *dap* e a *ac*. Segundo Clark e Clark (2001), as variáveis relacionadas com a copa refletem o efeito da competição ocorrida no passado, uma vez que corresponde às dimensões exibidas pelas copas atualmente, acarretando alterações no tamanho das árvores, tanto em diâmetro quanto em altura e, portanto, gerando modificações na captação de recursos para o desenvolvimento, o que representa a dinâmica da floresta.

3.5 Ajustes de equações para a relação entre número de pinhas e variáveis dendromorfométricas

Para a modelagem, foram desconsideradas as variáveis que apresentaram correlação não significativa com o número de pinhas, sendo modelado somente $np = f(dap; pc; cc; dc)$.

O ajuste dos modelos lineares generalizados (MLG) foi realizado inicialmente para cada sítio, entretanto, os valores dos coeficientes não apresentavam significância e os ajustes denotavam valores de *AIC* e *BIC* muito discrepantes, o que pode ser

explicado pelo número baixo de indivíduos coletados em cada área nos anos de 2017 e 2018 e também pelo fato de que a amostragem foi direcionada apenas para árvores femininas, conseqüentemente, reduzindo a amostragem. Diante do exposto, optou-se por juntar os dados dos três sítios florestais e selecionar apenas uma equação com o propósito de estimar a produção de pinhas para as áreas de estudo e, com isso, melhorar os ajustes das equações, fazendo dessa maneira com que os valores dos coeficientes passassem a ser significativos (Tabela 4).

Tabela 4 – Coeficientes, configurações e critérios de ajuste entre número de pinhas e as relações dendromorfométricas estabelecidas para *Araucaria angustifolia* para os três sítios florestais, em Santa Catarina

Modelo	Parâmetros			Dist	FL	AIC	BIC	Desvio
	β_0	β_1	β_2					
$np = \beta_0 + \beta_1 dap$	0,4238	0,1563	-	Gamma	Id	1162,94	1172,94	91,07
$np = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 pc$	-0,5015	0,1432	0,0466	Gamma	Id	1156,99	1170,32	87,85
$np = \beta_0 + \beta_1 (dap cc)$	4,6597	0,0103	-	Gamma	Id	1179,52	1189,52	88,15
$np = \beta_0 + \beta_1 (pc dap)$	3,8733	0,0025	-	Gamma	Id	1172,38	1182,38	95,04
$np = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dc$	-0,0971	0,1198	0,2627	Gamma	Id	1163,05	1176,38	90,3
$np = \beta_0 + \beta_1 dc$	1,2521	0,755	-	Gamma	Id	1173,54	1183,53	95,54
$np = \beta_0 + \beta_1 cc$	5,3146	0,3743	-	Gamma	Id	1193,16	1203,15	104,36

Fonte: Autores (2020)

Em que: np = número de pinhas; dap = diâmetro a 1,30 metros da superfície do solo (cm); pc = percentual de copa (%); cc = comprimento de copa (m); dc = diâmetro de copa (cm); Dist = método de distribuição; FL = função de ligação; Id = identidade; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de informação de Bayesiano.

Dentre as equações ajustadas, as que obtiveram melhor acurácia e precisão foram aquelas que apresentavam como variáveis independentes o dap , pc e dc . Os altos valores de desvio observados ocorreram devido ao fato de que a variável dependente (np) foi resultante da somatória dos três sítios estudados.

As variáveis que definem o tamanho da árvore (*dap* e *dc*) se correlacionam com a produção de pinhas, sendo esperado que essa tendência se acentue à medida que o indivíduo aumente em dimensão e idade, tal como evidenciam os dados de produção de sementes por árvore e por cone entre os indivíduos maduros (FASSOLA *et al.*, 1999). Segundo Solórzano-Filho (2001), o *np* por planta é dependente do tamanho da copa, já Figueiredo Filho *et al.* (2015) salientaram ainda que existe uma correlação positiva da produção de pinhas com o *dap*, ou seja, quanto maior o *dap*, maior é a produção de pinhas.

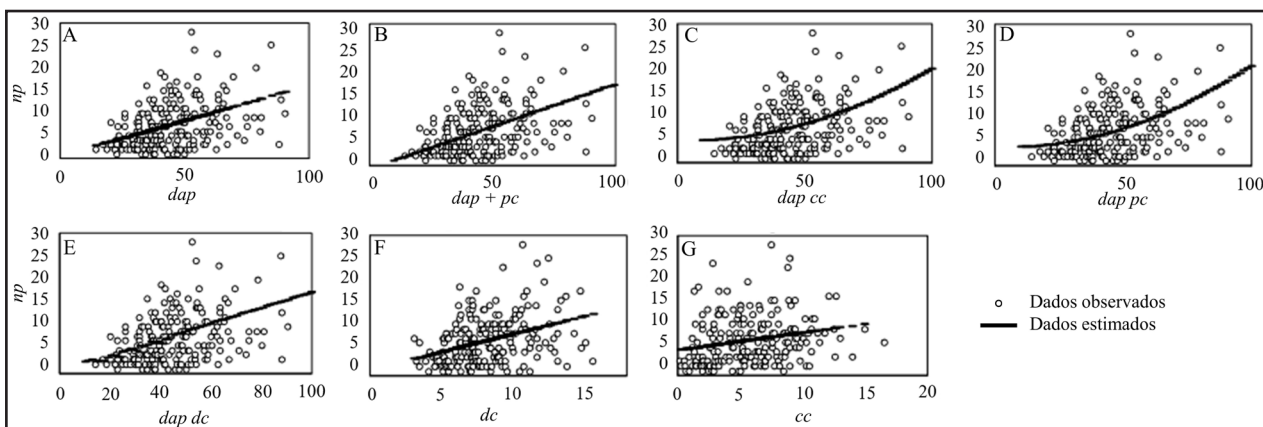
A *pc* favorece a produção da estrutura reprodutiva da espécie, já que árvores que possuem maior espaçamento encontram-se em uma situação mais favorável para a produção das estruturas reprodutivas, ou seja, as árvores dominantes que têm copas mais vigorosas e desenvolvidas são notáveis produtoras de sementes (DANIELS; BURKHART; CLASON, 1986). Tal comportamento foi observado nos sítios estudados, pois a maior produção de pinhas foi observada em árvores localizadas na bordadura da floresta ou que conseguiram se sobressair no dossel.

De acordo com os critérios estabelecidos, verificou-se que a melhor equação para as estimativas do *np* foi $np = -0,5015 + 0,1432dap + 0,0466pc$, apresentando um valor de *AIC* de 1156,99, valor de *BIC* de 1170,32 e de desvio de 87,85.

As linhas de regressão foram comparadas graficamente com os dados observados em campo, possibilitando assim avaliar a eficiência das equações (Figura 2).

As regressões apresentaram resultados sem tendências discrepantes, desse modo, as estimativas com os modelos gerados podem ser realizadas com acurácia. Os ajustes mostraram que todas as variáveis apresentaram relação linear com o *np*, indicando que, para uma maior produção de pinhas, é necessário aumento dos valores das variáveis relacionadas ao porte da árvore. A relação entre variáveis também faz referência à maturidade fisiológica, indicando que, somente a partir de uma determinada dimensão ou idade, as árvores começam a produzir pinhas.

Figura 2 – Dispersão dos valores observados de número de pinhas (np) em relação ao diâmetro a 1,30 metros da superfície do solo (dap), percentual de copa (pc), comprimento de copa (cc); diâmetro de copa (dc), das combinações entre essas variáveis e suas respectivas linhas de regressão obtidas com o ajuste dos modelos para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, mensuradas nos municípios de Lages, Bom Jardim da Serra e Painel, Santa Catarina



Fonte: Autores (2020)

A relação crescente da quantidade de pinhas com aumento de dimensão em diâmetro (dap) e variáveis de copa indica a necessidade de espaço lateral de crescimento, pois à medida que as árvores se desenvolvem em diâmetro, a copa também deve acompanhar o crescimento (COSTA *et al.*, 2014).

Em relação ao manejo da floresta, pode-se concluir sobre a necessidade de intervenção silvicultural, a fim de possibilitar que as árvores femininas jovens alcancem maiores dimensões e disponibilidade de espaço e recursos de crescimento, fatores que irão refletir na produção de pinhas e na rentabilidade das famílias extrativistas coletoras de pinhão.

Portanto, a produção de pinhas mostrou relação com as características de estrutura e arquitetura da copa, a qual tem relação com a estabilidade, capacidade fotossintética e produção de frutos na *Araucaria angustifolia*. A média de 4 pinhas/árvore pode ser considerada baixa, mas também se mostra um reflexo da falta de gestão dos remanescentes florestais estudados e da sazonalidade de produção de pinhas.

4 CONCLUSÕES

Foi observado que a quantidade de pinhas encontradas nas áreas de estudos foi relativamente baixa quando comparada com os trabalhos citados. As relações morfométricas avaliadas demonstraram que o número de pinhas é influenciado pelas características dendromorfométricas.

Os resultados obtidos se mostram importantes no âmbito do manejo florestal, sendo assim, ganham importância as intervenções silviculturais para a espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, uma vez que, com a realização de tais atividades, ocorre uma contribuição para o aumento da produção de pinhas, já que, muitas vezes, uma floresta em condições naturais não fornece o ambiente adequado para o desenvolvimento das árvores de interesse.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. Likelihood of a model and information criteria. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 3-14, 1981. DOI: 10.1016/0304-4076(81)90071-3
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting to the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, [s. l.], v. 82, n. 5, p. 1460-1472, 2001. DOI: 10.1890/0012-9658(2001)082[1460:GTTCTH]2.0.CO;2
- COSTA, E. A. *et al.* 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, Recife. **Anais** [...]. Recife: [s. n.], 2014. p. 696-700. DOI: 10.12702/VIII.SimposFloresta.2014.250-607-1
- DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, 1986. DOI: 10.1139/x86-218
- 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, 1998. DOI: 10.5902/19805098351
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense – UPR 3**. Florianópolis: EPAGRI; CIRAM, 2002. 70 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43 p. (Comunicações Técnicas Florestais, v. 7, n. 1).

FASSOLA, H. E. *et al.* **Observaciones sobre la producción de frutos y semillas en plantaciones de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** (Informe final: 1993-1998). Montecarlo: INTA; EEA, 1999.

FIGUEIREDO FILHO, A. *et al.* Modelos matemáticos para estimar a produção de pinhões de árvores nativas e plantadas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. *In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL*, 5., 2015, Santa Maria. **Anais [...]**. Santa Maria: [s. n.], 2015.

HESS, A. F. *et al.* Aplicação dos modelos lineares generalizados para estimativa do crescimento em altura. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 84, p. 427-433, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.84.604

HESS, A. F. *et al.* Crown dynamics of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) in Santa Catarina region of Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, [s. l.], v. 12, n. 03, p. 449-457, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.03.pne928

KLEIN, D. R. *et al.* Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, [s. l.], v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017. DOI: 10.5380/ufv.v47i4.49667

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária**: a floresta do Brasil meridional. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002. 148 p.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. São Paulo: Edusp, 2000. 448 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. 316 p.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 700 p.

MINATTI, M. *et al.* Shape and size relationships of *Araucaria angustifolia* in South Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, [s. l.], v. 11, n. 41, p. 4121-4127, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11220

NASCIMENTO, R. G. M. *et al.* Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 369-374, 2010. DOI: 10.4336/2010.pfb.30.64.369

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A. General**, London, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972. DOI: 10.2307/2344614

PUCHALSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. associada a condições edafo-climáticas. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v. 70, n. 70, p. 137-148, 2006.

RICKEN, P. *et al.* Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no Sul do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 40, p. 11, 2020. DOI: 10.4336/2020.pfb.40e201902066

RIGUETE, J. R.; RANGEL, A. C.; SILVA, A. G. Expressão sexual e as relações espaciais de vizinhança na reprodução sexuada em populações vegetais. **Natureza**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 170-174, 2012.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009. DOI: 10.5902/19805098901

SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. Cary: SAS Institute, 2012.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **The Annals of Statistics**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978. DOI: 10.1214/aos/1176344136

SILVA, C. S.; REIS, M. S. Produção de pinhão na região de Caçador, SC: aspectos da obtenção e sua importância para comunidades locais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 363-374, 2009. DOI: 10.5902/19805098892

SOLÓRZANO-FILHO, J. A. **Demografia, fenologia e ecologia da dispersão de sementes de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze (Araucariaceae), numa população relictual em Campos do Jordão, SP**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos lineares generalizados: da teoria à prática**. 1. ed. Lisboa: SPE Edition, 2000.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Proporção da diócia e distribuição diamétrica de árvores masculinas e femininas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze., em povoamentos implantados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 425-431, 2009. DOI: 10.5902/19805098897

ZECHINI, A. A. *et al.* Produção, comercialização e identificação de variedades de pinhão no entorno da Floresta Nacional de Três Barras-SC. **Biodiversidade Brasileira**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 74-82, 2012.

Contribuição de Autoria

1 – Kemely Alves Atanzio

Engenheira Florestal, Ma., Doutoranda em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-9575-4491> • kemely_alves@hotmail.com

Contribuição: Conceituação, Curadoria de dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Supervisão, Validação, Visualização de dados (infográfico, fluxograma, tabela e gráficos), Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – André Felipe Hess

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3354-9855> • andre.hess@udesc.br

Contribuição: Obtenção de financiamento, Administração do projeto, Metodologia, Investigação, Recursos, Software

3 – Sandra Mara Krefta

Engenheira Florestal, Ma.

<https://orcid.org/0000-0003-0379-6828> • sandra_krefta@hotmail.com

Contribuição: Metodologia, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

4 – Luis Paulo Baldissera Schorr

Engenheiro Florestal, Me., Doutorando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0002-0527-9114> • lpbs93@gmail.com

Contribuição: Metodologia, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

5 – Isadora de Arruda Souza

Engenheira Florestal, Ma.

<https://orcid.org/0000-0001-7620-7751> • isadoraarrudaengflorestal@gmail.com

Contribuição: Metodologia

6 – Carlos Alberto Ramos Domiciano

Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal

<https://orcid.org/0000-0003-3281-2225> • carlosramos.domiciano@gmail.com

Contribuição: Metodologia, Supervisão Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição, Visualização de dados (infográfico, fluxograma, tabela e gráficos)

7 – Tarik Cuchi

Engenheiro Florestal, Me., Doutorando em Ciências Florestais

<https://orcid.org/0000-0002-8930-2341> • tarikcuchi@gmail.com

Contribuição: Metodologia

8 – Giselli Castilho Moraes

Engenheira Florestal, Ma.

<https://orcid.org/0000-0001-9780-1549> • giselli.moraes14@hotmail.com

Contribuição: Metodologia

Como citar este artigo

Atanazio, K. A.; Hess, A. F.; Krefta, S. M.; Schorr, L. P. B.; Souza, I. A.; Domiciano, C. A. R.; Cuchi, T.; Moraes, G. C. Modelagem das relações morfológicas com a produção de pinhas de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no sul do Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1246-1267, 2022. DOI 10.5902/1980509847843. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509847843>.