

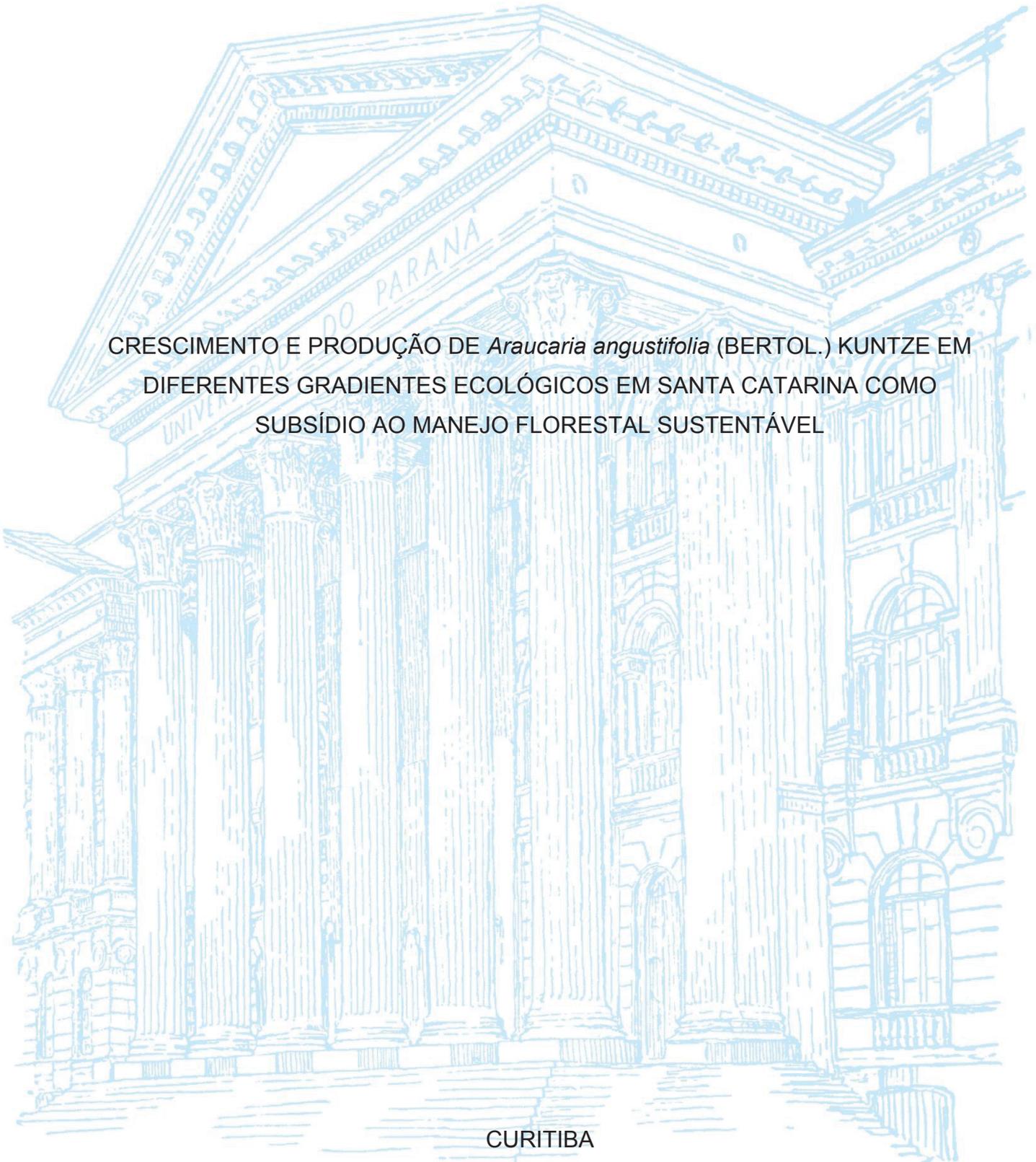
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

POLLYNI RICKEN

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE EM  
DIFERENTES GRADIENTES ECOLÓGICOS EM SANTA CATARINA COMO  
SUBSÍDIO AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

CURITIBA

2020



POLLYNI RICKEN

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE EM  
DIFERENTES GRADIENTES ECOLÓGICOS EM SANTA CATARINA COMO  
SUBSÍDIO AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Engenharia Florestal da linha de pesquisa Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima  
Coorientadores: Dr<sup>a</sup>. Patrícia Póvoa de Mattos  
Prof. Dr. André Felipe Hess  
Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Ricken, Pollyni

Crescimento e produção de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em diferentes gradientes ecológicos em Santa Catarina como subsídio ao manejo florestal sustentável / Pollyni Ricken. - Curitiba, 2020.

132 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Coorientadores: Dra. Patrícia Póvoa de Mattos

Prof. Dr. André Felipe Hess; Prof. Dr. Roberto Tuyoshi  
Hosokawa

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 20/03/2020. Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Dendrocronologia – Santa Catarina. 2. Árvores – Crescimento.  
3. Anéis de crescimento (Botânica). 4. *Araucaria angustifolia*. 5. Teses.  
I. Nakajima, Nelson Yoshihiro. II. Mattos, Patrícia Póvoa de. III. Hess, André Felipe. IV. Hosokawa, Roberto Tuyoshi. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.561.24(816.4)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **POLLYNI RICKEN** intitulada: **CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE *Araucaria angustifolia* (BERTOL.) KUNTZE EM DIFERENTES GRADIENTES ECOLÓGICOS EM SANTA CATARINA COMO SUBSÍDIO AO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Março de 2020.

Assinatura Eletrônica

18/05/2020 15:56:01.0

NELSON YOSHIHIRO NAKAJIMA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

19/05/2020 17:28:01.0

ANDRÉ FELIPE HESS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA)

Assinatura Eletrônica

18/05/2020 17:28:21.0

IVALDO MUÑOZ BRAZ

Avaliador Externo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA)

Assinatura Eletrônica

19/05/2020 16:08:41.0

AFONSO FIGUEIREDO FILHO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

18/05/2020 13:55:42.0

ALEXANDRE BEHLING

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

*À minha família, que sempre me incentivou e mostrou a importância dos estudos para minha vida profissional e pessoal, e por serem a base que me fortalece,*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e aos bons espíritos, que me iluminaram e me deram muita força para concluir esta tão importante etapa de minha vida.

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal e a todos os professores da Engenharia Florestal pelos ensinamentos compartilhados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida, à Embrapa Florestas e a UDESC pela disponibilização de suas dependências para a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Nelson Nakajima, pela disposição em me orientar e pelas contribuições realizadas.

Ao Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa, pela coorientação.

Ao Prof. Dr. André Felipe Hess, pela coorientação, incentivo, paciência e amizade, desde a graduação e durante o decorrer deste trabalho.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, Prof. Dr. Alexandre Behling, Dr. Aurélio Lourenço Rodrigues e Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot pelas críticas e sugestões muito valiosas na confecção deste trabalho.

Aos amigos e colegas da Xiloteca pelo carinho, companhia, troca de ideias e risadas.

Ao Sr. Hélivio Hugem Pagani, Phillippe Barbosa Santos e Thyago Haut por disponibilizarem suas propriedades para o presente estudo.

Ao Dr. Evaldo Muñoz Braz e à Dra. Patrícia Póvoa de Mattos, que sempre acreditaram no meu trabalho e colaboraram imensamente para o meu crescimento pessoal e profissional, e que nesses anos de Embrapa me mostraram muito sobre a Engenharia Florestal.

Aos meus amigos de longa jornada e aos amigos mais recentes, pelos imensuráveis momentos de descontração e pela verdadeira amizade cultivada ao longo desses anos.

Aos demais colegas e a todos que colaboraram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho nesses quatro anos de aprendizado e evolução.

Muito Obrigada!

## RESUMO

A Floresta com Araucária é um ecossistema que tem *Araucaria angustifolia* como espécie predominante. Essa espécie foi muito explorada no passado, mas ainda existem muitas lacunas sobre informações básicas para o seu manejo sustentável. Conhecer a dinâmica da espécie em diferentes locais é imprescindível para o estabelecimento de planos de uso e conservação da espécie. Esta tese teve como objetivo principal analisar a dinâmica de crescimento no tempo utilizando estudos dendrocronológicos de *Araucaria angustifolia* em três municípios de Santa Catarina, considerando diferentes altitudes de ocorrência natural da espécie. Os estudos foram conduzidos em áreas naturais com araucária nos municípios de Bom Jardim da Serra (Área 1 - 1.350 m de altitude), Painel (Área 2 - 1.150 m) e São José do Cerrito (Área 3 - 950 m). Foram mensurados em campo parâmetros dendrométricos, variáveis relativas à morfologia da árvore, e retiradas amostras não destrutivas da árvore em diferentes classes de diâmetro e condições de competição por luz. Foram ajustados modelos matemáticos, gerando indicadores de crescimento para a espécie, de acordo com os diferentes ambientes em que está inserida. Foram feitas estimativas da alteração no ritmo de crescimento da espécie de acordo com as diferentes altitudes, possibilitando a geração de índices de auxílio ao manejo, crescimento e desenvolvimento das araucárias. Foram propostas alternativas para subsidiar planos de manejo para as três áreas de estudo. O trabalho está dividido em quatro capítulos, que tratam dos seguintes temas: morfometria; modelos de crescimento com base na dendrocronologia; produções volumétricas e pontos de culminação do crescimento; e potencial de manejo florestal, visando a produção madeireira e identificando o estado estável das florestas em estudo. Os resultados indicam que a menor média em altura encontrada na área 1 pode estar associada, em parte, com uma resposta adaptativa da espécie às condições de maior altitude e características edafoclimáticas desta área. A área 2 apresentou poucos indivíduos de araucária nas classes diamétricas iniciais, indicando comprometimento na estrutura horizontal, e no suprimento de araucária nas maiores classes no decorrer do tempo. A diferença no padrão de crescimento entre as áreas indica o quanto a araucária consegue atingir um potencial elevado de crescimento por estar em melhores condições de desenvolvimento, sendo pequena a influência da altitude nesse processo entre os locais estudados. O ajuste do modelo de crescimento volumétrico apresentou maior crescimento para as áreas 2 e 3, e menor crescimento para a área 1. Considerando a população de araucária, observou-se que as áreas 1, 2 e 3 apresentaram culminação do crescimento em volume aos 63, 60 e 42 anos, respectivamente. As simulações de manejo indicaram produção em volume de madeira após o atingimento do estado estável das florestas estudadas, de 3,39, 3,34 e 11,36 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Palavras-chave: Floresta Ombrófila Mista. Anéis de crescimento. Dendrocronologia.

## ABSTRACT

The Araucaria Forest is an ecosystem that has *Araucaria angustifolia* as the predominant species. This species has been extensively explored in the past, but there are still many gaps in basic information for its sustainable management. Knowing the dynamics of the species in different locations is essential for establishing plans for the use and conservation of the species. This thesis aimed to analyze the dynamics of growth over time using dendrochronological studies of *Araucaria angustifolia* in three municipalities of Santa Catarina, considering different altitudes of natural occurrence of the species. The studies were conducted in natural araucaria areas in Bom Jardim da Serra (Area 1 - 1,350 m high), Paineira (Area 2 - 1,150 m) and São José do Cerrito (Area 3 - 950 m). Were collected dendrometric parameters, variables related to the tree's morphology, and non-destructive samples were taken from the tree in different classes of diameter and conditions of competition for light. Mathematical models were adjusted, generating growth indicators for the species, according to the different environments in which it is inserted. Estimates of the change in the growth rate of the species were made according to the different altitudes, enabling the generation of indexes of aid for the management, growth, and development of the araucaria. Alternative proposals have been proposed to support management plans for the three study areas. The work is divided into four chapters, which deal with the following themes: morphometry; growth models based on dendrochronology; volumetric productions and culmination points; and potential for forest management, aiming at timber production and identifying the steady state of the forests under study. The results indicate that the lower mean height found in area 1 may be associated, in part, with an adaptive response of the species to the conditions of greater altitude and edaphoclimatic characteristics of this area. Area 2 showed few araucaria individuals in the initial diametric classes, indicating impairment in the horizontal structure, and supply of araucaria in the largest classes over time. The difference in the growth pattern between the areas indicates how much the araucaria manages to reach a high growth potential because it is in better development conditions, with little influence of altitude in this process among the studied places. The adjustment of the volumetric growth model showed greater growth for areas 2 and 3, and less growth for area 1. If considering the araucaria population, it was observed that areas 1, 2 and 3 showed growth culmination in volume at 63, 60 and 42 years, respectively. The management simulations indicated wood volume production after reaching the steady state of the studied forests, of 3,39, 3,34 and 11,36 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for areas 1, 2 and 3, respectively.

Keywords: Mixed Rain Forest. Tree rings growth. Dendrochronology.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- FIGURA 1 - MAPA DO BRASIL E EM DESTAQUE O ESTADO DE SANTA CATARINA COM A LOCALIZAÇÃO DAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO DE *Araucaria angustifolia*.....28
- FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* AMOSTRADAS NAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO (A1, A2, A3).....29
- FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE *Araucaria angustifolia* NAS TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....34
- FIGURA 4 - ALTURA (h) E DIÂMETRO À 1,30 M DO SOLO (DAP) E RELAÇÕES h/DAP AJUSTADAS (EQUAÇÃO DE CURTIS) PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....35
- FIGURA 5 - ÁREA DE PROJEÇÃO DE COPA POR AGRUPAMENTO E POR DIÂMETRO/ESTRATO PARA *Araucaria angustifolia* NOS TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....40

### CAPÍTULO II

- FIGURA 6 - (A) RETIRADA DA AMOSTRA NÃO DESTRUTIVA COM O TRADO DE PRESSLER E (B) COLAGEM DAS AMOSTRAS DE *Araucaria angustifolia*.....58
- FIGURA 7 - (A) MESA DE MENSURAÇÃO DE ANÉIS (LINTAB 6) E (B) AMOSTRA DE *Araucaria angustifolia* COM OS ANÉIS DE CRESCIMENTO. ....58
- FIGURA 8 - CAMADA DE CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia*.....61
- FIGURA 9 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL, NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR CLASSE DIAMÉTRICA E RESPECTIVAS LINHAS DE TENDÊNCIA PARA TRÊS ÁREAS DE FLORESTA NATURAL DE *Araucaria angustifolia*, EM SANTA CATARINA.....62
- FIGURA 10 - EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO ACUMULADO AJUSTADAS PARA *Araucaria angustifolia* PARA TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....64
- FIGURA 11 - CURVAS DE INCREMENTO EM ÁREA BASAL PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....65

FIGURA 12 - FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE ACORDO COM A IDADE CRONOLÓGICA DOS INDIVÍDUOS, PARA TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	67
--	----

### **CAPÍTULO III**

FIGURA 13 - VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	86
FIGURA 14 - VOLUME ACUMULADO POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	87
FIGURA 15 - CURVAS DE PRODUÇÃO EM VOLUME INDIVIDUAL PARA <i>Araucaria angustifolia</i> PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	88
FIGURA 16 - CURVAS DE INCREMENTO EM VOLUME E PRODUÇÃO EM DIÂMETRO PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE <i>Araucaria angustifolia</i> PARA TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	89
FIGURA 17 - CURVAS DE INCREMENTO EM VOLUME E PRODUÇÃO DE DIÂMETRO PARA A POPULAÇÃO DE <i>Araucaria angustifolia</i> PARA TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	91

### **CAPÍTULO IV**

FIGURA 18 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM BOM JARDIM DA SERRA, SANTA CATARINA, BRASIL. ....	107
FIGURA 19 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM PAINEL, SANTA CATARINA, BRASIL. ....	108
FIGURA 20 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SÃO JOSÉ DO CERRITO, SANTA CATARINA, BRASIL. ....	110

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	28
TABELA 2 - EQUAÇÕES TESTADAS PARA AJUSTE DA ALTURA EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO.....	32
TABELA 3 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MORFOMÉTRICOS PARA AS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO PARA A ESPÉCIE <i>Araucaria angustifolia</i> .....	33
TABELA 4 - COEFICIENTES E CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> , PARA TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....	36
TABELA 5 - PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MORFOMÉTRICOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS LOCAIS COM ALTITUDES DISTINTAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....	37
TABELA 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DENDROMÉTRICAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....	38
TABELA 7 - FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA CONSIDERANDO O TOTAL DE CLASSES DIAMÉTRICAS E CONSIDERANDO SOMENTE ÁRVORES DE <i>Araucaria angustifolia</i> COM DAP $\geq$ 40 CM, EM TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....	39

### CAPÍTULO II

TABELA 8 - MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO AJUSTADOS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> PARA OS TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.....	59
TABELA 9 - DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DAS SÉRIES CRONOLÓGICAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE EM SANTA CATARINA.....	61
TABELA 10 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS E COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO AJUSTADAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS LOCAIS DE OCORRÊNCIA NATURAL, EM SANTA CATARINA.....	63

TABELA 11 - IDADES E ÁREA BASAL ESTIMADOS DOS PONTOS EM QUE OCORREM A CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E O MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL. ....	66
TABELA 12 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM FLORESTAS NATURAIS. ....	69

### **CAPÍTULO III**

TABELA 13 - IDADES E DIÂMETROS ESTIMADOS DOS PONTOS DE CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE <i>Araucaria angustifolia</i> PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	90
TABELA 14 - IDADES E DIÂMETROS ESTIMADOS DOS PONTOS DE CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME PARA POPULAÇÃO DE <i>Araucaria angustifolia</i> PARA OS TRÊS LOCAIS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	92

### **CAPÍTULO IV**

TABELA 15 - SIMULAÇÃO DO VOLUME (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) PRODUZIDO EM CADA CICLO DE CORTE PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	105
TABELA 16 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM BOM JARDIM DA SERRA (ÁREA 1) EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	106
TABELA 17 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM PAINEL (ÁREA 2) EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	107
TABELA 18 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SÃO JOSÉ DO CERRITO (ÁREA 3) EM SANTA CATARINA, BRASIL. ....	109

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	17
REFERÊNCIAS.....	21
<b>CAPÍTULO I - MORFOMETRIA DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM DIFERENTES ALTITUDES NO SUL DO BRASIL .....</b>	<b>24</b>
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	28
2.2 MENSURAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	29
2.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO .....	31
2.4 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA .....	31
2.5 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA .....	32
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>33</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS.....	33
3.2 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA .....	39
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
REFERÊNCIAS.....	47
<b>CAPÍTULO II - MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM DIFERENTES GRADIENTES DE ALTITUDE NO ESTADO DE SANTA CATARINA .....</b>	<b>52</b>
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>54</b>

<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>57</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	57
2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS .....	57
2.3 MODELAGEM DO CRESCIMENTO .....	59
2.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO.....	60
<b>3 RESULTADOS.....</b>	<b>61</b>
3.1 DENDROCRONOLOGIA.....	61
3.2 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO .....	61
3.3 MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO.....	63
3.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO.....	66
<b>4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>68</b>
4.1 DENDROCRONOLOGIA.....	68
4.2 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO .....	68
4.3 MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO.....	71
4.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO.....	71
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>CAPÍTULO III – CRESCIMENTO EM VOLUME DE <i>Araucaria angustifolia</i> EM ALTITUDES DISTINTAS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....</b>	<b>80</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>80</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>81</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>84</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	84
2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS .....	84
2.3 MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO .....	84

<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>86</b>
3.1 VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA .....	86
3.2 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO INDIVIDUAL.....	88
3.3 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA POPULAÇÃO .....	90
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>93</b>
4.1 VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA .....	93
4.2 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA ÁRVORE INDIVIDUAL.....	93
4.3 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA POPULAÇÃO .....	94
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>96</b>
<b>CAPÍTULO IV - POTENCIAL DE MANEJO FLORESTAL PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM TRÊS MUNICÍPIOS NO PLANALTO SUL CATARINENSE</b> .....	<b>99</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>99</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>100</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>101</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>103</b>
2.1 ÁREA DE ESTUDO.....	103
2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS.....	103
2.3 CICLOS DE CORTE .....	103
2.4 SIMULAÇÕES DE CORTE E ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA .....	103
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>105</b>
3.1 VOLUME DE MADEIRA APÓS MANEJO .....	105
3.2 ÁREA 1.....	105
3.3 ÁREA 2.....	107
3.4 ÁREA 3.....	108
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>111</b>
4.1 ÁREA 1.....	111

4.2 ÁREA 2.....	111
4.3 ÁREA 3.....	112
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>114</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE I – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM BOM JARDIM DA SERRA (ÁREA 1), EM SANTA CATARINA.....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE II – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM PAINEL (ÁREA 2), EM SANTA CATARINA.....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE III – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SÃO JOSÉ DO CERRITO (ÁREA 3), EM SANTA CATARINA.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>120</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país que apresenta grande cobertura florestal nos mais variados ecossistemas. Na Mata Atlântica, a Floresta Ombrófila Mista (FOM), presente principalmente nos estados do sul do país, apresentava no passado uma vasta extensão com grande diversidade de espécies, muitas delas de grande potencial madeireiro, que foram alvo de intensa exploração no passado (MEDEIROS; SAVI; BRITO, 2005; MACHADO et al., 2008).

A vegetação reconhecida cientificamente como Floresta Ombrófila Mista tem recebido ao longo dos tempos denominações diversas: Floresta com Araucária, Floresta de Araucária, Floresta de Pinheiros, Pinhais, Zona de Pinhais, Mata de Araucária, entre outras. A origem do termo Floresta Ombrófila Mista vem da mistura de duas floras distintas: a tropical afro-brasileira e a temperada austro-brasileira, cada qual com elementos característicos. Essa mistura ocorre devido a condições peculiares observadas no planalto Meridional Brasileiro, onde fatores associados à latitude e à altitude criam uma situação única na região Neotropical (IBGE, 2012).

Originalmente no Brasil, a Floresta com Araucária cobria uma superfície de cerca de 200.000 km<sup>2</sup>, ocorrendo no Paraná (40% de sua superfície), Santa Catarina (31%) e Rio Grande do Sul (25%) e em manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), internando-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (CARVALHO, 1994).

A FOM destaca-se por constituir uma formação florestal de grande potencial cênico, com predominância da *Araucaria angustifolia*, espécie que ocorre com elevada frequência e com indivíduos de grande porte e de madeira de boa qualidade, o que tornou a araucária alvo de intensa exploração madeireira, reduzindo drasticamente a área de florestas naturais (MEDEIROS; SAVI; BRITO, 2005).

Segundo Leite e Klein (1990), a tipologia da região da Floresta Ombrófila Mista foi drasticamente reduzida a inexpressivos 10% de sua dimensão original, antes mesmo de ser adequadamente conhecida.

A exploração econômica sem planejamento ocorrida em pouco mais de um século levou essa rica e singular floresta a uma situação de visível degradação biológica no sul do Brasil, sendo evidentes os reflexos da excessiva exploração madeireira de suas principais espécies arbóreas. A fisionomia primitiva da Floresta com Araucária foi substituída, em sua maior parte, por pastagens, monocultivos e plantios homogêneos de espécies arbóreas exóticas (GUERRA et al. 2002).

*Araucaria angustifolia* ocorre de forma natural em regiões serranas e planaltos, situando-se numa altitude superior a 400 m, podendo chegar a 2.300 m de altitude (WEBB et al., 1984; MÄHLER JUNIOR; LAROCCHA, 2009; MATTOS, 2011). Mattos (2011) cita alguns exemplos da presença dessa espécie em lugares com elevadas altitudes, como no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, em locais com cerca de 1.800 m em Urubici e Bom Retiro em SC, e com cerca de 2.000 m, no Itatiaia, RJ. Na parte leste do Paraná, na Grande Curitiba, o pinheiro ocorre a cerca de 1.000 m de altitude.

As altitudes em que se encontra esta espécie têm influência nas condições climáticas, pois quanto mais elevadas as altitudes, mais baixas são as temperaturas médias e extremas. Segundo Webb et al. (1984), *A. angustifolia* é resistente à geada e à déficit hídrico. Embora não seja o ideal, ela tolera climas quentes e umidade relativa alta, porém não se desenvolve bem em solos com umidade elevada (MATTOS, 2011).

A pluviosidade da área onde estão os pinheiros é de grande importância, pois, segundo Mattos (2011), nos anos em que ocorrem secas acentuadas é possível notar, principalmente nos terrenos secos de encostas, pinheiros com entrenós mais curtos do que os outros. Segundo Webb et al. (1984), o ideal para a espécie é uma média anual de chuvas entre 1.250 e 2.200 mm. A ocorrência de chuvas normais favorece o desenvolvimento das mudas jovens, mas excesso prejudica o arejamento do solo junto às raízes e pode fazer com que os pinhões que estão no chão apodreçam e não germinem.

De acordo com Machado et al. (2008), além da araucária, outras espécies da Floresta Ombrófila Mista, como *Ocotea porosa* (Mez) L. Barroso e *Cedrela fissilis* Vell., também sofreram com a extração de recursos madeiráveis e com o processo de colonização e expansão das áreas agrícolas.

A adoção dos conceitos de desenvolvimento sustentável torna-se uma necessidade e uma exigência em nível mundial, como forma de satisfazer às necessidades humanas e garantir a conservação da natureza e a própria sobrevivência do homem (HESS, 2006).

O comportamento do crescimento específico para cada região, aliado à interação com fatores do ambiente, possibilita ao silvicultor/manejador reconhecer características distintas da floresta, permitindo relacionar a capacidade produtiva do povoamento, aliada com demais informações (da produtividade, dos atributos da

espécie, do solo e/ou relevo, do clima), possibilitando o desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisão na intervenção nos povoamentos.

Caracterizar a capacidade produtiva de diferentes regiões e sua correlação com fatores do ambiente, são subsídios imprescindíveis ao planejamento para exploração sustentável de florestas nativas, sendo uma das mais importantes variáveis do manejo florestal.

O crescimento das árvores é influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente (HUSCH; MILLER; BEERS, 1982). As influências ambientais incluem fatores climáticos (temperatura, vento, precipitação e insolação), fatores pedológicos (características físicas e químicas, umidade e microrganismos), características topográficas (inclinação e elevação) e competição (influência de outras árvores, sub-bosque, animais), sendo que a soma destes fatores exprime o conceito de qualidade de sítio (PRODAN et al., 1997).

Informações sobre a influência de fatores ambientais, como a altitude e a precipitação, na taxa de crescimento das espécies arbóreas são importantes para a elaboração de planos de manejo de florestas naturais (BRAZ, 2010). A dendrocronologia é uma ferramenta que auxilia na obtenção dessas informações.

Segundo Roig (2000), o Planalto Meridional Brasileiro é apontado como área de relevante potencial dendrocronológico, devido às suas características climáticas e florísticas. Esta região apresenta marcada estacionalidade climática, decorrente das diferenças entre as temperaturas de verão e inverno, que possivelmente respondem diretamente à sazonalidade do clima na formação dos anéis de crescimento (SANTAROSA et al., 2007).

Diante disto, a realização de estudos dendrocronológicos e de manejo florestal tem assumido um papel importante na tentativa de conhecer a estrutura e compreender a dinâmica da Floresta de Araucária, visando subsidiar intervenções sustentáveis da floresta, de forma que se possa usar o material excedente que a floresta disponibiliza mantendo o equilíbrio do ambiente.

O problema tratado nesta pesquisa relaciona-se com a proposta da sustentabilidade e conservação das florestas nativas. Esse problema foi identificado em tempos passados e perdura até o presente, necessitando de legislação que reflita os avanços da ciência no tema de manejo florestal e considere o ritmo de crescimento das populações, tendo por base as informações dendrométricas, para ajuste de estimativas confiáveis de produção destas florestas.

Muitos pesquisadores têm se dedicado ao estudo do crescimento de *Araucaria angustifolia* (OLIVEIRA, 2007; MATTOS et al., 2007a, 2007b, 2010; STEPKA, 2012; RICKEN, 2014; CURTO, 2015; RODRIGUES, 2016; LAMBRECHT, 2017). No entanto, ainda existe uma grande lacuna de conhecimento sobre o crescimento, incremento e capacidade produtiva de áreas naturais de *Araucaria angustifolia*, quando comparado ao desenvolvimento da espécie em áreas localizadas em diferentes altitudes.

Diante do exposto, desenvolveu-se no presente trabalho uma análise do comportamento da *Araucaria angustifolia* em três municípios de ocorrência da espécie para subsidiar futuros planos de manejo, onde foi apresentada a hipótese de que o crescimento em diâmetro, altura e ocupação de área pelos indivíduos, considerando-se as variáveis dendrométricas, varia em decorrência das diferenças de altitude em diferentes locais de ocorrência natural da espécie.

Assim, o objetivo principal foi modelar a dinâmica de crescimento e realizar estudos dendrocronológicos de *Araucaria angustifolia* em três municípios de Santa Catarina, considerando diferentes altitudes de ocorrência da espécie.

Este trabalho está dividido em quatro capítulos, abordando os seguintes temas:

- Capítulo 1: Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no sul do Brasil;
- Capítulo 2: Modelos de crescimento em diâmetro para *Araucaria angustifolia* em diferentes gradientes de altitude no estado de Santa Catarina;
- Capítulo 3: Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* em altitudes distintas de ocorrência da espécie no estado de Santa Catarina;
- Capítulo 4: Potencial de manejo florestal para *Araucaria angustifolia* em três municípios no planalto sul catarinense.

## REFERÊNCIAS

- BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento de manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA, 1994. 640p.
- CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. Curitiba, 250p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. 2015.
- GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. dos; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L. L.; Lino, C. F. (eds.). **Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. 216p.
- HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons. 402 p. 1982.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, BR). **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas de manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria de Geociências, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).
- LAMBRECHT, F. R. **Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze sob manejo florestal na região noroeste do Rio Grande do Sul**. Frederico Westphalen, 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. 2017.
- LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação**. In: Geografia do Brasil: Região Sul. v.2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, jan./jul., Colombo-PR. 2008.

MÄHLER JUNIOR, J.K.F.; LAROCCA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária, p. 243-252. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608p.

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n. 64, p. 319-326, nov./dez. 2010.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. Colombo, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, 2007a. Nota científica.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007b. Nota científica.

MEDEIROS, J. de D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. Seleção de área para criação de unidade de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, v.18, n.3, p. 33-50. 2005.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. Porto Alegre, 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. *In*: San Jose, C.R.: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (IICA). 561 p. 1997.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no Planalto Catarinense.** 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de floresta ombrófila mista.** 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2016.

ROIG, F. A. **Dendrocronologia en los bosques del Neotropico: revision y prospeccion futura.** In: Roig, F.A. (Eds.) Dendrocronología en América Latina. Mendoza: EDIUNC. p.307-355. 2000.

SANTAROSA, E.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Crescimento sazonal em *Araucaria angustifolia*: Evidências Anatômicas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 1, p 618-620, jul. 2007.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil.** 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2012.

WEBB, D. B.; WOOD, P. J.; SMITH, J. P.; HENMAN, G. S. **A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations.** Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 256p. (Tropical Forestry Papers, 15).

## CAPÍTULO I - MORFOMETRIA DE *Araucaria angustifolia* EM DIFERENTES ALTITUDES NO SUL DO BRASIL

### RESUMO

Os índices morfométricos podem ser usados para subsidiar o entendimento da dinâmica de florestas naturais. Diante disso, objetivou-se descrever e avaliar as relações morfométricas e dendrométricas de *Araucaria angustifolia*, como subsídio para compreensão da estrutura da floresta natural de araucária. Os dados foram mensurados em três municípios de Santa Catarina, considerando os diferentes gradientes de altitude de ocorrência da espécie entre as áreas, com amostragem de 247 árvores, utilizando o método de Bitterlich, sendo medida a circunferência à 1,30 m do solo, altura total e de inserção de copa e raios de copa. As relações interdimensionais das árvores foram descritas por meio de índices morfométricos. A área 2 apresentou árvores de maior porte em relação ao diâmetro e área de copa. A área 3 apresentou a maior densidade de árvores (403 árvores ha<sup>-1</sup>), enquanto nas áreas 1 e 2 foram observadas 362 e 232 árvores ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na área 3, a maior parte das árvores apresentou proporção de copa superior a 50% e formal de copa menor do que 1, indicando árvores de copas mais estreitas e largas. O diâmetro da árvore apresentou correlação negativa e superior a 70% com o grau de esbeltez. Nas três áreas, o diâmetro apresentou correlação positiva com o diâmetro de copa.

Palavras-chave: Análise de crescimento. Floresta com Araucária. Método de Bitterlich.

## ABSTRACT

Morphometric indices can be used to support the understanding of natural forest dynamics. The aim of this study was to describe and evaluate the morphometric and dendrometric relationships of *Araucaria angustifolia*, as allowance to understanding the structure of natural Araucaria Forest. The data were obtained in three counties of Santa Catarina State, considering different altitudes gradients of occurrence of the species between the areas. We sampled 247 trees, using the Bitterlich method, and we measured the circumferences at 1.30 m from the ground, total height and crown insertion height and crown radius. The trees interdimensional relationships were described through morphometric indexes. Area 2 showed larger trees considering crown area diameter. Area 3 had the highest tree density (403 trees ha<sup>-1</sup>), while areas 1 and 2 showed 362 and 232 trees ha<sup>-1</sup>, respectively. At Area 3, most trees presented crown ratio greater than 50% and crown fullness ratio lower than 1, indicating trees with narrower and larger crowns. The tree diameter showed a negative correlation, higher than 70% with the degree of slenderness. The diameter presented a positive correlation with the crown diameter in the three areas.

Keywords: Growth analysis. Araucaria Forest. Bitterlich method.

## 1 INTRODUÇÃO

*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze é o principal componente arbóreo do estrato da Floresta Ombrófila Mista (FOM) ou Floresta com Araucárias (VALÉRIO; WATZLAWICK; BALBINOT, 2017), tendo essas matas com araucária ocupado, no passado, 20 milhões de ha da paisagem no Sul do Brasil. No entanto, a crescente necessidade de terras para a agricultura e pecuária bem como as amplas possibilidades de uso de sua madeira acarretou, desde a metade do século passado, a exploração dessas matas (SOUZA et al., 2015). De acordo com Machado et al. (2008), outras espécies da Floresta Ombrófila Mista, tais como *Ocotea porosa* (Mez) L. Barroso e *Cedrela fissilis* Vell., também sofreram com a exploração de recursos madeiráveis e com o processo de colonização e expansão das áreas agrícolas.

Segundo Leite e Klein (1990), a tipologia da região da Floresta Ombrófila Mista, foi drasticamente reduzida a inexpressivos 10% de sua dimensão original, antes mesmo de ser adequadamente conhecida.

A redução do tamanho e do número de remanescentes da FOM tem resultado em degradação das populações de araucária. Em alguns casos, essas populações tornam-se vulneráveis em resposta ao rompimento de sua dinâmica de regeneração, amadurecimento e reprodução (SHIMIZU; JAEGER; SOPCHAKI, 2000).

*Araucaria angustifolia* ocorre de forma natural em regiões serranas e planaltos, situando-se numa altitude superior a 400 m, podendo chegar a 2.300 metros de altitude (MÄHLER JUNIOR; LAROCCA, 2009; MATTOS, 2011). Sua ocorrência natural está relacionada às condições climáticas, pois, quanto mais elevadas a altitude, mais baixas são as temperaturas médias e extremas. A espécie é resistente à geada e à seca e, embora não seja o seu ambiente ideal, tolera os climas quentes. Tolerância também umidade relativa alta, porém não se desenvolve bem em solos com umidade elevada (MATTOS, 2011).

Informações tais como o número de árvores, a localização da árvore, altura, e diâmetro da copa são essenciais para a análise quantitativa da floresta (CHEN et al., 2006; KOCH; HEYDER; WEINACKER, 2006; KWAK et al., 2007). Diversos índices obtidos entre as dimensões da copa e do tronco buscam descrever a capacidade de crescimento e produção das árvores e da floresta (PADOIN; FINGER, 2010).

O estudo da morfometria da copa das árvores permite entender as relações interdimensionais e reconstruir o espaço utilizado por elas. Também é possível avaliar

o grau de competição que determinado povoamento está submetido e inferir sobre o desenvolvimento das árvores (DURLO; DENARDI, 1998). Assim, podem subsidiar informações relevantes, em conjunto com outros indicadores de condições da estrutura da floresta, para a determinação de práticas de intervenção silvicultural (SILVA et al., 2017).

Uma das relações mais utilizadas para a análise do desenvolvimento das plantas é o grau de esbeltez ( $ge$ ), que é a relação entre a altura total ( $h$ ) e o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP). Tonini e ArcoVerde (2005) afirmam que uma relação  $h/DAP$  maior que 1 (um) indica necessidade de desbaste na área.

O diâmetro da copa ( $dc$ ) corresponde ao comprimento da linha de projeção entre os pontos extremos da copa. Outros parâmetros usados são o índice de saliência ( $is$ ), que relaciona o diâmetro da copa e o DAP, e a razão entre o diâmetro da copa e a altura total da árvore, conhecida como índice de abrangência ( $ia$ ) (DURLO; DENARDI, 1998). Tonini e ArcoVerde (2005) relatam que este índice tende a diminuir com a altura, já que o crescimento em altura da árvore não é acompanhado, proporcionalmente, pelo crescimento no diâmetro de copa.

Outro índice utilizado para avaliar a forma geométrica da copa é o formal de copa ( $fc$ ), que expressa a relação entre o diâmetro e o comprimento da copa. Roman, Bressan e Durlo (2009) citam que valores baixos de formal de copa indicam copas mais esbeltas enquanto valores maiores definem copas mais arredondadas.

A estimativa dos parâmetros morfométricos podem ser usados para compreender a estrutura da floresta, onde a retirada de indivíduos propiciaria um aumento na incidência de luz, além de diminuir a concorrência por espaço e nutrientes entre os indivíduos, favorecendo o crescimento dos remanescentes.

Assim, os objetivos deste capítulo foram avaliar e relacionar as variáveis morfométricas e dendrométricas de *Araucaria angustifolia* em três altitudes de ocorrência natural, e inferir sobre a densidade de árvores por hectare, visando a otimização do desenvolvimento das árvores.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

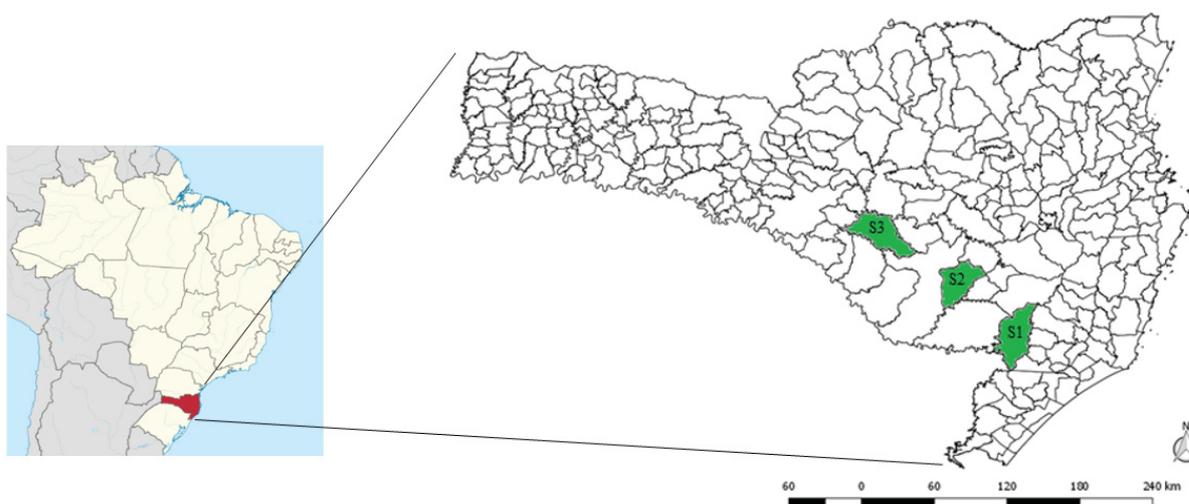
### 2.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi realizado em áreas de floresta natural de *Araucaria angustifolia* localizadas em três municípios de Santa Catarina. A escolha dos locais visou abranger diferentes altitudes de ocorrência natural da espécie.

As três áreas são propriedades rurais particulares e apresentam alta densidade de *Araucaria angustifolia* distribuída em capões de remanescentes florestais da Floresta Ombrófila Mista (FOM). Essa predominância da espécie é uma característica comum em florestas naturais em Santa Catarina.

A localização das áreas de estudo e a descrição de cada uma estão apresentadas na Figura 1 e Tabela 1, respectivamente.

FIGURA 1 - MAPA DO BRASIL E EM DESTAQUE O ESTADO DE SANTA CATARINA COM A LOCALIZAÇÃO DAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO DE *Araucaria angustifolia*.



FONTE: Adaptado de GOOGLE (2019).

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.

Local	Município	Altitude média	Latitude	Longitude	Precipitação média anual*
A1	Bom Jardim da Serra	1.350 m	28°20'31" S	49°35'10" W	1.670 mm
A2	Painel	1.150 m	27°53'57" S	50°07'42" W	1.125 mm
A3	São José do Cerrito	950m	27°42'40" S	50°28'51" W	1.570 mm

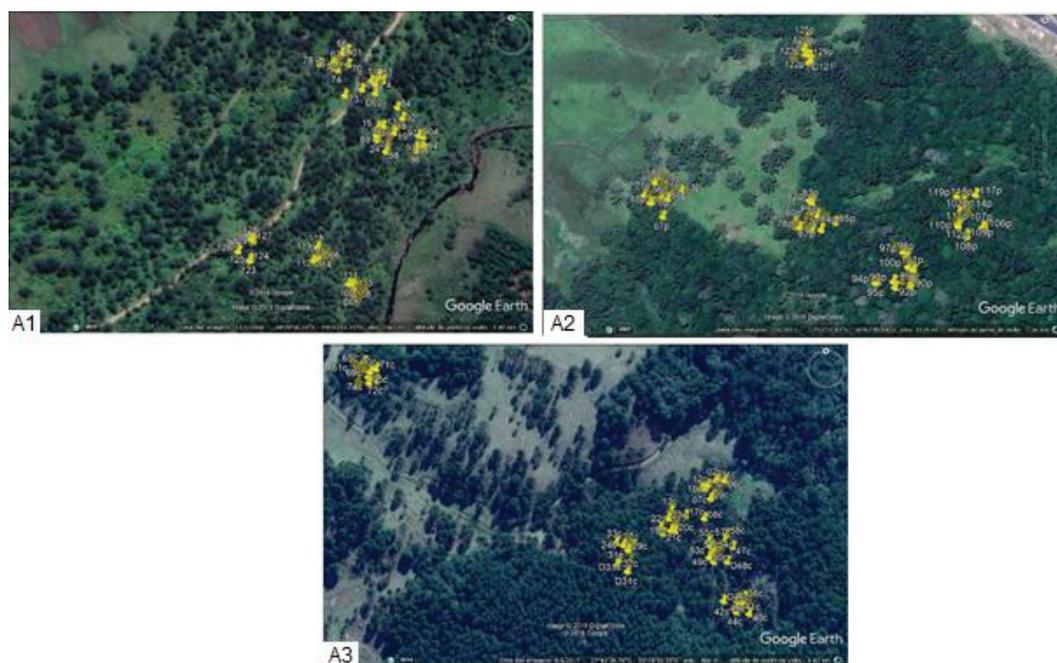
NOTA: \*(EPAGRI, 2002).

O clima nas três áreas é caracterizado, segundo Köppen, como sendo predominantemente do tipo Cfb temperado propriamente dito, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C (mesotérmico), com possibilidades de geadas (EPAGRI, 2002).

## 2.2 MENSURAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

As unidades de amostra contendo as árvores de araucária para mensuração de dados foram selecionadas por processo de amostragem aleatório, empregando-se o método de Bitterlich, com fator de área basal (FAB) 2. Foram amostradas 77, 93 e 77 árvores, nas áreas 1, 2 e 3, respectivamente, totalizando 247 árvores. Na Figura 2 é possível observar os indivíduos em cada uma das áreas estudadas.

FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE *Araucaria angustifolia* AMOSTRADAS NAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO (A1, A2, A3).



FONTE: A autora (2020).

A suficiência amostral para estimar o volume indicou representativo o número de pontos em cada local de amostragem, que foram 7 em Bom Jardim da Serra (A1), 6 em Painel (A2) e 6 em São José do Cerrito (A3).

Todas as árvores receberam etiqueta de identificação e foram realizadas as seguintes medições das variáveis dendrométricas:

(i) Circunferências a 1,30 m do solo (cap), posteriormente convertidas em diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP).

(ii) Altura total (h) e de inserção de copa (hi), medidas com auxílio do aparelho Trupulse.

(iii) Raios de copa: medidos com uma bússola e com auxílio do Trupulse, em quatro direções dos pontos cardeais, com intervalo de 90 graus (N, S, L e O), sendo a média aritmética dos quatro raios determinada como raio de copa (em metros).

O número de árvores por hectare (N) e a área basal (G) foram estimados conforme o método de Bitterlich, apresentado por Soares, Paula Neto e Souza (2011).

Para a obtenção do número de árvores por hectare, usou-se a equação (1):

$$N = FAB * \sum(1/g_i) \quad (1)$$

onde:

$N$  = número de árvores ha<sup>-1</sup>;

$FAB$  = Fator de área basal;

$g_i$  = área transversal.

O cálculo da estimativa de área basal foi realizado usando a equação (2):

$$G = m * FAB \quad (2)$$

onde:

$G$  = Área basal em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>;

$m$  = número de árvores incluídas na unidade amostral;

$FAB$  = Fator de área basal.

Os cálculos foram realizados para cada parcela individualmente e, posteriormente, obtidas as médias para cada uma das áreas, separadamente.

Para descrever as relações interdimensionais das árvores, foram obtidas as seguintes variáveis morfométricas:

(i) Área de projeção de copa (ac): utilizando a média dos quatro raios de copa ao quadrado, multiplicando pelo valor de pi e, ao final, dividindo-a por 4 ( $(rc^2 * \pi)/4$ );

(ii) Proporção de copa (%) ou percentagem de copa (pc): relação entre o comprimento da copa e a altura total da árvore ( $(cc/h) * 100$ );

(iii) Formal de copa (fc): razão entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa ( $dc/cc$ );

(iv) Grau de esbeltez (ge): razão entre a altura total das árvores e o diâmetro a 1,30 m de altura do solo ( $h/dap$ );

(v) Índice de abrangência (ia): razão entre o diâmetro da copa e a altura total ( $dc/h$ ); e

(vi) Índice de saliência (is): razão entre o diâmetro da copa e o diâmetro a 1,30 m de altura do solo ( $dc/dap$ ).

### 2.3 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO

As correlações de Pearson foram estabelecidas entre as variáveis morfométricas e dendrométricas avaliadas, com nível de significância de 95%. A significância da média das variáveis mensuradas entre locais foi analisada por meio do teste de Kruskal-Wallis.

### 2.4 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Foram testados 9 modelos para o ajuste das relações h/DAP para cada local (Tabela 2), sendo a melhor equação obtida mediante ajustes comparativos dos parâmetros.

Para seleção do melhor modelo analisou-se o ajuste de cada equação comparativamente, observando os critérios estatísticos definidos pelo: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa ( $S_{yx}\%$ ), valor de F, Critério de Akaike (AIC), valor ponderado dos escores estatísticos e a distribuição gráfica dos resíduos.

TABELA 2 - EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS TESTADAS.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * DAP^2$	Modelo Parabólico
2	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 * Ln DAP$	Stofells
3	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 * (1/DAP)$	Curtis
4	$h = \beta_0 + \beta_1 * (1/DAP)$	Curtis
5	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * (1/DAP)$	-
6	$h = \beta_0 + \beta_1 * (1/DAP) + \beta_2 * (1/DAP)$	-
7	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * (1/DAP) + \beta_3 * DAP^2$	-
8	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP$	-
9	$h = \beta_0 + \beta_1 * DAP + \beta_2 * (1/DAP) + \beta_3 * DAP^3$	-

FONTE: Schneider (1998).

NOTA: DAP = diâmetro à 1,30 metros de altura do solo (cm); h = altura total (m);  $\beta_0, \dots, \beta_3$  = coeficientes ajustados; Ln = Logaritmo natural.

## 2.5 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA

A fração de ocupação (F. Ocup.) pela copa foi calculada com base na área de copa para 1 hectare, adaptada de Assmann (1970), conforme equação 3:

$$F. Ocup. = (N * ac)/10.000 \quad (3)$$

Onde:

$N$  = número de árvores  $ha^{-1}$ ;

$ac$  = área de projeção de copa ( $m^2$ ).

Para avaliar o grau de ocupação para cada local, as árvores foram agrupadas de acordo com seus respectivos diâmetros em estrato inferior ( $10 \leq DAP < 40$  cm), estrato médio ( $40 \leq DAP < 60$  cm) e estrato superior ( $DAP \geq 60$  cm) (DANIEL; HELMS; BAKER, 1979; FELFILLI, 1997; ASNER et al., 2002; FELDPAUSCH et al., 2011; BRAZ et al., 2015).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS

A análise descritiva dos parâmetros dendrométricos e morfométricos das 247 árvores de araucária estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - ANÁLISE DESCRITIVA DOS PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MORFOMÉTRICOS PARA AS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO PARA A ESPÉCIE *Araucaria angustifolia*.

Local	S	N	G	DAP médio	DAP máximo	h média
A1	77	362	22,0	32,6	55,1	15,1
A2	93	232	31,0	49,6	88,2	18,7
A3	77	403	25,67	33,8	59,8	16,2

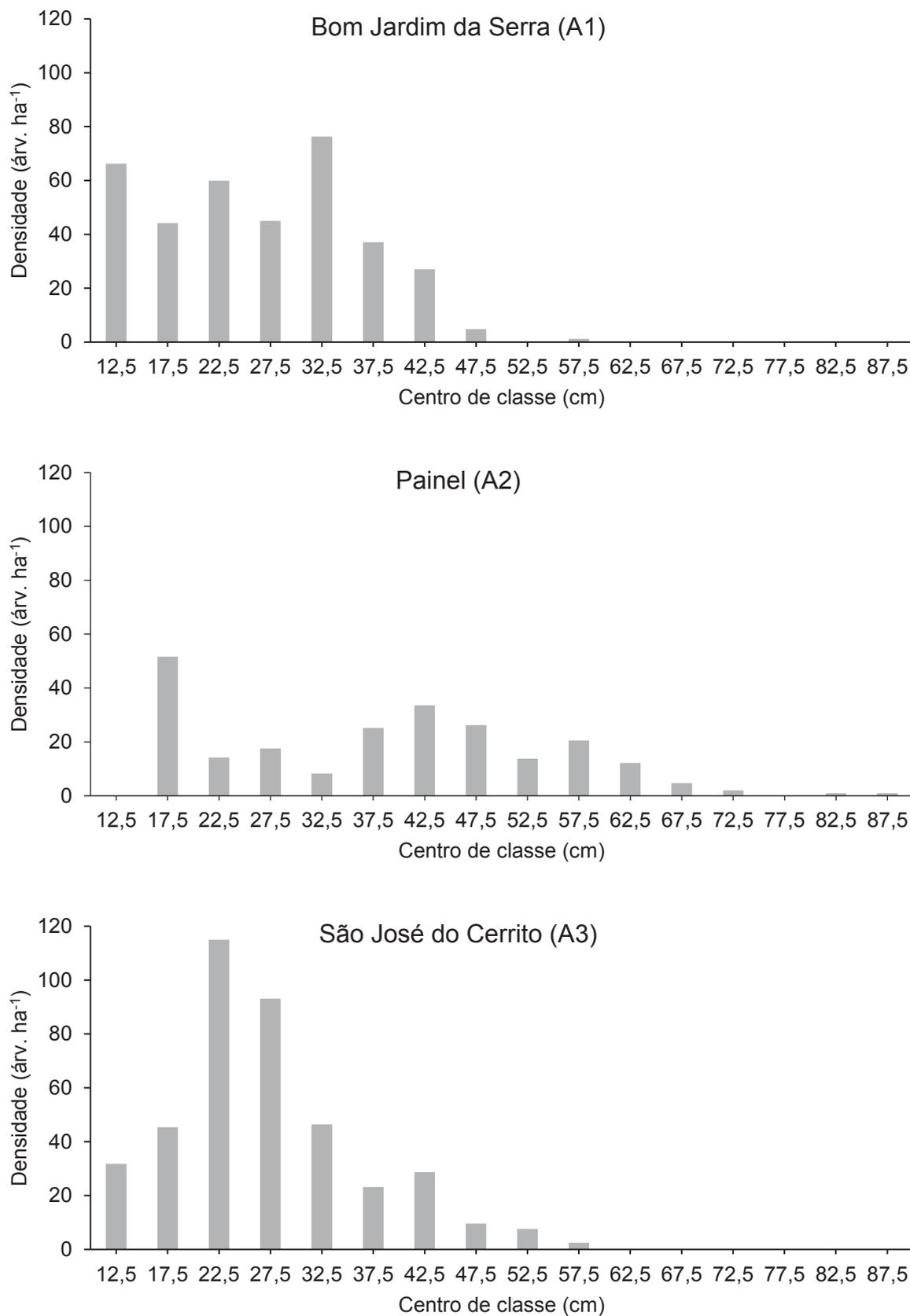
FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito; S = número de amostras; N = densidade (árvores ha<sup>-1</sup>); G = área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); h = altura total (m).

No estudo das características dendrométricas e morfométricas de *Araucaria angustifolia*, a mensuração de 247 árvores mostrou diferentes distribuições diamétricas resultantes de cada um dos locais (Figura 3).

Os diâmetros a 1,30 m do solo (DAP) variaram entre 12,7 e 55,1 cm (A1), 17,8 e 88,2 cm (A2) e 11,6 e 59,8 cm (A3) e as alturas (h) entre 8,0 e 23,2 m (A1) 9,2 e 27,7 m (A2) e 7,2 m e 23,7 m (A3). A área basal (G) encontrada para as áreas 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 22,0, 31,0 e 25,67 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>.

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA DE *Araucaria angustifolia* NAS TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

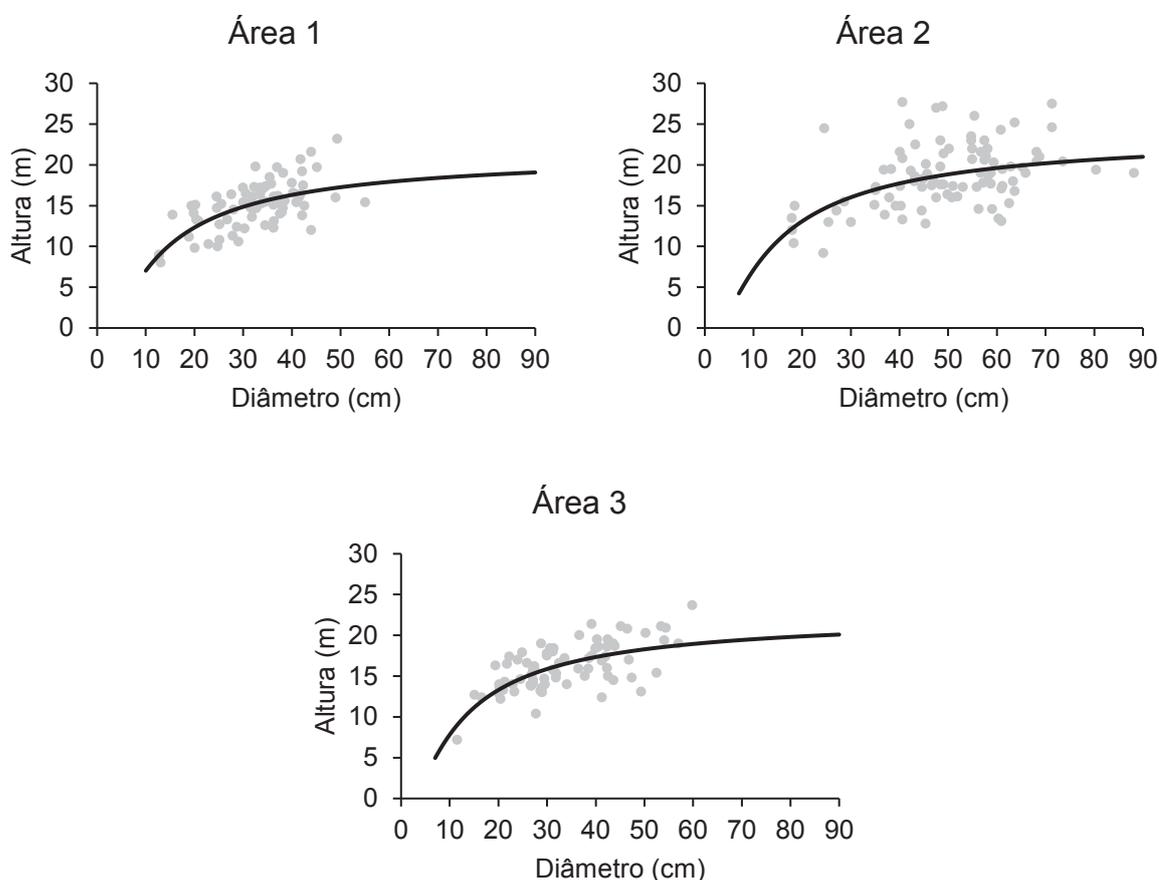


FONTE: A autora (2020).

Foi observada diferença em relação aos diâmetros encontrados em cada uma das áreas, sendo que, na área 2, não foram encontrados indivíduos com  $10 \text{ cm} \geq \text{DAP} > 15 \text{ cm}$ . As áreas 1 e 3 apresentaram semelhanças em relação às classes maiores, não sendo registrados indivíduos com  $\text{DAP} > 60 \text{ cm}$ , apenas na área 2.

Os valores de DAP e altura mensurados são apresentados na Figura 4, bem como as equações hipsométricas ajustadas para cada local. A melhor equação hipsométrica ajustada para as três áreas foi a de Curtis.

FIGURA 4 - ALTURA (h) E DIÂMETRO À 1,30 M DO SOLO (DAP) E RELAÇÕES h/DAP AJUSTADAS (EQUAÇÃO DE CURTIS) PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painei; Área 3 = São José do Cerrito.

Os coeficientes e parâmetros obtidos no ajuste das equações hipsométricas são apresentados na Tabela 4, sendo que a melhor equação para as três áreas foi a de Curtis.

TABELA 4 - COEFICIENTES E CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES HIPNOMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia*, PARA TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Local	Equação	Coeficientes				Parâmetros			
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$	F	AIC
A1	1	4,3728	0,4742	-0,0042	-	0,4045	15,01	26,81	126,0
	2	1,1367	0,4523	-	-	0,4513	5,68	63,52	-288,2
	<b>3</b>	<b>3,0728</b>	<b>-11,2411</b>	-	-	<b>0,4598</b>	<b>5,63</b>	<b>65,68</b>	<b>-289,4</b>
	4	20,1191	-149,2159	-	-	0,3985	15,10	51,35	127,8
	5	14,8234	0,0976	-86,5994	-	0,4045	15,02	26,81	126,0
	6	17,5976	-109,9184	0,0011	-	0,4032	15,04	26,68	126,2
	7	9,6300	0,2902	-44,9541	-0,00219	0,3973	15,11	17,70	125,9
	8	8,2081	0,2109	-	-	0,3901	15,21	49,61	128,9
	9	5,4800	0,3538	-0,00021	-0,00004	0,3967	15,12	17,66	126,0
A2	1	7,0742	0,3811	-0,00275	-	0,1942	18,71	12,09	232,9
	2	1,6355	0,3294	-	-	0,2436	6,45	30,63	-310,5
	<b>3</b>	<b>3,17876</b>	<b>-12,15501</b>	-	-	<b>0,2592</b>	<b>6,38</b>	<b>33,20</b>	<b>-312,4</b>
	4	23,0859	-195,6371	-	-	0,2030	18,61	24,43	232,9
	5	22,7835	0,0038	-190,47980	-	0,1941	18,71	12,08	232,9
	6	23,0929	-195,7932	-0,0000013	-	0,1941	18,71	12,08	232,9
	7	14,9247	0,1985	-98,59034	-0,00146	0,1870	18,79	8,06	232,7
	8	12,9336	0,1161	-	-	0,1642	19,06	19,07	237,3
	9	4,0750	0,5991	-0,00746	0,00003	0,1875	18,79	8,08	232,6
A3	1	8,4178	0,2954	-0,00176	-	0,4024	13,58	26,59	121,3
	2	1,4900	0,3685	-	-	0,4273	5,10	57,69	-300,7
	<b>3</b>	<b>3,11833</b>	<b>-10,61020</b>	-	-	<b>0,4636</b>	<b>4,93</b>	<b>66,68</b>	<b>-305,7</b>
	4	21,2841	0,7242	-	-	0,4197	13,38	55,96	120,1
	5	16,8892	0,0726	-95,55750	-	0,4258	13,31	29,18	118,2
	6	18,5861	-106,5031	0,00089	-	0,4310	13,25	29,79	117,5
	7	36,2947	-0,6072	-260,4127	0,00717	0,4424	13,12	21,10	114,9
	8	10,4600	0,1695	-	-	0,4036	13,57	52,43	122,2
	9	-3,4853	1,4587	-0,03665	0,0003	0,4393	13,16	20,85	115,4

FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  e  $\beta_3$  = coeficientes ajustados;  $R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro padrão da estimativa (%); F = valor calculado do teste F; AIC = critério de informação de Akaike. Em negrito estão destacadas as equações com melhores ajustes para cada local.

Os índices morfométricos por área são apresentados na Tabela 5, bem como a análise de significância entre as variáveis mensuradas em campo.

TABELA 5 - PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS E MORFOMÉTRICOS DE *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS COM ALTITUDES DISTINTAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Área 1 (N = 362 árv. ha <sup>-1</sup> )										
	DAP	h	hi	dc	ac	pc	is	ge	ia	fc
Média	32,6a	15,1a	12,5a	6,5a	38,0	17,2	0,2	0,5a	0,4	3,2
Sd.	8,8	2,9	2,7	2,4	25,2	10,5	0,1	0,1	0,1	1,6
Mín.	12,7	8,0	3,5	1,8	2,4	3,0	0,1	0,3	0,1	0,7
Máx.	55,1	23,2	18,7	12,1	114,0	65	0,3	0,9	0,8	6,9
Área 2 (N = 232 árv. ha <sup>-1</sup> )										
Média	49,6b	18,8b	13,5a	9,7b	79,8	27,1	0,2	0,4b	0,5	2,4
Sd.	13,7	3,8	2,3	2,8	43,4	10,6	0,04	0,1	0,2	1,6
Mín.	17,83	9,2	8,2	1,8	2,4	2,7	0,1	0,2	0,1	0,3
Máx.	88,2	27,7	21	16,7	217,7	49,2	0,3	1,0	1,0	10,1
Área 3 (N = 403 árv. ha <sup>-1</sup> )										
Média	33,8a	16,2a	7,2b	6,6a	36,9	54,5	0,2	0,5a	0,4	0,8
Sd.	10,8	2,8	2,1	2,0	22,4	13,7	0,03	0,1	0,1	0,3
Mín.	11,55	7,2	2,5	2,8	5,9	16,9	0,1	0,3	0,2	0,3
Máx.	59,84	23,7	13,3	11,9	110,3	84,8	0,3	0,8	0,8	2,9

FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painel; Área 3 = São José do Cerrito; N = densidade da população; Sd. = desvio padrão; Min. = mínimo; Máx. = máximo; DAP = diâmetro à 1,30 m de altura do solo (cm); h = altura total (m); hi = altura de inserção da copa (m); dc = diâmetro de copa (m); ac = área de copa (m<sup>2</sup>); pc = proporção de copa (%); is = índice de saliência; ge = grau de esbeltez; ia = índice de abrangência; fc = formal de copa. Letras diferentes na coluna representam diferença significativa a um nível de 0,05 de probabilidade segundo o teste de Kruskal-Walis.

O grau de esbeltez (ge) médio foi semelhante entre as áreas, com variação de 0,4 a 0,5 e uma dispersão homogênea em torno da média (20% a 25%). Apenas uma árvore na área 2 teve grau de esbeltez igual a 1.

A proporção de copa (pc), dada pela relação entre comprimento da copa (cc) e altura total (h), variou de 17,2% (área 1) a 54,5% (área 3). Apesar do valor médio de pc ser menor na área 1, esta área apresentou dispersão em torno da média (61,05%), superior à área 2 (39,11%) e área 3 (25,14%). Na área 3, 46 árvores (o que representa 59,7%) apresentaram pc superior a 50%, indicando que as árvores neste local necessitam de maior porcentagem do tronco com copa para manter a vitalidade. Nos demais locais a pc foi inferior a 50% (99,4% dos indivíduos) explicada, em parte, pela maior altura de inserção de copa (hi).

Grande parte das variáveis morfométricas e dendrométricas avaliadas nesse estudo tiveram correlação significativa com o DAP (Tabela 6).

TABELA 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DENDROMÉTRICAS DE *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Área 1											
	Média	Sd.	DAP	h	hi	dc	pc	ac	fc	is	ge
DAP	32,63	8,78	-								
h	15,09	2,94	0,63*	-							
hi	12,47	2,70	0,43	0,84*	-						
dc	6,57	2,36	0,70*	0,48*	0,22	-					
pc	17,22	10,54	0,25	0,08	-0,46*	0,38	-				
ac	37,98	25,17	0,66*	0,41	0,18	0,98*	0,33	-			
fc	3,23	1,58	-0,08	-0,22	0,22	-0,11	-0,75*	-0,07	-		
is	0,20	0,06	-0,01	0,12	-0,05	0,64*	0,29	0,62*	-0,11	-	
ge	0,48	0,12	-0,72*	-0,03	0,06	-0,46*	-0,18	-0,44*	-0,15	0,12	-
ia	0,44	0,15	0,44*	0,004	-0,21	0,85*	0,39	0,86*	-0,03	0,65*	-0,47*
Área 2											
DAP	49,99	13,66	-								
h	18,79	3,82	0,38	-							
hi	13,47	2,34	0,10	0,71*	-						
dc	9,71	2,82	0,82*	0,20	-0,08	-					
pc	27,07	10,61	0,48*	0,58*	-0,15	0,42*	-				
ac	79,83	43,41	0,81*	0,19	-0,06	0,98*	0,38	-			
fc	2,43	1,57	-0,28	-0,63*	-0,15	-0,08	-0,77*	-0,06	-		
is	0,20	0,04	-0,24	-0,22	-0,25	0,21	-0,06	0,16	0,25	-	
ge	0,40	0,14	-0,72*	0,24	0,36	-0,66*	-0,14	-0,60*	-0,04	0,1	-
ia	0,53	0,16	0,46*	-0,44*	-0,51*	0,75*	0,01	0,74*	0,32	0,32	-0,71*
Área 3											
DAP	33,81	10,77	-								
h	16,19	2,84	0,64*	-							
hi	7,22	2,14	-0,04	0,25	-						
dc	6,6	1,95	0,87*	0,52*	-0,21	-					
pc	54,54	13,74	0,41	0,35	-0,81*	0,49*	-				
ac	36,91	22,39	0,84*	0,48*	-0,23	0,98*	0,48*	-			
fc	0,8	0,34	0,14	-0,31	0,37	0,21	-0,56*	0,20	-		
is	0,2	0,03	-0,11	-0,20	-0,19	0,21	0,05	0,22	0,22	-	
ge	0,51	0,13	-0,81*	-0,16	0,24	-0,74*	-0,33	-0,70*	-0,34	0,01	-
ia	0,4	0,11	0,54*	-0,11	-0,35	0,76*	0,26	0,76*	0,49*	0,36	-0,71*

FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painei; Área 3 = São José do Cerrito; \* = significativo a 95% de probabilidade; Sd. = desvio padrão; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); h = altura total (m); hi = altura de inserção de copa (m); dc = diâmetro de copa (m); pc = proporção de copa; ac = área de projeção de copa (m<sup>2</sup>); fc = formal de copa; is = índice de saliência; ge = grau de esbeltez; ia = índice de abrangência.

Nas áreas 1 e 3, verificou-se que, à medida que aumentou o DAP, a altura total, o diâmetro de copa, a área de copa e o índice de abrangência também aumentaram, resultando em uma correlação positiva. A maior correlação com o DAP foi verificada com a variável diâmetro de copa, sendo 0,70 para a área 1 e 0,87 para a área 3.

Para a área 2, verificou-se correlação positiva entre o DAP e o diâmetro de copa, proporção de copa, área de copa e o índice de abrangência. A maior correlação foi com o diâmetro de copa (0,82).

O grau de esbeltez apresentou correlação negativa nos três locais analisados, sendo os valores de -0,72 para as áreas 1 e 2, e -0,81 para a área 3.

O grau de esbeltez é uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores. Quanto mais alto o grau de esbeltez, tanto mais instável é a árvore, podendo indicar instabilidade contra o vento, ou mesmo servir como indicativo de desbastes em atraso, especialmente em povoamentos puros e equiâneos (DURLO; DENARDI, 1998).

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA

Com base na área de projeção de copa, calculou-se a fração de ocupação que as copas representam na área, indicando como estariam as copas se elas fossem colocadas em uma superfície (Tabela 7).

TABELA 7 - FRAÇÃO DE OCUPAÇÃO DE COPA CONSIDERANDO O TOTAL DE CLASSES DIAMÉTRICAS E CONSIDERANDO SOMENTE ÁRVORES DE *Araucária angustifolia* COM DAP  $\geq$  40 CM, EM TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Local	Todas as classes diamétricas		Acima de 40 cm de DAP	
	N (árv. ha <sup>-1</sup> )	Fração de ocupação	N (árv. ha <sup>-1</sup> )	Fração de ocupação
A1	362	1,37	33	0,2
A2	232	1,85	115	1,4
A3	403	1,49	48	0,3

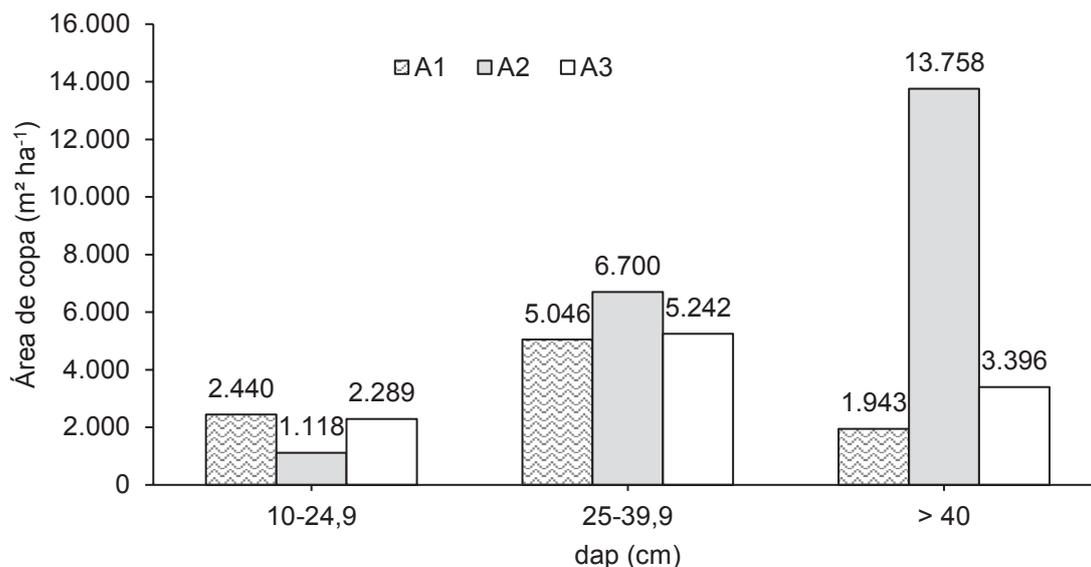
FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito; N = Densidade.

No cálculo onde foram consideradas todas as classes diamétricas presentes nas áreas, encontrou-se, nos três locais, fração de ocupação acima de 1, indicando que as copas ultrapassaram a área do hectare.

Quando se utilizou somente as árvores com DAP  $\geq 40$  cm para análise, o índice de ocupação reduziu nas áreas 1 e 3, porém manteve-se ainda elevado na área 2. Pode-se observar na Figura 5 as áreas de projeção de copa, para cada local, de acordo com os agrupamentos por diâmetro/estrato.

FIGURA 5 - ÁREA DE PROJEÇÃO DE COPA POR AGRUPAMENTO E POR DIÂMETRO/ESTRATO PARA *Araucaria angustifolia* NOS TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Paineira; A3 = São José do Cerrito.

Em relação às separações por estrato para a obtenção dos dados de área de projeção de copa, para a área 2 o estrato superior alcançou, em relação aos estratos médio e inferior, respectivamente, valores aproximados de 12,3 e 2,05 vezes. Mesmo considerando os estratos inferior e médio somados, o estrato superior é 1,76 vezes maior em projeção de área de copa.

## 4 DISCUSSÃO

Apesar de algumas árvores apresentarem alturas semelhantes, podem estar em classes diamétricas diferentes, indicando maior investimento da árvore no componente altura. Reitz e Klein (1966), afirmam que a araucária é uma espécie heliófila, em que os indivíduos necessitam de luz para se desenvolver. Assim, quando estão sofrendo o efeito da competição, acabam priorizando o crescimento em altura, para alcançar o índice luminoso de que precisam.

Segundo Zeide (1993), o crescimento resulta da interação de duas forças opostas. O componente positivo representa a tendência de qualquer ser vivo à multiplicação exponencial, estando este componente associado ao potencial biótico, atividade fotossintética, absorção de nutrientes, ao anabolismo etc. E o componente oposto representa as restrições ao crescimento impostas por fatores externos, tais como a competição, respiração, escassez de recursos naturais etc., e internos como os mecanismos de auto regulação, conhecidos como resistência ambiental, metabolismo destrutivo, catabolismo etc.

As diferenças de altitude são fatores influentes sobre a estrutura florestal. Lawton (1982) verificou que o estresse provocado pelo vento faz com que as árvores dispendam mais energia com o seu suporte mecânico, às custas do crescimento em altura. No caso da área 1 desse estudo, é provável que a menor média de altura encontrada seja devido as condições de sítio, e uma resposta adaptativa ao estresse decorrido do vento presente em maior intensidade nessa área de maior altitude.

Além disso, a diversidade de espécies e a estatura da floresta diminuem com o aumento da altitude nas montanhas tropicais (YAMADA, 1977; OHSAWA et al., 1985; GENTRY, 1988; PROCTOR et al., 1988; WEAVER; MURPHY, 1990; NAKASHIZUKA; YUSOP; NIK, 1991; LIEBERMAN et al., 1996).

Em relação ao índice de saliência (*is*), *Araucaria angustifolia*, em todas as altitudes estudadas, apresentou copa com aproximadamente 20 vezes o valor do diâmetro à 1,30 m do solo (DAP). Por outro lado, apesar da área 2 apresentar média de diâmetro de copa (*dc*) superior, a relação de proporcionalidade *dc/DAP* foi semelhante.

Roveda et al. (2012) reportaram índice similar para a relação *dc/DAP* para um plantio de *Araucaria angustifolia* com 65 anos, quando o diâmetro de copa foi, em média, 23,7 vezes a dimensão do DAP. Hess et al. (2016) estudando a espécie no Sul

do Brasil, encontraram uma variação de 12,8 a 23,6 para diferentes locais e diâmetro de copa médio em torno de 20 vezes o DAP. Klein et al. (2017), estudando morfometria de *Araucaria angustifolia* em São José do Cerrito no planalto catarinense, encontraram índice de saliência variando de 19,82 a 26,49 para árvores em diferentes posições sociológicas.

Para Sterba (1992), um menor valor no índice de saliência significa que a árvore possui, proporcionalmente, maior área de superfície de copa, sendo mais eficiente na utilização do espaço, considerando para isto uma dada área de projeção de copa. Assim, à medida que aumenta o diâmetro, a tendência do índice de saliência é diminuir, indicando a necessidade de desbaste do povoamento.

Segundo Brüchert e Gardiner (2006), a mecânica das árvores é amplamente controlada pela forma externa da árvore, que é ajustada para equilibrar a estabilidade das árvores com a força do vento e os requisitos da árvore para fotossíntese. De acordo com esses autores, as árvores expostas ao vento, geralmente, apresentam menor porte, sendo mais afiladas em direção ao topo. Essa adaptação das árvores garante maior rigidez à flexão na base do caule devido ao maior diâmetro e maior flexibilidade na região da copa. A presença do vento em maior intensidade nas áreas de altitudes elevadas, como é o caso da área 1, pode explicar, em parte, a menor proporção de copa encontrada, onde o alongamento dos galhos de algumas espécies pode ser retardado pela exposição ao vento (LAWTON, 1982).

Outro fator presente na araucária é a desrama natural. Quando um galho é sombreado pela copa acima e pelas concorrentes vizinhas, ele reduz a produção fotossintética e logo é desconectado do sistema de abastecimento de assimilados (NUTTO; SPATHELF, 2003). Sendo assim, árvores com grandes DAP tendem a ter comprimentos de copa mais curtos, quando comparados com outras espécies (COSTA; FINGER; FLEIG, 2016; CISNEROS; MOGLIA; ÁLVAREZ, 2019).

A observância do índice grau de esbeltez ( $ge$ ) para árvores individuais revela que poucos indivíduos apresentaram  $ge > 0,5$ , indicando que a maior parte das árvores estão crescendo mais em diâmetro do que em altura.

Tonini e Arco-Verde (2005) expuseram que uma relação  $h/DAP$  superior a 1,0 pode indicar a necessidade de desbaste, pois o crescimento em diâmetro é reduzido em relação à altura. Apesar do grau de ocupação ser elevado nas três áreas estudadas, o valor da relação não se aproximou de 1. Isso pode ser explicado pela

estabilidade da altura máxima e pouca produtividade em diâmetro, indicando valores menores na relação hipsométrica.

À medida que a árvore fica mais velha, as diferenças entre a relação h/DAP tende a diminuir gradualmente. Isto se deve ao fato que, após as árvores atingirem o seu clímax, a altura estabiliza, apesar do diâmetro continuar crescendo. Como resultado, as mudanças na relação h/DAP passam a ser gradualmente menos significativas (FINGER, 1992).

O formal de copa (fc), expresso pela razão entre o diâmetro de copa e seu comprimento, variou de 0,8 (área 3) a 3,24 (área 1). Assmann (1970) expõe que o fc indica o grau de achatamento das copas das árvores (fc < 1 = copas esbeltas; fc > 1 = copas achatadas) e, quanto menor for esse índice, melhor será a produtividade da árvore. Constatou-se que 87% das árvores da área 3 possuíam fc < 1, indicando possivelmente árvores de maior produtividade e copas mais esbeltas, enquanto as áreas 1 (98,7%) e 2 (95,7%) tiveram a maior parte das árvores com copas mais achatadas (fc > 1).

Costa, Finger e Fleig (2016) relataram que o formal de copa de *A. angustifolia* é fortemente alterado com o decorrer do crescimento. Silva et al. (2017), pesquisando um plantio de *A. angustifolia* (40 anos), encontraram fc > 1 para todas as árvores, afirmando ser uma característica comum em indivíduos adultos da espécie. Roveda et al. (2012) reportaram grande variabilidade de fc para *A. angustifolia*, com média de 2,15, e afirmaram que o índice pode ser utilizado na seleção das árvores para desbaste, devendo ser retiradas aquelas com maior formal de copa. Um baixo valor de formal de copa significa que a árvore para uma dada área de projeção de copa tem disponível mais área de superfície de copa (área de assimilação) e, por isso, provavelmente ocupe o espaço mais eficientemente que uma árvore com maior formal de copa (ASSMANN, 1970).

Nas três áreas estudadas as maiores correlações positivas foram observadas entre as variáveis diâmetro da copa e área da copa, e isto está relacionado à dependência entre as variáveis (SILVA et al., 2017).

O diâmetro da árvore apresentou correlação negativa e superior a 70% com o grau de esbeltez, evidenciando que as árvores crescem mais em altura do que em diâmetro, nas três áreas, tendo relação com a estabilidade das árvores, a competição e o sítio (HESS et al., 2016). SILVA et al. (2017), em um plantio de *A. angustifolia* com 40 anos, encontraram correlação de -0,81, entre DAP e ge, mostrando que com o

aumento em diâmetro, o grau de esbeltez diminui e ocorre o aumento na estabilidade dos indivíduos.

A média de proporção de copa (pc) apresentou correlação negativa com altura de inserção de copa (hi) para a área 1 (-0,46) e área 3 (-0,81). Klein et al. (2017), em estudo realizado com *A. angustifolia*, também encontraram correlação negativa entre a proporção de copa e hi (-0,86), e indicaram que os valores discrepantes se referem a fatores genéticos, qualidade de sítio, grau de competição e condições biológicas e edafoclimáticas.

Nos três locais, o DAP apresentou relação positiva com o diâmetro de copa (dc), indicando que, à medida que a árvore aumenta em DAP, o diâmetro de copa também aumenta. Da mesma forma, quanto maior o dc maior foi a pc, para as áreas 2 e 3. Para a relação dc e DAP, Volkart (1969) encontrou coeficiente de correlação de 0,958. Zechini (2012) encontrou também valores positivos que estiveram acima de 0,944. À medida que as árvores crescem em DAP, a dimensão de suas copas também aumenta, diminuindo, assim, o grau de esbeltez da árvore; ou seja, seu desenvolvimento é favorecido, garantindo sua posição no estrato dominante da floresta (KLEIN et al., 2017).

Na área 2 a fração de ocupação observada é elevada (Tabela 7). Em povoamentos fechados, as árvores dominadas com o tempo vão sendo sombreadas e podem ser cobertas pelas copas de suas árvores vizinhas.

A ausência de árvores nas classes menores pode ser explicada pela fração de copa, que foi elevada na área, não permitindo a entrada de luz. Assim, com a ausência ou escassez de regeneração, aliada à mortalidade de árvores adultas, é possível que a população de *A. angustifolia* tenha um decréscimo do crescimento.

Em florestas mistas, as copas estão em contato e sobrepostas umas às outras. Isso faz com que a área ocupada pelas copas represente quando somadas muito mais do que onde a floresta está inserida. Na área 2, a fração de ocupação de copa é quase o dobro (1,85), indicando que grande parte dessas copas estão sobrepostas. Essa grande ocupação pode comprometer a regeneração, possivelmente pela barreira enfrentada pela luz para penetrar no sub-bosque (CLARK; CLARK, 1987; REITZ; KLEIN, 1966; DUARTE; DILLENBURG, 2000). Da mesma forma, quando se considera apenas os indivíduos adultos (DAP  $\geq$  40 cm), a área ainda apresenta uma fração de ocupação elevada (Tabela 7), o que pode comprometer o crescimento, em decorrência da competição. O aumento progressivo da competição

provoca uma redução no tamanho da copa e na eficiência dos ramos, O que resulta em declínios na produção de madeira (LARSON, 1963).

Em relação as separações por estrato para obtenção dos dados de área de projeção de copa por hectare, a área 2 apresentou valores elevados, o que indica dificuldade de regeneração nessa área.

A área 2 apresentou 64% do teto de cobertura. De acordo com os conceitos apresentados por Assmann (1970), a área florestal do local 2 estaria em estágio de produção completa (>50% do teto de cobertura), ou seja, a população já atingiu seu máximo desenvolvimento para área e está super estocada. Segundo o mesmo autor, as áreas 1 e 3 encontram-se em estágio de reestoqueamento. Entretanto, deve-se verificar se existe outra limitação ambiental para o estabelecimento e crescimento de *A. angustifolia* que possa estar influenciando a estrutura horizontal da espécie.

## 5 CONCLUSÕES

A menor média de altura encontrada na área 1 (1.350 m de altitude) pode estar associada ao sítio, e em parte, com uma resposta adaptativa da espécie às condições de maior altitude do ambiente.

A área 2 (1.150 m) apresentou poucos indivíduos nas classes diamétricas iniciais, indicando deficiência de regeneração natural e, por conseguinte, um possível comprometimento no suprimento de *Araucaria angustifolia* para as maiores classes de diâmetro, no decorrer do tempo.

Nas áreas 1 (1.350 m) e 3 (950 m) foram obtidas correlações positivas do diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) com altura total, diâmetro de copa, área de copa e índice de abrangência. Na área 2 as correlações positivas do DAP foram com o diâmetro de copa, proporção de copa, área de copa e índice de abrangência. As correlações de DAP com o grau de esbeltez foram negativas para as três áreas.

A ausência de correlação do DAP com altura na área 2 pode ser explicada pela influência das árvores do estrato superior. Após as árvores atingirem seu clímax, o incremento em altura proporcionalmente sofre uma redução maior que o incremento em diâmetro.

## REFERÊNCIAS

ASNER, G. P.; PALACE, M.; KELLER, M.; PEREIRA JR., R.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J. C. Estimating canopy structure in an Amazon forest from laser range finder and IKONOS satellite observations. **Biotropica**, v. 34, n. 4, p. 483-492, 2002.

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. Oxford, New York: Pergamon Press, 1970.

BRAZ, E. M. ; MATTOS, P. P.; THAINES, F.; MADRON, L. D.; GARRASTAZU, M. C.; CANETTI, A.; D'OLIVEIRA, M. V. N. Criteria to be considered to achieve a sustainable second cycle in Amazon Forest. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 209-225, 2015.

BRÜCHERT, F.; GARDINER, B. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae), v. 93, n. 10, p. 1512-1521. 2006.

CHEN, Q.; BALDOCCHI, D.; GONG, P.; KELLY, M. Isolating individual trees in a savanna Woodland using small footprint lidar data Photogramm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.72, n. 8, pp. 923-932, 2006.

CISNEROS, A. B.; MOGLIA, J. G.; ÁLVAREZ, J. A. Morfometría de copa em *Prosopis alba* Griseb. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 1-22. 2019.

CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Análisis de la regeneración de árboles del dossel em bosque muy húmedo tropical: aspectos teóricos Y prácticos. **Revista de Biología Tropical**, v. 35, supl.1, p. 41-54, 1987.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, 2016.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seedlings to different irradiance levels. **Australian Journal of Botany**, v.48, p. 531-537. 2000.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

EPAGRI. **Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense**: UPR 3. Florianópolis: EPAGRI/CIRAM, 2002. 70p.

FELDPAUSCH, T. R. et al. Height-diameter allometry of tropical forest trees. **Biogeosciences Discussions**, v. 7, p. 7727-7793, 2011.

FELFILLI, J. M. Diameter and height distributions in a gallery forest tree community and some of its main species in central Brazil over a six-year period (1985-1991). **Brazilian Journal of Botany**, v. 20, n. 2, p. 155-162, 1997.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS: Ed. UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

GENTRY, A. H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographic gradients. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 75, n. 1, pp. 1-34. 1988.

GOOGLE. Google website. <http://google.com.br/>, 2019.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I. A.; NASCIMENTO, B. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil. **Bosque** (Valdivia), v. 37, n. 3, p. 603-611, 2016.

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.

KOCH, B.; HEYDER, U.; WEINACKER, H. Detection of individual tree crowns in airborne lidar data Photogramm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 4, pp. 357-363, 2006.

KWAK, D. A.; LEE, W.K.; LEE, J.H.; BIGING, G. S.; GONG, P. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. **Journal of Forest Research**, v. 12, pp. 425-434, 2007.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: World consultation on forest and tree improvement, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings**. Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LAWTON, R. O. Wind stress and elfin stature in a montane rain forest tree: an adaptive explanation. **American Journal of Botany**, v.69, pp. 1224-1230. 1982.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação**. In: Geografia do Brasil: Região Sul. v.2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 2, pp. 137-152. 1996.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, 2008.

MÄHLER JUNIOR, J. K. F.; LAROCCA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária. In: Fonseca, C. R. et al. (Ed.); Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Ribeirão Preto: Holos, 2009. p. 243-252.

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608 p.

NAKASHIZUKA, T.; YUSOP, Z.; NIK, A. R. Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**. v. 4, p.233-244, 1991.

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Florestal**, v. 33, n. 3, p. 295-309, 2003.

OHSAWA, M.; NAINGGOLAN, P. H. J.; TANAKA, N.; ANWAR, C. Altitudinal zonation of forest vegetation on Mount Kerinci, Sumatra: with comparison to zonation in the temperate region of east Asia. **Journal of Tropical Ecology**, v.1, pp. 193–216, 1985.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 95- 105, 2010.

PROCTOR, J.; LEE, Y. F.; LANGLEY, A. M.; MUNRO, W. R. C.; NELSON, T. Ecological studies on Gunung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah, Malaysia. I. Environment, forest structure and floristics. **Journal of Ecology**, v. 76, n. 2, pp. 320–340, 1988.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. In: REITZ, R. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473-480, out.-dez., 2009.

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na floresta nacional de São Francisco de Paula-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** [Curitiba]: Malinovski Florestal, 2012.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.

SHIMIZU, J. Y.; JAEGER, P.; SOPCHAKI, S. A. Variabilidade genética em uma população remanescente de araucária no Parque Nacional do Iguaçu, Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 41, p. 18-36, 2000.

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, MG: Ed. UFV, 2011. 272 p.

SOUZA, R. P. M.; POLISEL, R. T.; SOUZA, V. C.; ASSIS, M. C. de; IVANAUSKAS, N. M. Estrutura da comunidade arbórea e aspectos da regeneração natural de remanescentes florestais paulistas com araucária, p. 89-132. In: Cardoso, E. J. B. N & Vasconcellos, R. L. F. (Ed.), **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 266 p.

STERBA, H. **Forstliche ertragslehre**. Universitatfur Bodenkultur. Wien, 160p. 1992.

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.

VALÉRIO, . F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Análise florística e estrutural do componente arbóreo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Clevelndia, Sudoeste do Paraná. **Revista Acadmica: Cincia Animal**, v. 6, n. 2, 2017.

VOLKART, C. M. Determinación de la relación dimetro copa: dimetro tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliottii* en la Provincia de Misiones. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, 1., 1969, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Servicio Nacional Forestal. 1969.

WEAVER, P. L.; MURPHY, P. G. Forest structure and productivity in Puerto Rico's Luquillo mountains. **Biotropica**, v. 22, n. 1, pp. 69-82. 1990.

YAMADA, I. Forest ecological studies of the montane forest of Mt. Pangrango, West Java. IV. Floristic composition along the altitude. **South East Asian Studies**, v. 15, n. 2, pp. 226–254. 1977.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. Florianópolis. 193 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, n. 3, pp. 594-616, 1993.

**CAPÍTULO II - MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO PARA *Araucaria angustifolia* EM DIFERENTES GRADIENTES DE ALTITUDE NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

**RESUMO**

Crescimento é o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em um determinado período. Pode variar de acordo as condições bióticas e abióticas do ambiente. O objetivo deste capítulo foi obter estimativas de idade e incremento médio anual da espécie e descrever o padrão de crescimento da *Araucaria angustifolia* em diferentes locais de ocorrência natural. O estudo abrangeu três áreas com Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina, considerando diferentes altitudes de ocorrência da espécie. Foram coletadas amostras não destrutivas de 226 árvores, sendo 76 na área 1, 73 na área 2 e 77 na área 3. Utilizando as séries cronológicas foram ajustadas modelos de crescimento diamétrico. A partir dos modelos ajustados foram derivadas as curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual, e avaliada a formação das populações ao longo do tempo. O melhor modelo de crescimento para as três áreas foi o Monomolecular. Na área 1 o intervalo de idade das amostras foi de 174 anos, na área 2 foi de 170 anos e na área 3 foi de 42 anos. O incremento médio anual em diâmetro para as áreas 1, 2 e 3 foram de 0,33 cm, 0,51 cm e 1,01 cm, respectivamente.

Palavras-chave: Floresta de Araucária. Dendrocronologia. Altitude.

## ABSTRACT

Growth is the increase in dimensions of one or more individuals in a forest in each period. It may vary according to the biotic and abiotic conditions of the environment. The objective of this chapter was to obtain age estimates and average annual increment of the species and to describe the growth pattern of *Araucaria angustifolia* in different places of natural occurrence. The study covered three areas with Mixed Rainforest in Santa Catarina, considering different altitudes of occurrence of the species. Non-destructive samples were collected from 226 trees, 76 in area 1, 73 in area 2 and 77 in area 3. Using the time series, diametric growth models were adjusted. From the adjusted models the curves of current annual increment and average annual increment, and the formation of population over time was assessed. The best growth model for three areas was Monomolecular. In area 1 the age range of the samples was 174 years, in area 2 it was 170 years and in area 3 it was 42 years. The average annual increment in diameter for areas 1, 2 and 3 were 0.33 cm, 0.51 cm, and 1.01 cm, respectively.

Keywords: Araucaria forest. Dendrochronology. Altitude.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Vanclay (1994) e Prodan et al. (1997), entende-se por crescimento o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em um determinado período. Tais dimensões podem ser: o diâmetro, a altura, o volume, a biomassa, a área basal etc. Já a produção refere-se às dimensões finais ao término de determinado período.

O crescimento é variável com as condições bióticas e abióticas do ambiente, contudo nem todos os métodos serão dinâmicos na estimativa do crescimento e rendimento se não levarem em consideração as interrelações entre variáveis dendrométricas, morfológicas e de densidade na geração de estimativas de produção e do manejo florestal.

A resposta das espécies arbóreas às mudanças do meio ambiente permite que variações de temperatura, umidade, luz etc., fiquem registradas nos anéis de crescimento. Quando as árvores se desenvolvem em condições semelhantes ao longo de um período de anos elas acabam apresentando sincronismo na variação da largura dos seus anéis de crescimento (FRITTS, 1976).

A dendrocronologia é a ciência que estuda os anéis de crescimento, e, a partir dela, é possível conhecer as situações das árvores e populações. A dendrocronologia auxilia no conhecimento da estrutura e dinâmica de florestas nativas (MATTOS et al., 2011), pois os dados obtidos por essa técnica fornecem informações importantes sobre o crescimento das árvores, como por exemplo, pelo conhecimento dos anos favoráveis ao crescimento e os mais limitantes (FRITTS, 1976).

Um dos fatores que pode influenciar o crescimento das árvores é a altitude. Em locais com diferentes condições de altitudes, o comportamento do clima influencia na estrutura da floresta. O vento, presente em áreas de maior altitude, pode provocar estresse nas árvores, fazendo com que elas gastem mais energia com suporte mecânico, à custa do crescimento em altura (LAWTON, 1982). Segundo o mesmo autor, a exposição ao vento também pode retardar o alongamento dos galhos de algumas espécies, influenciando assim na proporção de copa das árvores.

A diversidade de espécies e a estatura da floresta diminuem com o aumento da altitude nas montanhas tropicais. Além disso, outras características fisionômicas, como as características das folhas, também mudam com a altitude (YAMADA, 1977;

OHSAWA et al., 1985; GENTRY, 1988; PROCTOR et al., 1988; WEAVER; MURPHY, 1990; NAKASHIZUKA; YUSOP; NIK, 1991; LIEBERMAN et al., 1996).

O rigor científico para a aplicação da dendrocronologia é essencial para garantir que os dados são consistentes e podem ser aplicados em diversas análises ecológicas da floresta (MIRANDA et al., 2018). Procedimentos como a datação cruzada permitirão identificar falsos anéis e camadas de crescimento ausentes, eliminando essas fontes de erros nas séries de crescimento (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017)

A taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço que a árvore dispõe, sendo esse limitado pelas árvores vizinhas, quando se considera a competição ao nível das copas e das raízes (HILEY, 1959). A competição talvez seja o fator biológico mais importante para o planejamento do manejo florestal, já que quase todas as intervenções estão relacionadas com a manipulação desse fator ou de condições que o afetam (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008).

A competição está diretamente relacionada com o espaço vital que cada árvore tem disponível para o seu desenvolvimento. De acordo com Kramer e Koslowski (1960), as árvores que competem se encontram em uma luta dinâmica pela existência, em que muitas acabam sendo eliminadas devido à seleção natural.

Para conhecer o potencial máximo de crescimento de determinada espécie, é importante conhecer o crescimento de árvores livres de concorrência, aérea ou subterrânea. Além disso, para propor o manejo das florestas e populações florestais, com vistas à sustentabilidade da produção, é importante conhecer não apenas o crescimento volumétrico da madeira, expresso pelo incremento em diâmetro e altura e pela modificação do fator de forma, mas também o crescimento e as modificações da forma da copa (DURLO; SUTILI; DENARDI, 2004).

Até o início do século XX, *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze dominava as paisagens do Sul do Brasil, onde cobria boa parte do Planalto Meridional. Esta espécie é o principal elemento da Floresta com Araucária, também denominada Floresta Ombrófila Mista (KOCH; CORRÊA, 2010).

As florestas com araucária no sul do Brasil concentram-se atualmente nas áreas elevadas, nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, até a região de Misiones, na Argentina (DUTRA; STRANZ, 2009). É encontrada nas regiões serranas e planaltos, em altitudes que variam de 500 a 1.500 metros, podendo

chegar a 2.300 metros de altitude, ocupando áreas não muito íngremes e com boa disponibilidade hídrica (MÄHLER JUNIOR; LAROCCA, 2009).

A araucária é uma espécie que pode viver centenas de anos. Sua idade e sua dinâmica de crescimento podem ser determinadas pelos anéis de crescimento que vão sendo formados no tronco (KOCH; CORRÊA, 2010).

Neste capítulo, o objetivo foi obter estimativas de idade e incremento médio anual em diâmetro da espécie, descrever o crescimento de *Araucaria angustifolia* nos diferentes gradientes de altitude estudados e identificar os pontos de culminação em área basal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em três municípios em Santa Catarina, que são áreas de ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, como descrito no Capítulo 1.

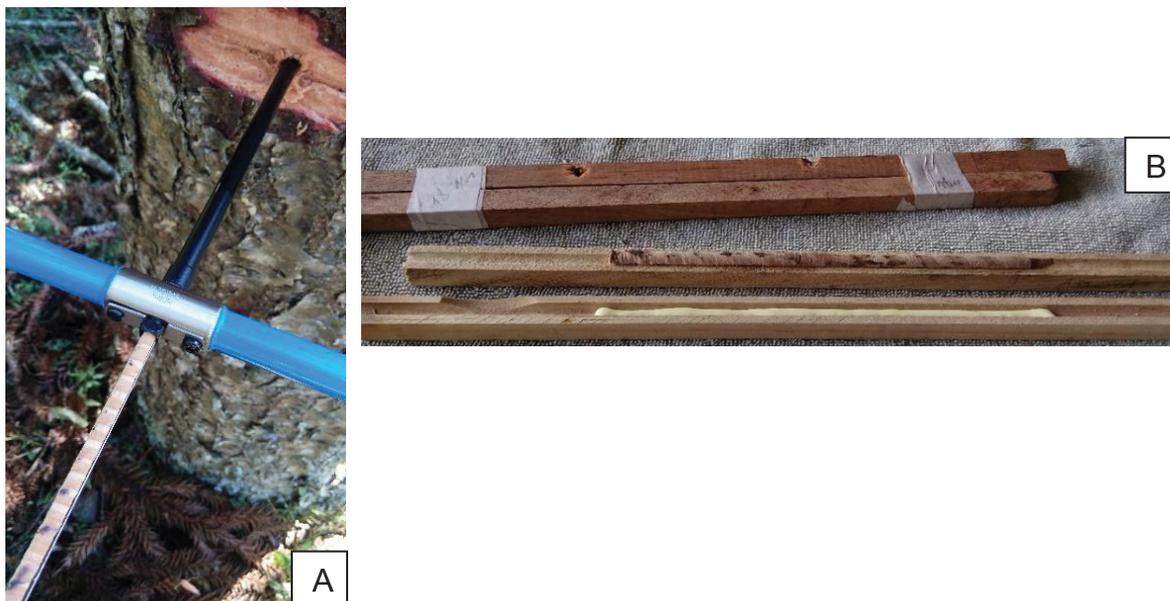
### 2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS

Para a seleção das árvores, empregou-se o processo de amostragem aleatório e o método de Bitterlich, com fator de área basal (FAB) 2. Foram coletadas amostras dendrocronológicas de 226 árvores, sendo 76 em Bom Jardim da Serra (área 1), 73 em Painel (área 2) e 77 em São José do Cerrito (área 3).

Para as análises de crescimento foram coletadas 2 amostras não-destrutivas (rolos de incremento) de cada árvore amostra (Figura 6A). A primeira amostra foi retirada a 1,30 m de altura do solo (diâmetro à altura do peito – DAP) e a segunda a 90° da primeira, deslocado 10 cm.

Os rolos de incremento foram retirados com o Trado de Pressler, após fixados em suporte de madeira com cola e posteriormente enrolados com fita crepe nas extremidades e centro para evitar o empenamento durante a secagem (Figura 6B). Após a colagem, os rolos de incrementos foram secos a temperatura ambiente. Após, as amostras foram polidas, utilizando-se lixas com granulometria crescente, até a obtenção de superfície polida, para melhor visualização dos anéis de crescimento.

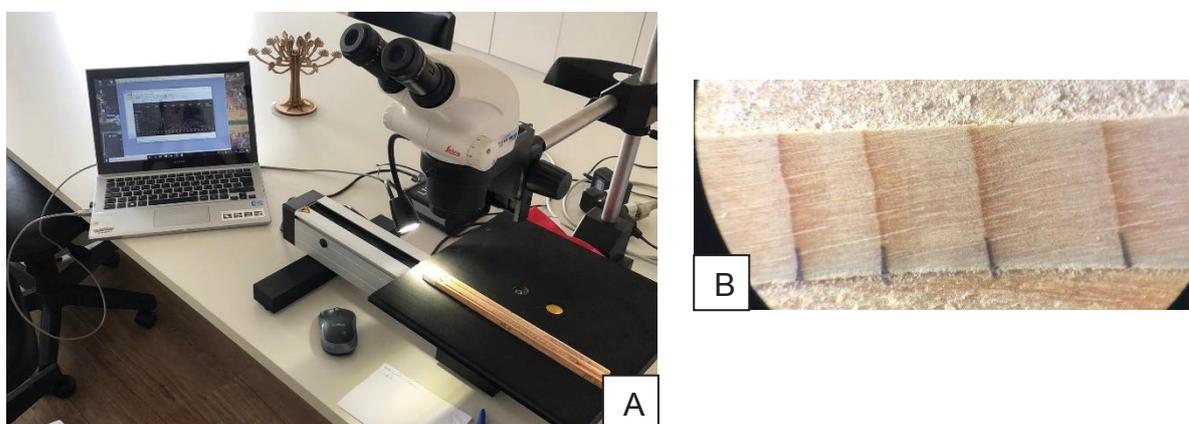
FIGURA 6 - (A) RETIRADA DA AMOSTRA NÃO DESTRUTIVA COM O TRADO DE PRESSLER E (B) COLAGEM DAS AMOSTRAS DE *Araucaria angustifolia*.



FONTE: A autora (2020).

Os anéis de crescimento foram delimitados, contados e medidos com auxílio de microscópio-estereoscópico e de mesa de mensuração de anéis (LINTAB 6.0 – Frank Rinn Distributors, Alemanha), acoplada ao computador (Figura 7A). Os anéis de crescimento (Figura 7B) foram mensurados com precisão de 0,01 mm. Os dados de incremento foram registrados pelo Software TSAP-Win (RINN, 1996) e as séries de crescimento foram datadas por análise visual e com o software Cofecha (HOLMES, 1983).

FIGURA 7 - (A) MESA DE MENSURAÇÃO DE ANÉIS (LINTAB 6) E (B) AMOSTRA DE *Araucaria angustifolia* COM OS ANÉIS DE CRESCIMENTO.



FONTE: A autora (2020).

## 2.3 MODELAGEM DO CRESCIMENTO

A partir das séries cronológicas de crescimento obtidas, foram ajustados modelos de crescimento (Tabela 8) por regressão não linear, utilizando o software SAS, para cada uma das áreas de estudo.

TABELA 8 - MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO AJUSTADOS PARA *Araucaria angustifolia* PARA OS TRÊS LOCAIS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Denominação da Equação	Modelo	Restrições dos parâmetros
Gompertz	$DAP = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$	$\beta_2 > 0$
Johnson-Schumacher	$DAP = \beta_0 e^{-\frac{\beta_1}{t + \beta_2}}$	$\beta_1 > 0$
Lundqvist-Korf	$DAP = \beta_0 e^{-\frac{\beta_1}{t^{\beta_2}}}$	$\beta_1 > 0$
Logística	$DAP = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 t})}$	$\beta_2 > 0$
Monomolecular	$DAP = \beta_0 (1 - \beta_1 e^{-\beta_2 t})$	$\beta_2 > 0$
Schumacher	$DAP = \beta_0 e^{-\frac{\beta_1}{t}}$	$\beta_1 > 0$

FONTE: Burkhart; Tomé (2012).

NOTA:  $DAP$  = diâmetro a 1,3 m do solo, sem casca,  $t$  = tempo decorrido até alcance do  $DAP$  considerado (anos);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  = parâmetros das equações e “e”, número de Euler.

Na seleção do melhor modelo de regressão levou-se em consideração o ajuste de cada equação, observando-se os parâmetros estatísticos erro padrão da estimativa -  $S_{yx}$  (%) e os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC) e a análise dos resíduos.

A partir dos valores obtidos pelas curvas de crescimento em diâmetro, calcularam-se os valores em área basal, e destes foram derivadas as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), conforme as equações 4 e 5:

$$IMA_g = \frac{g_t}{t} \quad (4)$$

$$ICA_g = g_{t+1} - g_t \quad (5)$$

Onde:

$IMA_g$  = incremento médio anual em área basal ( $m^2$ );

$ICA_g$  = incremento corrente anual em área basal ( $m^2$ );

$g$  = área basal em diferentes tempos “t” na curva de crescimento ( $m^2$ );

$t$  = tempo relativo à curva de crescimento.

Das curvas de ICA e IMA em área basal, foram obtidos os máximos valores e a idade técnica de culminação do crescimento, ponto em que ocorre o cruzamento das duas curvas (SCOLFORO, 1998; OSMASTON, 2010; BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014), buscando o entendimento da população ao longo do tempo.

## 2.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO

Visando verificar modificações ao longo do tempo na formação das populações, avaliou-se retrospectivamente o incremento diamétrico por classe de idade. Dessa maneira foi possível identificar se a população apresentava padrões diferentes de desenvolvimento no passado, por exemplo, se passou momentos com maior ou menor incremento.

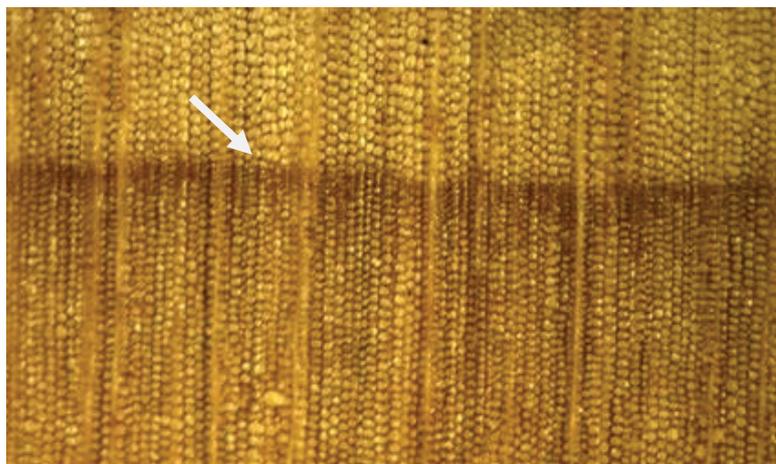
Com base nos incrementos médios anuais em diâmetro, os indivíduos foram analisados em grupos, considerando sua idade cronológica. Os indivíduos acima de 120 anos não foram considerados nesta análise, devido à insuficiência de número de amostras.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 DENDROCRONOLOGIA

*Araucaria angustifolia* apresenta camadas de crescimento distintas (Figura 8), possibilitando a contagem dos anos e medição dos anéis anuais de crescimento.

FIGURA 8 - CAMADA DE CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia*.



FONTE: A autora (2020)

#### 3.2 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

As séries cronológicas atingiram períodos de até 174 anos (Tabela 9). A amostra com maior DAP foi observada na área 2 e a menor amplitude diamétrica foi obtida na área 1. O menor incremento médio anual foi registrado na área 1 e o maior na área 3.

TABELA 9 - DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DAS SÉRIES CRONOLÓGICAS DE *Araucaria angustifolia* PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE EM SANTA CATARINA.

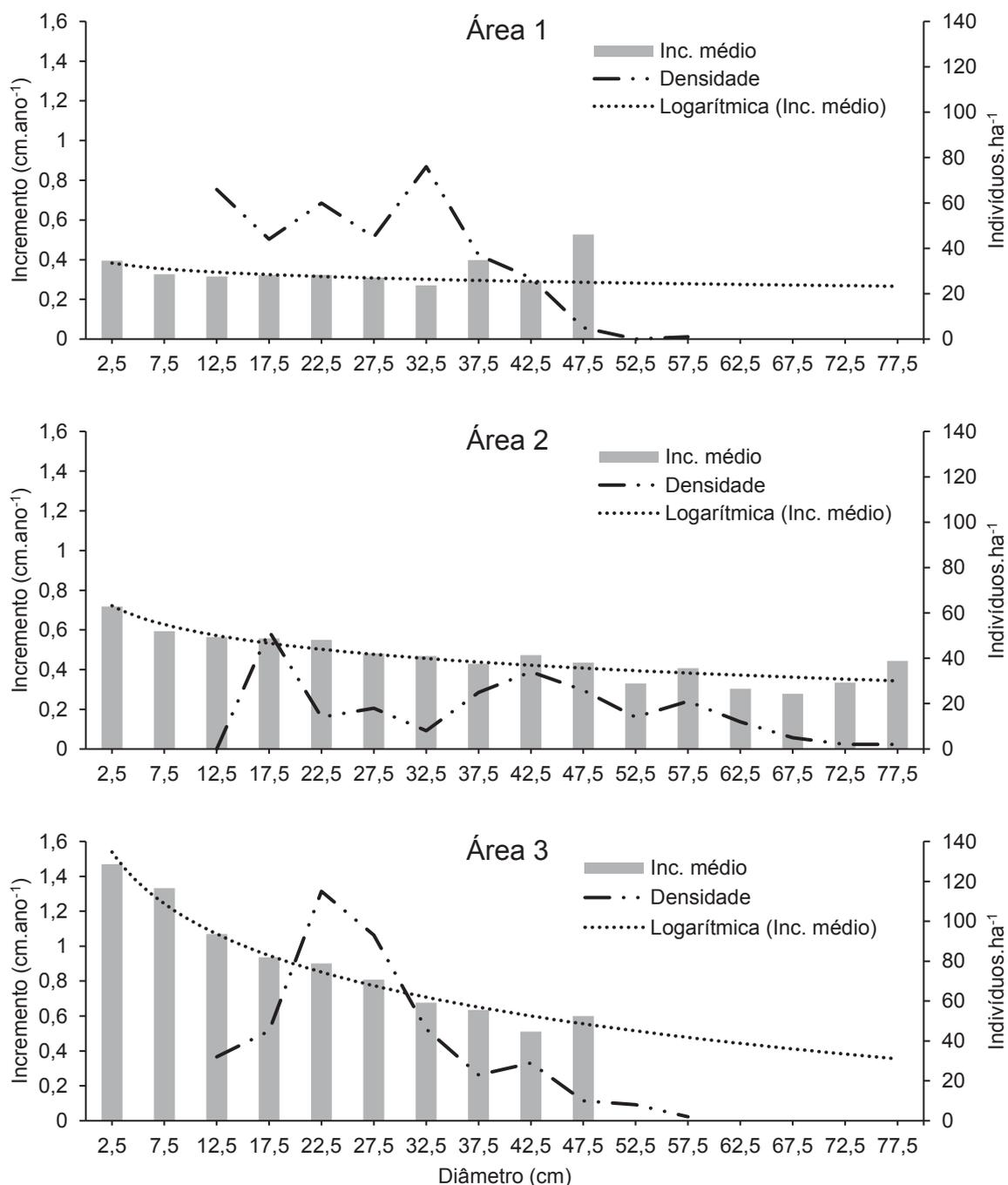
	Área 1	Área 2	Área 3
Intervalo de DAP das amostras (cm)	12,7 - 55,1	18,3 - 88,2	11,6 - 59,8
Intervalo de idade das amostras (anos)	174	170	42
Incremento médio anual no DAP, sem casca	0,33	0,51	1,01

FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painel; Área 3 = São José do Cerrito; DAP = diâmetro com casca a 1,30 m de altura do solo.

Os incrementos de *Araucaria angustifolia* por classe diamétrica, para as três áreas, apresentaram tendência inicial crescente com redução à medida que o diâmetro aumentou (Figura 9).

FIGURA 9 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL, NÚMERO DE INDIVÍDUOS POR CLASSE DIAMÉTRICA E RESPECTIVAS LINHAS DE TENDÊNCIA PARA TRÊS ÁREAS DE FLORESTA NATURAL DE *Araucaria angustifolia*, EM SANTA CATARINA.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painel; Área 3 = São José do Cerrito.

### 3.3 MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

Considerando os parâmetros estatísticos (Tabela 10) e a distribuição dos resíduos (Apêndices I, II e III), o modelo Monomolecular foi o que apresentou maior aderência às séries cronológicas de *Araucaria angustifolia* para as três áreas de estudo.

TABELA 10 - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS E COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO AJUSTADAS PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS DE OCORRÊNCIA NATURAL, EM SANTA CATARINA.

Local	Modelo	Coeficientes			Parâmetros		
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$S_{yx}$	AIC	BIC
A1	Gompertz	28,0053	2,2996	0,03229	36,5	35506	35533
	Johnson-Schumacher	41,201	54,8278	15,0796	36,3	35455	35482
	Lundqvist-Korf	88,5343	7,222	0,383	36,3	35458	35485
	Logística	26,644	5,6523	0,04803	36,7	35589	35615
	<b>Monomolecular</b>	<b>32,3471</b>	<b>1,001</b>	<b>0,01581</b>	<b>36,3</b>	<b>35447</b>	<b>35473</b>
	Schumacher	32,3404	27,8923	-	36,5	35669	35689
A2	Gompertz	61,0001	2,0173	0,01959	35,3	34696	34722
	Johnson-Schumacher	84,0949	79,7273	26,5382	34,7	34519	34545
	Lundqvist-Korf	718,15	6,976	0,2002	34,2	34399	34425
	Logística	57,9789	4,6305	0,02917	35,9	34858	34884
	<b>Monomolecular</b>	<b>78,5098</b>	<b>0,9486</b>	<b>0,008195</b>	<b>34,6</b>	<b>34489</b>	<b>34515</b>
	Schumacher	54,1459	26,7028	-	35,8	34828	34848
A3	Gompertz	43,4466	2,6303	0,07604	29,0	11860	11882
	Johnson-Schumacher	77,6994	32,9819	8,5041	28,6	11808	11830
	Lundqvist-Korf	256,59	6,2231	0,3248	28,5	11790	11812
	Logística	38,5264	7,5901	0,129	29,5	11933	11955
	<b>Monomolecular</b>	<b>75,6937</b>	<b>1,0024</b>	<b>0,0194</b>	<b>28,4</b>	<b>11784</b>	<b>11806</b>
	Schumacher	45,8886	12,0484	-	29,0	11991	12008

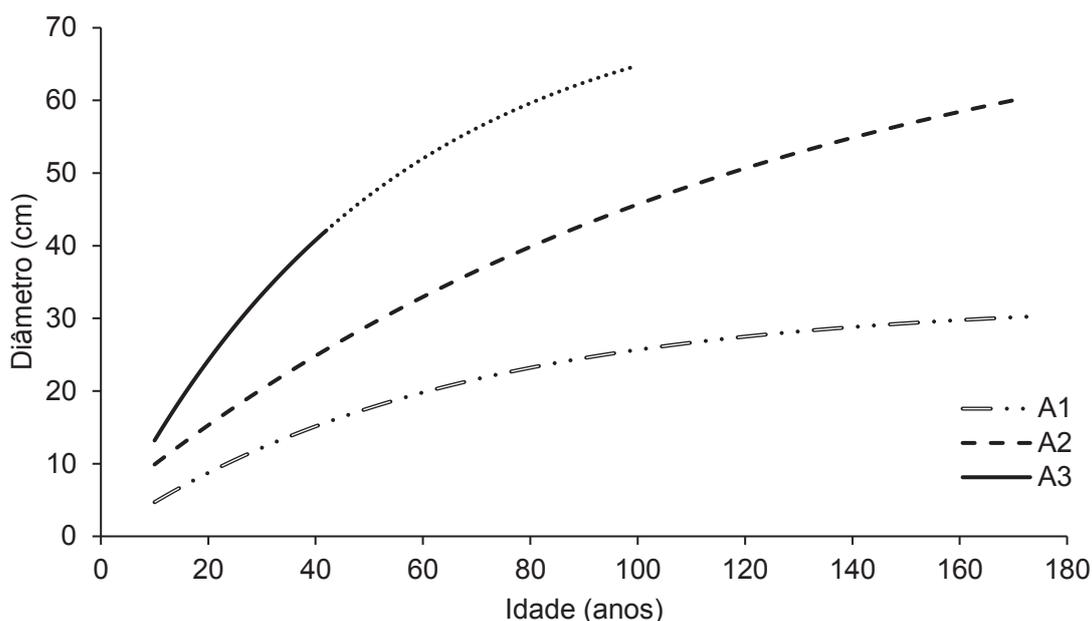
FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes ajustados;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  (%) = erro padrão da estimativa; AIC = critério de informação de Akaike; BIC = critério de informação Bayesiano. Em negrito estão destacadas as equações com melhores ajustes para cada local.

No crescimento em diâmetro na área 1 foi observado ponto de máxima tangência próximo dos 28 cm, iniciando período de menor crescimento após esta classe diamétrica. Para a área 2 foi possível visualizar esse ponto próximo, mas

superior a 60 cm, não tendo sido observado o ponto até os diâmetros mensurados. Da mesma forma, na área 3, os diâmetros mensurados não permitem visualizar o ponto de máxima tangência, apresentando crescimento ascendente no decorrer de toda série cronológica (Figura 10).

FIGURA 10 - EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO ACUMULADO AJUSTADAS PARA *Araucaria angustifolia* PARA TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

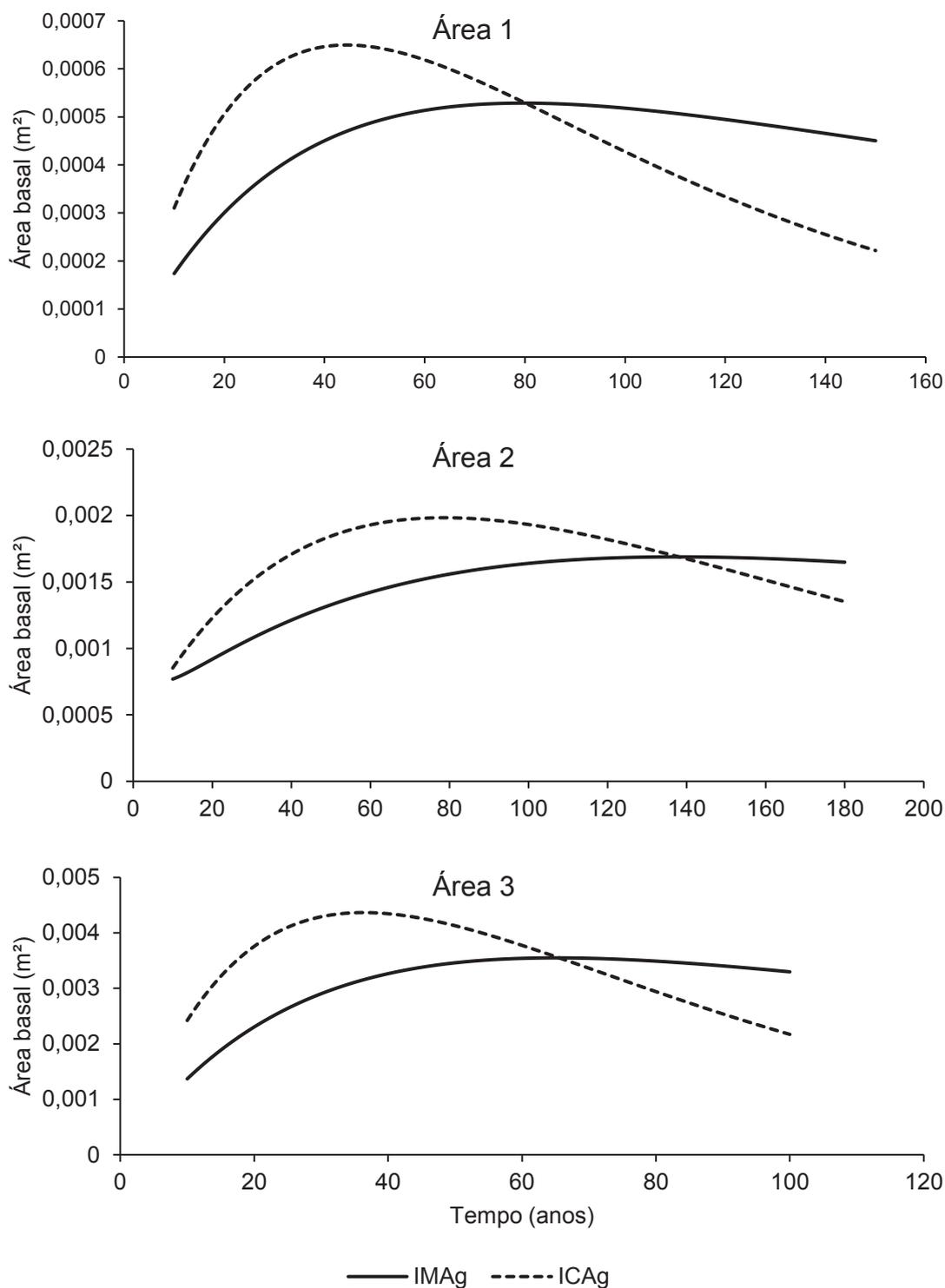


FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painei; A3 = São José do Cerrito; A linha pontilhada indica a projeção da equação de crescimento para os dados mensurados na A3.

Os máximos ICAs observados pelas curvas de incremento para área basal da árvore individual foram alcançados nas três áreas. Na área 3 houve necessidade de extrapolação da equação de crescimento para obtenção da idade técnica estimada de culminação do crescimento (Figura 11).

FIGURA 11 - CURVAS DE INCREMENTO EM ÁREA BASAL PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painel; Área 3 = São José do Cerrito; IMAg = incremento médio anual em área basal; ICAg = incremento corrente anual em área basal.

Os pontos de culminação do crescimento ocorreram aos 0,0423 m<sup>2</sup>, 0,2331 m<sup>2</sup> e 0,2307 m<sup>2</sup>, para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente (Tabela 11).

TABELA 11 - IDADES E ÁREA BASAL ESTIMADOS DOS PONTOS EM QUE OCORREM A CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E O MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL.

Local	Ponto de culminação do crescimento		Máximo ICAg	
	g (m <sup>2</sup> )	Idade (anos)	g (m <sup>2</sup> )	Idade (anos)
A1	0,0423	80	0,0206	44
A2	0,2331	138	0,1227	79
A3	0,2307	65	0,1131	36

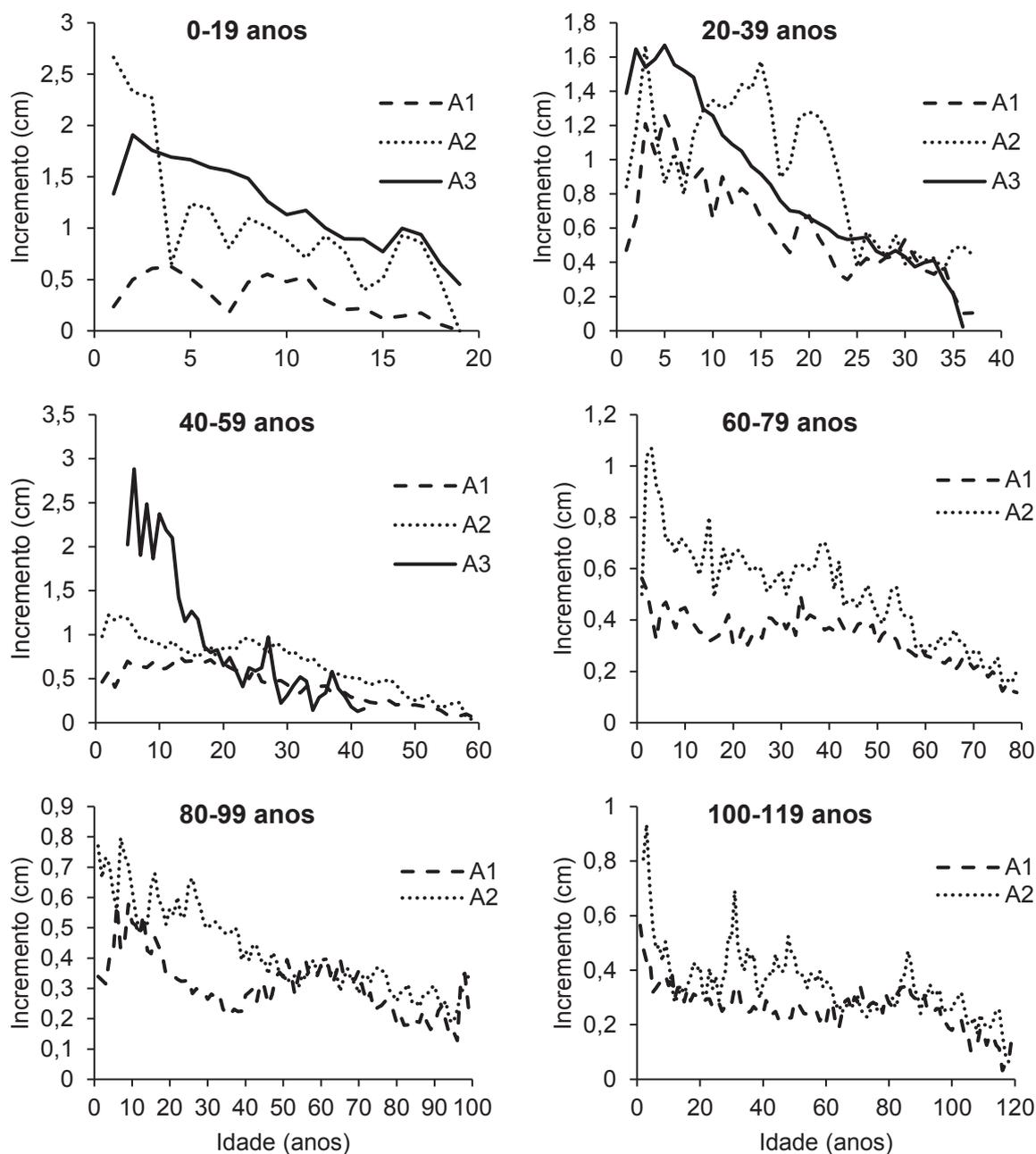
FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painei; A3 = São José do Cerrito; g = área basal; Ponto de culminação do crescimento = cruzamento das curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual em área basal de árvore individual; Máximo ICAg = máximo incremento corrente anual em área basal da árvore individual.

### 3.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO

Analisando os dados de incremento anual em diâmetro à 1,30 m de altura do solo (DAP), foi possível inferir sobre a formação das populações, a partir do ano zero (Figura 12). Isso proporcionou uma análise detalhada dos incrementos médios com base nas idades cronológicas de cada grupo de indivíduos, sendo possível análise em árvores com até 119 anos.

FIGURA 12 - FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES DE *Araucaria angustifolia* DE ACORDO COM A IDADE CRONOLÓGICA DOS INDIVÍDUOS, PARA TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: S1 = Bom Jardim da Serra; S2 = Painei; S3 = São José do Cerrito.

É possível observar que, apesar do incremento inicial ser diferente, o padrão de crescimento em diâmetro é semelhante nas áreas 1 e 2.

A área 3 apresenta maior incremento nos primeiros anos, com decréscimo abrupto após 10 anos de idade. Porém, por ser uma população jovem, a análise só foi possível até os 42 anos.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 DENDROCRONOLOGIA

A presença de anéis de crescimento distintos em amostras de *Araucaria angustifolia* é consistente com o observado na literatura. Segundo Mattos (2011), a araucária apresenta anéis de crescimento bem visíveis, que facilitam a contagem da idade. Com isso, estudos dendrocronológicos com essa espécie são cada vez mais frequentes na literatura (MATTOS et al., 2007a; OLIVEIRA, 2007; STEPKA, 2012; CURTO, 2015; LAMBRECHT, 2017; HESS; RICKEN; CIARNOSCHI, 2018, dentre outros).

Em regiões subtropicais de maior altitude podem existir períodos do ano em que a temperatura alcança níveis críticos que limitam o desenvolvimento das plantas. A maior amplitude térmica coincide, na maioria dos casos, com o período de crescimento do lenho (MAROCHI, 2007).

### 4.2 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

Os maiores intervalos de idade encontrados nas áreas 1 e 2 apresentam similaridade com grande parte das áreas de florestas naturais de *Araucaria angustifolia*.

Na área 3, o baixo intervalo de idade das amostras (42 anos) indica que é uma área natural jovem. Possivelmente, as sementes que estavam em capões maiores se dispersaram e começaram a colonização de uma nova área próxima.

Segundo Klein (1960), *Araucaria angustifolia* é uma espécie pioneira, invasora dos campos naturais que ocorrem em sua área de distribuição geográfica. Consultando imagens de satélite de períodos passados (GOOGLE, 2019), foi possível verificar que o local da área 3 se instalou em área onde anteriormente era campo, garantindo, em função do espaçamento entre as árvores, dinâmica de crescimento das árvores semelhante a áreas de plantio.

A ocupação de áreas de campo por indivíduos de araucária é frequente, o que revela o sucesso na ocupação de espaços abertos. Essa colonização cria condições de maior umidade e fertilidade do solo, o que facilita o recrutamento de outras espécies de plantas (SOLÓRZANO-FILHO; KRAUS, 1999). A partir da análise dos

diferentes estágios sucessionais das áreas de floresta natural, é possível inferir sobre o avanço da floresta sobre o campo (DUARTE; HARTZ; PILLAR, 2009)

O incremento médio anual (IMA) obtido na área 3, foi o maior entre as três áreas, provavelmente por se tratar de colonização de uma área nova, onde os indivíduos não tiveram que competir por espaço e luz, para o seu desenvolvimento.

Apesar de existirem estudos sobre o crescimento da araucária em diversas regiões, a área 1 não apresenta informações de estudos específicos ainda. O incremento anual na área 1 foi o menor dentre as três áreas estudadas. Porém, foi semelhante a estudos realizados em outros municípios de Santa Catarina, como em Caçador que foi encontrado  $0,30 \text{ cm ano}^{-1}$  (STEPKA, 2012) e São Joaquim com  $0,34 \text{ cm ano}^{-1}$  (HESS et al., 2018).

A grande divergência em relação aos incrementos médios anuais obtidos demonstra a necessidade de não generalizar as informações sobre a espécie. O padrão de crescimento da espécie é diferente entre locais, chegando a valores muito discrepantes, como os valores de incremento médio anual encontrados em literatura (Tabela 12).

TABELA 12 - INCREMENTO MÉDIO ANUAL DE *Araucaria angustifolia* EM FLORESTAS NATURAIS.

Local	Altitude (m)	IMA ( $\text{cm ano}^{-1}$ )	Autor
Bom Jardim da Serra (A1) - SC	1.350	0,33	A autora (2020)
Painel (A2) - SC	1.150	0,51	A autora (2020)
São José do Cerrito (A3) - SC	950	1,01	A autora (2020)
Erval Seco - RS	444*	0,72	Lambrecht (2017)
Flona de Três Barras - SC	760	0,51	Nakajima (1993)
General Carneiro - PR	780	0,25	Rodrigues (2016)
São João do Triunfo	780	0,42	Durigan (1999)
Irati - PR	820	0,58	Stepka (2012)
Caçador - SC	920	0,30	Stepka (2012)
Caçador - SC	920	0,90	Mattos et al. (2007b)
São Joaquim - SC	1.166	0,34	Hess et al. (2018)
Painel	1.123	0,69	Hess et al. (2018)
Lages - SC	1.200	0,71	Hess, Ricken e Ciarnoschi (2018)
Urupema - SC	1.259	0,90	Hess et al. (2018)
São Joaquim - SC	1.352	0,45	Loiola et al. (2019)
São Joaquim - SC	1.352	0,69	Loiola et al. (2019)

FONTE: A autora (2020)

NOTA: \*altitude média do município.

Aparentemente os incrementos mais elevados observados nas áreas 2 e 3 não são explicados pela altitude, pois na área 1 (1.350 m de altitude) o IMA foi de 0,33 cm ano<sup>-1</sup>.

A araucária apresenta padrão diferenciado de crescimento (Figura 10) o que fortalece a indicação de que as diretrizes de manejo para as florestas naturais de araucária devem ser adequadas às características individuais da espécie em cada local de interesse. Onde diretrizes generalizadas, por exemplo, podem representar um risco à sustentabilidade do manejo florestal (BRAZ et al., 2015; FORTINI; CROPPER; ZARIN, 2015).

As três áreas apresentaram tendência inicial crescente do incremento na análise por classe diamétrica. Porém, foi possível verificar que na área 1, o incremento da última classe com indivíduos se sobressaiu dos demais valores, e isso pode ser explicado por serem os indivíduos de maior porte da área e com acesso facilitado ao dossel superior, tendo à disposição luz e condições melhores para o seu crescimento. A variação de crescimento em árvores da mesma espécie pode ser consequência de muitos fatores, como características genéticas (MIRANDA et al., 2018), climáticas (D'OLIVEIRA et al., 2017), ou acesso diferenciado aos recursos necessários ao seu crescimento durante as diferentes fases da vida, como o efeito da competição, onde o acesso a luz pode ser diferenciado para cada árvore (LE BEC et al., 2015; ROZENDAAL et al., 2015; CANETTI et al., 2016). Estes fatores justificam os desvios padrões do crescimento nas diferentes classes diamétricas.

Segundo Alder (1992), os indivíduos das menores classes em florestas tropicais geralmente estão sob competição, crescendo mais lentamente. À medida que se desenvolvem, têm mais acesso à luz e sua taxa de crescimento aumenta, declinando nas maiores classes em função da idade. Porém, para este estudo esse padrão não foi verificado, visto que as menores classes foram as que apresentaram maior incremento.

Tal padrão de maior incremento nas classes iniciais também foi observado por Rodrigues (2016) para araucárias centenárias em remanescente de FOM em General Carneiro - PR, Stepka (2012) trabalhando com araucária em floresta natural em quatro de seis locais avaliados no Paraná e Santa Catarina, e por Curto (2015) em plantios da espécie. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de que o desenvolvimento inicial da espécie é favorecido em ambientes abertos (SANQUETTA, 1999; SOUZA et

al., 2008; PALUDO; MANTOVANI; REIS, 2011), o que sugere que parte significativa dos indivíduos aqui estudados, principalmente na área 3, desenvolveram-se inicialmente em área de baixa densidade, como clareiras ou formações campestres.

#### 4.3 MODELOS DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

A seleção de funções mais apropriadas para cada uma das áreas (Tabela 10) é um aspecto importante para a modelagem do crescimento da floresta (BURKHART; TOMÉ, 2012).

O IMA da árvore individual é uma variável importante para o manejo, especialmente quando se almeja cortar a árvore no momento em que ela atinge máximo incremento médio em volume, sem considerar o crescimento da população como um todo, já que a culminação do crescimento da população ocorre muito antes do que em nível de árvore individual (ASSMANN, 1970). Portanto, a tendência das curvas de incremento é uma informação crucial para o planejamento do manejo florestal sustentável (CANETTI, 2019).

Para araucária, o ponto de culminação do crescimento em área basal nas três áreas foi diferente, o que confirma que locais diferentes podem apresentar padrões de crescimento diferentes. A área 3 foi o que atingiu esse ponto em menor tempo (65 anos), quando comparado com as áreas 1 (80 anos) e 2 (138 anos) (Figura 11).

#### 4.4 FORMAÇÃO DAS POPULAÇÕES AO LONGO DO TEMPO

A análise do comportamento da população entre as áreas mostra que a diferença no padrão de crescimento pode ser observada desde o ano zero do desenvolvimento das árvores, ou seja, os indivíduos já partem dos anos iniciais com incremento diamétrico diferenciado.

A diferença de crescimento entre as áreas é intrínseca da espécie em cada local. As diferenças que foram inferidas nos padrões de crescimento em diâmetro entre áreas de 100 anos atrás, se repetem em todas as classes de idade, até a de 20 anos. A partir dos 60 anos, a espécie apresenta incremento semelhante nas áreas 1 e 2.

Para as três áreas, o incremento é maior nos primeiros anos de crescimento, indicando desenvolvimento mais rápido dos indivíduos jovens, conforme também

relatado por Rodrigues (2016). A área 3 apresenta incrementos maiores em comparação com as demais áreas. Isso pode ser explicado por ser uma área recém colonizada, e as árvores terem se desenvolvido a pleno sol, praticamente sem competição, o que resultou em favorecimento do crescimento pelo menos nos primeiros 10 anos.

## 5 CONCLUSÕES

A diferença no padrão de crescimento entre as áreas indica o quanto a araucária consegue atingir um potencial elevado de crescimento por estar em melhores condições de desenvolvimento, sendo que a altitude vai influenciar de forma mínima.

As diferenças nos padrões de crescimento em cada área ressaltam a importância de se estudar cada local de maneira individual. Considerar as florestas de araucária iguais como um todo, podem acarretar erros sobre a quantificação das florestas em estudo.

O conjunto de análises sobre o crescimento da araucária nas diferentes áreas servirão de base para simulações de crescimento das populações, permitindo elaborar parâmetros de manejo que garantam sua sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

ALDER, D. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forest. In: MILLER, F. R.; ADAM, K. L. **Wise management of tropical forests**. Oxford: Oxford Forest Institute, 1992. p. 189-200.

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. Oxford, New York: Pergamon Press, 1970.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. Manejo de produção em florestas naturais da Amazônia: mitos e verdades. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 4, p. 292-295, out./dez. 2015.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.

CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; RICKEN, P.; PELLICO NETTO, S. Retrospective analysis of competition in a forest remnant: A case study of *Podocarpus lambertii* in the Araucaria Forest. **Dendrochronologia**, v. 40, p. 43–49, 2016.

CANETTI, A. **Estrutura, dinâmica e manejo sustentável em ecótono de Floresta Amazônica**. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2019.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. Curitiba, 250p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. 2015.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; OLIVEIRA, L. C.; ACUÑA, M. H. A.; BRAZ, E. M. Twenty years monitoring growth dynamics of a logged tropical forest in Western Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 493–502, 2017.

DUARTE, L. S.; HARTZ, S. M.; PILLAR, V. D. A dinâmica de nucleação dos pinhais sobre os campos no planalto sul-riograndense, p. 75-84. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise proteica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR**. Curitiba, 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 1999.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.

DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia, p. 15-33. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

FORTINI, L. B.; CROPPER, W. P.; ZARIN, D. J. Modeling the complex impacts of timber harvests to find optimal management regimes for Amazon tidal floodplain forests. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. 1–18, 2015.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 576p.

GENTRY, A. H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographic gradients. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 75, n. 1, p. 1-34. 1988.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2019.

GROENENDIJK, P.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. A. Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 396–407, 2017.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I. A.; MINATTI, M.; RICKEN, P.; BORSOI, G. A. Forest management for the conservation of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil. **Floresta**, v. 48, n.3, p. 373–382, 2018.

HESS, A. F.; RICKEN, P.; CIARNOSCHI, L. D. Dendrocronologia, incremento e manejo florestal em Floresta de Araucária - SC. **Ciência Florestal**, v. 28, n.4, p. 1568–1582, 2018.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber. 123 p. 1959.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree Ring Bulletin**. Vol 43, 69–78. 1983.

KLEIN, R. M. 1960. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, p. 17-44, 1960.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil meridional** = Araucaria: the meridional Brazil forest. Curitiba: Olhar brasileiro, 2010. 168 p.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 745 p. 1960.

LAMBRECHT, F. R. **Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze sob manejo florestal na região noroeste do Rio Grande do Sul**. Frederico Westphalen, 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. 2017.

LAWTON, R. O. Wind stress and elfin stature in a montane rain forest tree: an adaptive explanation. **American Journal of Botany**, v.69, p. 1224-1230. 1982.

LE BEC, J.; COURBAUD, B.; LE MOGUÉDEC, G.; PÉLISSIER, R. Characterizing tropical tree species growth strategies: Learning from inter-individual variability and scale invariance. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 2015.

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 2, p. 137-152. 1996.

LOIOLA, T. M.; HESS, A. F.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; DALLABRIDA, J. P.; DENEGA, A.; NASCIMENTO, B. Análise dendrocronológicas do crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto serrano de Santa Catarina. **Holos**. Ano 35, v. 2, e4927, 2019.

MÄHLER JUNIOR, J.K.F.; LAROCCA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária, p. 243-252. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucaria: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

MAROCHI, C. I. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis* – Meliaceae) aplicados à avaliação de taxa de crescimento e dendroclimatologia**. Curitiba, 2007. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2007.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 218); (Embrapa Pantanal. Documentos, 112).

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. Colombo, PR: **Pesquisa Florestal Brasileira**, jan./jun. 2007a. n. 54, p 153-156 (PFB. Notas Científicas).

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M. D.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, jul./dez. 2007b.

MIRANDA, Z. P. GUEDES, M. C.; ROSA, S. A.; SCHÖNGART. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees - Structure and Function**, v. 32, n. 1, p. 277–286, 2018.

MIRANDA, D. L. C.; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; LATORRACA, J. V. F.; CARMO, J. F.; LIMA, A. J. N. Using radiocarbon-calibrated dendrochronology to improve tree-cutting cycle estimates for timber management in southern Amazon forests. **Trees - Structure and Function**, v. 32, n. 2, p. 587–602, 2018.

NAKAJIMA, N. Y. **Utilização do Sistema Indonésio de corte seletivo para simular a produção contínua de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em floresta primária**. 1993. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

NAKASHIZUKA, T.; YUSOP, Z.; NIK, A. R. Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**. v. 4, p.233-244, 1991.

OHSAWA, M.; NAINGGOLAN, P. H. J.; TANAKA, N.; ANWAR, C. Altitudinal zonation of forest vegetation on Mount Kerinci, Sumatra: with comparison to zonation in the temperate region of east Asia. **Journal of Tropical Ecology**, v.1, p. 193–216. 1985.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OSMASTON, F. C. **The management of forests**. Dehra Dun, India: Natraj Publishers, 2010.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. Regeneração de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1107-1119, out. 2011.

PROCTOR, J.; LEE, Y. F.; LANGLEY, A. M.; MUNRO, W. R. C.; NELSON, T. Ecological studies on Gunung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah, Malaysia. I. Environment, forest structure and floristics. **Journal of Ecology**, v. 76, n. 2, p. 320–340. 1988.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. In: San Jose, C.R.: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (IICA). 561 p. 1997.

RINN, F. TSAP Win v. 3.6: **Reference Manual**: Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg, Germany: RINNTECH, 1996.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de floresta ombrófila mista**. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2016.

ROZENDAAL, D. M. A.; DURING, H. J.; STERCK, F. J.; ASSCHEMAN, D.; WIEGERAAD, J.; ZUIDEMA, P. A. Long-term growth patterns of juvenile trees from a Bolivian tropical moist forest: Shifting investments in diameter growth and height growth. **Journal of Tropical Ecology**, v. 31, n. 6, p. 519–529, 2015.

SANQUETTA, C. R. ARAUSIS: Sistema de simulação para manejo sustentável de florestas de Araucária. **Floresta**, v. 29, n. 12, 1999.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. 566 p. 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras, MG: UFLA – Universidade Federal de Lavras; FEPE, 1998.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.; KRAUS, J. E. Breve História das Matas de Araucária. **Revista Floresta**. v. 99, p. 37-40. 1999.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2012.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield. Applications to Mixed Tropical Forests**. CAB INTERNATIONAL. Wallingford, UK. 312 p. 1994.

WEAVER, P. L.; MURPHY, P. G. Forest structure and productivity in Puerto Rico's Luquillo mountains. **Biotropica**, v. 22, n. 1, p. 69-82. 1990.

YAMADA, I. Forest ecological studies of the montane forest of Mt. Pangrango, West Java. IV. Floristic composition along the altitude. **South East Asian Studies**, v. 15, n. 2, p. 226–254. 1977.

### **CAPÍTULO III – CRESCIMENTO EM VOLUME DE *Araucaria angustifolia* EM ALTITUDES DISTINTAS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE NO ESTADO DE SANTA CATARINA**

#### **RESUMO**

Vários fatores influenciam na produtividade de uma espécie e conseqüentemente na população, como mortalidade, qualidade de sítio, clima, altitude, competição, entre outros. Os modelos de crescimento e produção florestal, por sua vez, descrevem esses processos da dinâmica ao longo do tempo. O objetivo deste capítulo foi identificar o crescimento em volume e seu ponto de culminação para árvore individual e para a população de *Araucaria angustifolia* em diferentes áreas de ocorrência natural da espécie em Santa Catarina, Brasil. O estudo abrangeu três áreas com Floresta Ombrófila Mista, considerando diferentes altitudes. Foram coletadas amostras não destrutivas de 226 árvores, sendo 76 em Bom Jardim da Serra (área 1), 73 em Painel (área 2) e 77 em São José do Cerrito (área 3). A partir dos modelos ajustados para volume foram derivadas as curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual, para determinação do ponto de culminação do crescimento, para árvore individual e para a população. Os valores de volume acumulado por classe diamétrica, para as três áreas, apresentaram tendência à estagnação. Para a população, as áreas 1, 2 e 3 apresentaram culminação do crescimento em volume com 63, 60 e 42 anos de idade, respectivamente. O entendimento do comportamento da espécie na floresta poderá servir como base para elaboração de futuros planos de manejo.

Palavras-chave: Floresta de Araucária. Crescimento em volume. Manejo florestal.

## ABSTRACT

Several factors influence the productivity of a species and, consequently, the population, such as mortality, sites, climate, altitude, competition, etc. The models of growth and forest production describe these processes of dynamics over time. Therefore, the objective of this chapter was to identify the growth in volume and the culmination point for the individual tree and population of *Araucaria angustifolia* in different naturally occurring areas of the species in Santa Catarina, Brazil. The study covered three areas with Mixed Rainforest, considering different altitudes. Non-destructive samples were collected from 226 trees, 76 in Bom Jardim da Serra (area 1), 73 in Paineira (area 2) and 77 in São José do Cerrito (area 3). From the models adjusted for volume, the curves of current annual and average annual increments were derived to determine the growth culmination, for the individual tree and for the population. The accumulated volume values by diametric class, for the three areas, showed a tendency to stagnation. For the population, areas 1, 2 and 3 showed growth culmination at 63, 60 and 42 years, respectively. Understanding the species' behavior in the forest may serve as a basis for the development of future management plans.

Keywords: Araucaria forest. Volume growth. Forest management.

## 1 INTRODUÇÃO

O incremento no âmbito florestal refere-se ao aumento das dimensões de uma ou mais árvores durante um período específico (VANCLAY, 1994). O incremento em árvores é influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente (HUSCH; MILLER; BEERS, 1982). Tais fatores levam as taxas de crescimento em florestas tropicais a apresentarem grande variabilidade, considerando a alta diversidade de espécies e as distintas condições ambientais à que estão expostas (VANCLAY, 1991; CLARK; CLARK, 1992).

Assim, é necessário compreender os processos de crescimento e de produção, uma vez que o manejo tem que ser decidido em grande parte pela prognose de produções futuras a partir de informações correntes (CAMPOS; LEITE, 2009).

Os modelos de crescimento e produção florestal descrevem processos da dinâmica ao longo do tempo (incremento, mortalidade, recrutamento e mudanças associadas na comunidade). Esses têm sido amplamente utilizados como ferramentas de apoio à decisão, por permitirem estimar a produção futura, ou por possibilitarem explorar diferentes alternativas de manejo (VANCLAY, 1994; BURKHART; TOMÉ, 2012). Portanto, a modelagem do incremento arbóreo assume papel fundamental para a compreensão da dinâmica do crescimento e da produção, seja para fins de manejo florestal, estudos sobre produção primária, ou análise do comportamento da floresta ante a perturbações (VANCLAY, 1994; PORTÉ; BARTELINK, 2002; PRETZSCH, 2009).

*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é a única representante da família Araucariaceae no Brasil (DUTRA; STRANZ, 2009). Esta espécie é o principal elemento da Floresta com Araucária (KOCH; CORRÊA, 2010), que são também chamadas de Floresta Ombrófila Mista e fazem parte do Bioma Mata Atlântica (CARDOSO; VASCONCELLOS, 2015). No sul do Brasil, a Floresta com Araucária ocupa vastas áreas sobre o Planalto Meridional, em altitudes variando de mais de 1.500 m na Serra da Mantiqueira (22° S) até 200 m no extremo sul (31°30' S). Em Santa Catarina, as formações com araucária ocorrem em extensas áreas e distribuem-se entre 500 e 1.500 m de altitude (BACKES, 2009).

Vários fatores influenciam na produtividade de uma espécie e conseqüentemente na população, como mortalidade, qualidade de sítio, clima, altitude, competição, entre outros. Beckert, Rosot e Rosot (2014) citam a ocorrência

de estagnação por vários anos na população de *Araucaria angustifolia* em uma floresta estudada em Caçador, SC.

Neste capítulo o objetivo foi identificar o crescimento em volume e seu ponto de culminação para árvore individual e como este ocorreu para a população de *Araucaria angustifolia* em três áreas de ocorrência natural da espécie em Santa Catarina, Brasil. Essas informações permitirão entender o comportamento da população de araucária em diferentes situações de floresta natural e poderão servir como base para elaboração de futuros planos de manejo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em três municípios, que são áreas de ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados em Santa Catarina, conforme descrito no Capítulo 1.

### 2.2 MENSURAÇÃO DE DADOS

Os dados utilizados neste capítulo provêm das 226 árvores amostradas em três diferentes áreas em Santa Catarina, conforme descrito no Capítulo 2.

### 2.3 MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO

Para estimar o crescimento em volume, utilizou-se a equação 6 de Naslund ajustado por Hess (2006), com  $R^2_{aj.}$  de 0,9986, erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) de 0,0254, coeficiente de variação (CV) de 4,16% e valor de F de 26.277,8.

$$V = 0,0071 + 0,00005 * DAP^2 + 0,00003 * DAP^2 * h + 0,00004 * DAP * h^2 - 0,0006 * h^2 \quad (6)$$

Onde:

V = volume (m<sup>3</sup>);

DAP = diâmetro (cm);

h = altura (m).

A variável altura foi obtida pela equação hipsométrica (Capítulo 1, Tabela 4) e o diâmetro pela equação de crescimento (Capítulo 2, Figura 10).

Utilizando a curva de crescimento em diâmetro acumulado, calculou-se para cada diâmetro o respectivo volume, conforme metodologia de Schöngart (2008). O crescimento em volume foi calculado com a aplicação da equação 6 em árvores com DAP  $\geq$  10 cm.

A partir das curvas de crescimento em volume, foram derivadas as curvas de incremento médio anual (IMA) e incremento corrente anual (ICA), conforme as equações 7 e 8, respectivamente.

$$IMA_v = \frac{v_t}{t} \quad (7)$$

$$ICA_v = v_{t+1} - v_t \quad (8)$$

Onde:

$IMA_v$  = incremento médio anual em volume (m<sup>3</sup>);

$ICA_v$  = incremento corrente anual em volume (m<sup>3</sup>);

$v$  = volume comercial acumulado, com casca, em diferentes tempos “t” na curva de crescimento (m<sup>3</sup>);

$t$  = tempo relativo à curva de crescimento.

Para desenvolvimento da curva de crescimento em volume da população utilizou-se a curva do crescimento em volume de árvore individual consolidada com o número de árvores de cada área, considerando-se a taxa de mortalidade de 1%.

A taxa de mortalidade utilizada foi de 1% ao ano, definida pela análise geral de valores encontrados em literatura para *Araucaria angustifolia*. Como margem de segurança, optou-se por valores mais elevados (SANQUETTA, 2008; RODRIGUES, 2016).

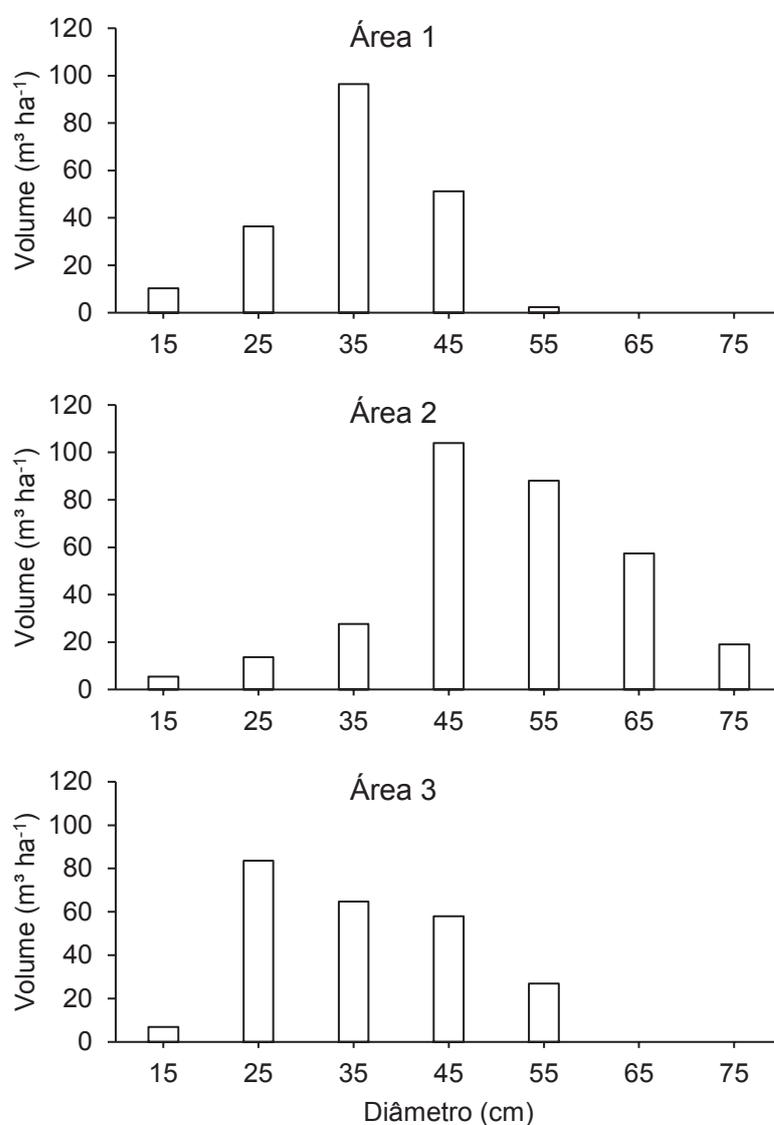
Das curvas de ICA e IMA, foram obtidos os máximos valores e a idade de máximo incremento médio, ponto em que ocorre o cruzamento das duas curvas (SCOLFORO, 1998; OSMASTON, 2010; BATISTA; COUTO; SILVA FILHO, 2014) para árvore individual e para população.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA

A partir da estrutura diamétrica das florestas estudadas, foram obtidos os valores de volume por classe diamétrica (Figura 13), bem como os valores acumulados (Figura 14).

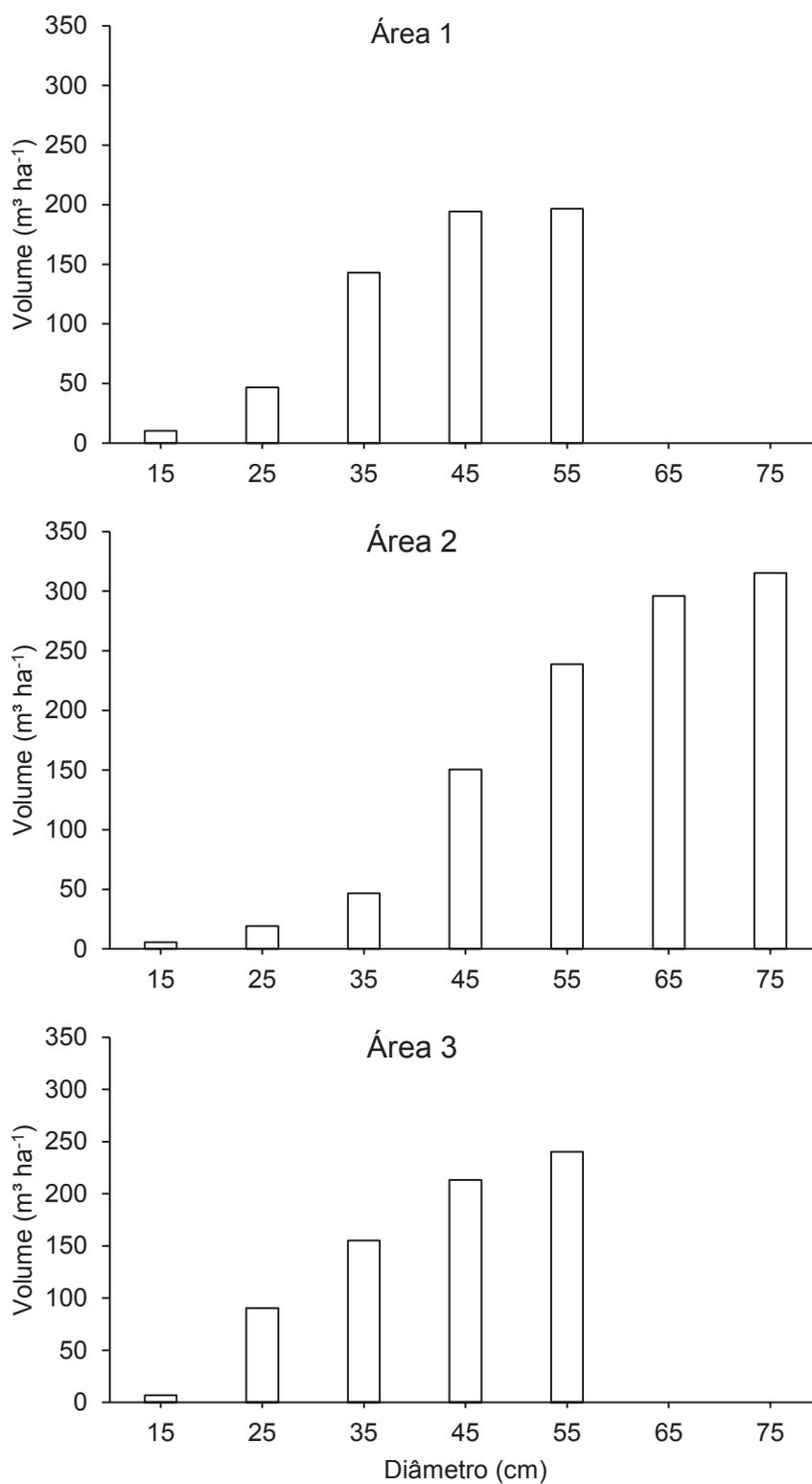
FIGURA 13 - VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Paniel; Área 3 = São José do Cerrito; Eixo das ordenadas = volume individual em m³ ha⁻¹. Eixo das abscissas = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm).

FIGURA 14 - VOLUME ACUMULADO POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



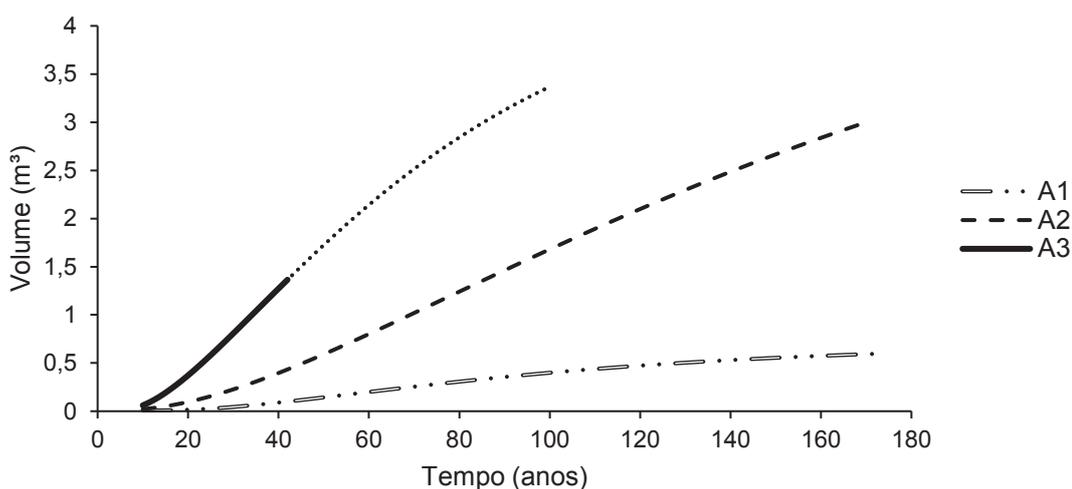
FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painel; Área 3 = São José do Cerrito; Eixo das ordenadas = volume acumulado em m³ ha⁻¹. Eixo das abscissas = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm).

### 3.2 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO INDIVIDUAL

O crescimento em volume de árvore individual para *Araucaria angustifolia* apresentou uma fase inicial rápida e crescente, principalmente em Painei e São José do Cerrito (áreas 2 e 3, respectivamente). Em Painei (área 1) o crescimento foi menor, demonstrando uma estabilização a partir dos 120 anos. A área 2 apresentou crescimento ascendente ao longo de todos os anos, enquanto a área 3 mostra uma inflexão da curva logo após os 20 anos e depois estabilização próximo dos 150 anos (Figura 15).

FIGURA 15 - CURVAS DE PRODUÇÃO EM VOLUME INDIVIDUAL PARA *Araucaria angustifolia* PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

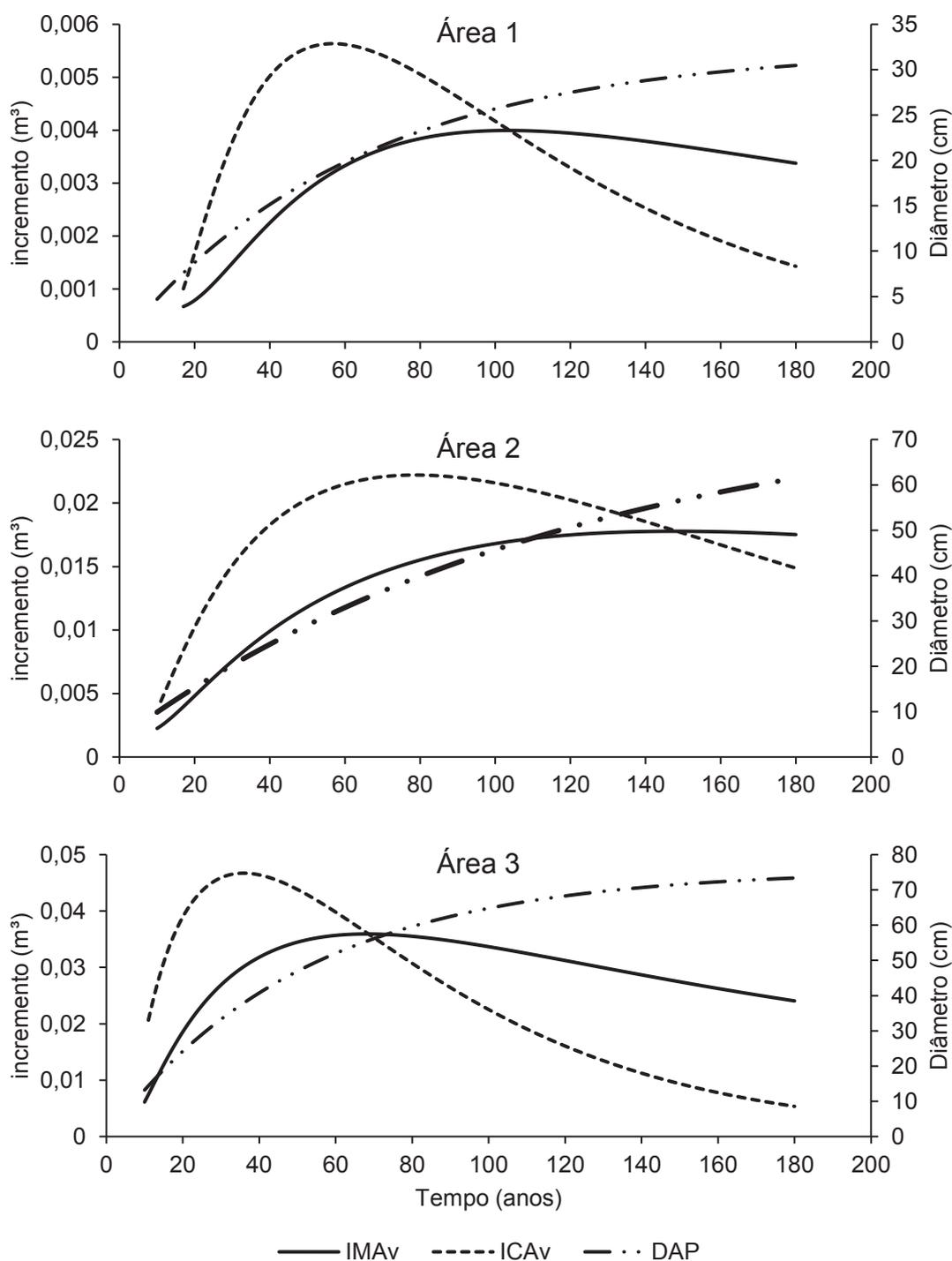


FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painei; A3 = São José do Cerrito. A linha pontilhada indica a projeção da equação de crescimento para os dados mensurados da A3.

Os máximos ICAs observados pelas curvas de incremento para volume de árvore individual foram alcançados em idades disponíveis nas amostras de crescimento para as três áreas (Figura 16).

FIGURA 16 - CURVAS DE INCREMENTO EM VOLUME E PRODUÇÃO EM DIÂMETRO PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE *Araucaria angustifolia* PARA TRÊS ÁREAS, EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Painei; Área 3 = São José do Cerrito; No eixo primário das ordenadas: IMAv e ICAv = incremento médio e corrente anual em volume, respectivamente. No eixo secundário das ordenadas: DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm) acumulado obtido da equação de crescimento ajustada com os dados mensurados.

O ponto de culminação do crescimento em volume para árvore individual ocorreu aos 26 cm para *Araucaria angustifolia* na área 1, aos 56,4 cm para a área 2 e aos 55,4 cm para a área 3. O máximo ICA ocorreu próximo aos 19 cm de DAP para a área 1, 40 cm para a área 2 e 38 cm para a área 3 (Tabela 13).

TABELA 13 - IDADES E DIÂMETROS ESTIMADOS DOS PONTOS DE CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME PARA ÁRVORE INDIVIDUAL DE *Araucaria angustifolia* PARA AS TRÊS ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Local	Ponto de culminação do crescimento		Máximo ICA	
	DAP (cm)	Idade (anos)	DAP (cm)	Idade (anos)
A1	26,0	103	19,2	57
A2	56,4	148	39,5	79
A3	55,4	68	37,9	36

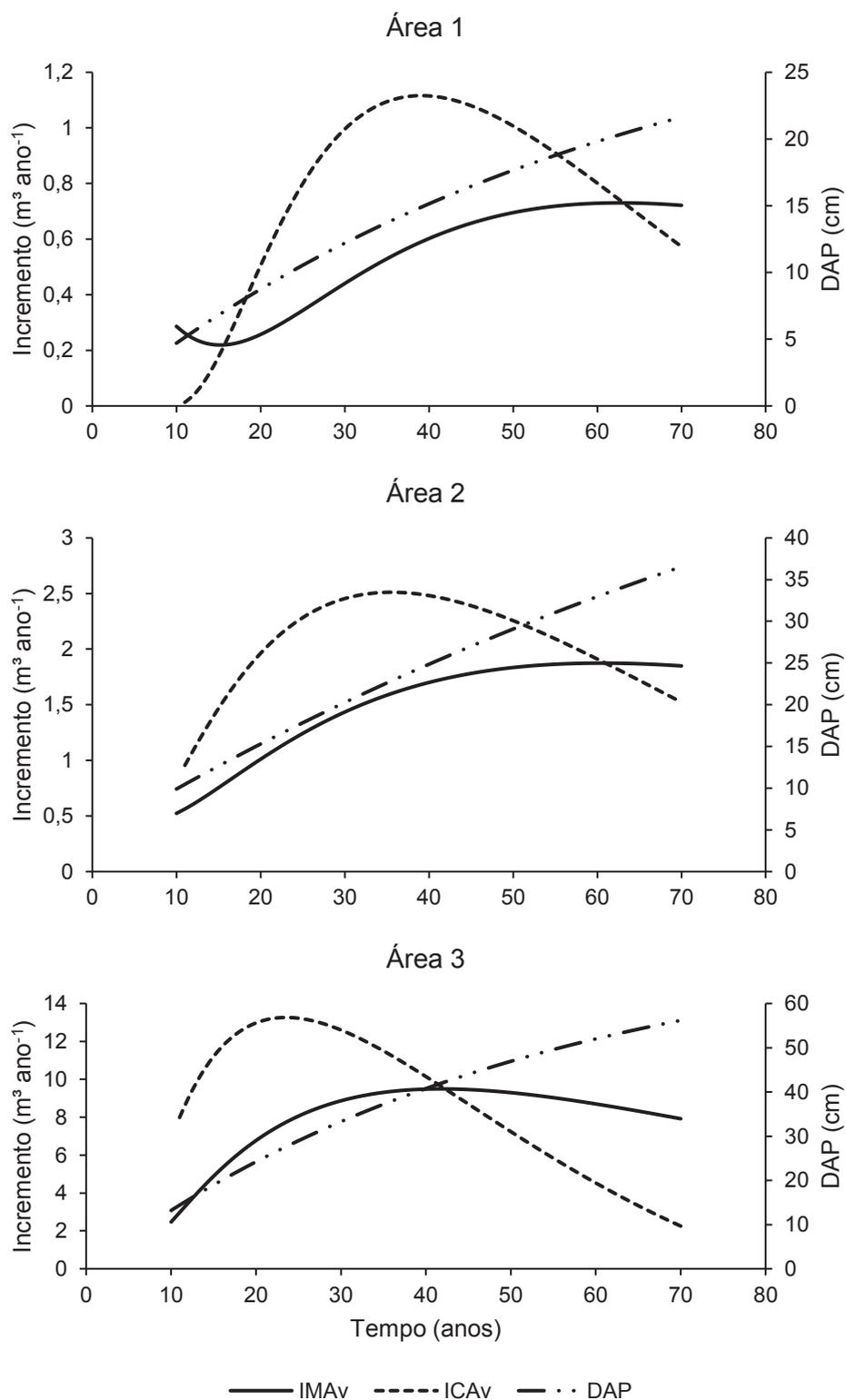
FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito; DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo; Máximo ICA = máximo incremento corrente anual em volume de árvore individual; Ponto de culminação do crescimento = cruzamento das curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual em volume de árvore individual.

### 3.3 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA POPULAÇÃO

Os máximos ICAs observados pelas curvas de incremento para volume da população foram alcançados em idades disponíveis nas amostras de crescimento para as 3 áreas (Figura 17).

FIGURA 17 - CURVAS DE INCREMENTO EM VOLUME E PRODUÇÃO DE DIÂMETRO PARA A POPULAÇÃO DE *Araucaria angustifolia* PARA TRÊS ÁREAS EM SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: Área 1 = Bom Jardim da Serra; Área 2 = Paineira; Área 3 = São José do Cerrito. No eixo primário das ordenadas: IMAv e ICAv = incremento médio e corrente anual em volume. No eixo secundário das ordenadas: DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm) acumulado obtido da equação de crescimento ajustada com os dados mensurados.

O ponto de culminação do crescimento em volume para população ocorreu próximo aos 20 cm para *Araucaria angustifolia* na área 1, aos 33 cm para a área 2 e aos 42 cm para a área 3. O máximo ICA ocorreu próximo aos 15 cm de DAP para a área 1, 23,1 cm para a área 2 e 28,1 cm para a área 3 (Tabela 14).

TABELA 14 - IDADES E DIÂMETROS ESTIMADOS DOS PONTOS DE CULMINAÇÃO DO CRESCIMENTO E MÁXIMO INCREMENTO CORRENTE ANUAL EM VOLUME PARA POPULAÇÃO DE *Araucaria angustifolia* PARA OS TRÊS LOCAIS DE OCORRÊNCIA NATURAL DA ESPÉCIE, EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Locais	Ponto de culminação do crescimento		Máximo ICA	
	DAP (cm)	Idade (anos)	DAP (cm)	Idade (anos)
A1	20,4	63	14,9	39
A2	33,0	60	23,1	36
A3	42,1	42	28,1	24

FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painel; A3 = São José do Cerrito. DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo; Máximo ICA = máximo incremento corrente anual em volume da árvore individual; Ponto de culminação do crescimento = cruzamento das curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual em volume da população.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 VOLUME POR CLASSE DIAMÉTRICA

Na análise dos três locais, considerando o volume por classe diamétrica (Figura 13), verificamos que os maiores valores ocorreram nas classes de 35 cm, 45 cm, e 25 cm, para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente.

Pode-se observar que para as três áreas, não considerando o manejo, a acumulação para os próximos anos será cada vez menor, até a estagnação (Figura 14).

Classes mais produtivas semelhantes também foram relatadas por Nakajima (1993), que encontrou os maiores valores de produção na classe de 30-40 cm, sendo que a estabilização ocorreu nas classes a partir de 60 cm.

### 4.2 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA ÁRVORE INDIVIDUAL

O crescimento volumétrico na área 1 é lento e reduzido, quando comparado com os demais locais estudados, com estabilização a partir dos 120 anos, aproximadamente (Figura 15).

Na área 2 o crescimento é ascendente, sem estabilização aparente, mas ainda menor que na área 3, que apresenta um elevado crescimento sem indicar estabilização da curva (Figura 15).

Na análise das curvas de produção individual, a área 3 apresentou idade técnica de máximo incremento médio menor entre as três. Por ter sido uma área que se estabeleceu a partir de campo aberto, isso pode ter favorecido o desenvolvimento inicial das árvores.

A área 3 atingiu o ponto de culminação do crescimento aos 68 anos (Tabela 13), valor esse semelhante ao encontrado por Curto (2015) em plantios de araucária sem manejo no Paraná. Isto pode indicar, que apesar da espécie possuir reconhecidamente indivíduos longevos, é próximo a essa idade que a espécie apresenta seus máximos valores quando considerando árvores individuais. A partir desse ponto, o crescimento sofre redução e a árvore atinge sua estagnação.

Hess e Schneider (2010), estudando a araucária em condições naturais, em três regiões do Rio Grande do Sul, demonstraram incremento médio anual máximo

em volume aos 56 anos na Serra do Sudeste, aos 46 anos no Planalto Médio, e aos 48 anos na Encosta Superior do Nordeste.

#### 4.3 CRESCIMENTO VOLUMÉTRICO DA POPULAÇÃO

A produção volumétrica maximiza antes quando se analisa as populações, em comparação com a maximização do incremento em volume de árvore individual, ou seja, em menos tempo e com DAP menores. Isto se deve ao fator taxa de mortalidade no modelo. Este fato foi identificado e explicado primeiramente por Assmann (1970). Esse autor é enfático em mencionar que povoamentos artificiais ou naturais tem suas maximizações em volume sempre adiantadas se comparadas ao desenvolvimento de árvores individualmente. É um ponto importante para manejo de florestas naturais, pois reflete o estado natural do desenvolvimento da floresta.

Para as áreas 1 e 2, as estagnações técnicas destas populações se manifestaram acentuadamente, mostrando que os diâmetros encontrados foram baixos (20,4 cm e 33,0 cm, respectivamente) apesar da idade. Provavelmente, a estagnação em diâmetros menores se deu devido à intensa competição. Na área 3, devido a sua formação recente (provavelmente com mais espaço e luz nas fases de estabelecimento, proporcionou-se, neste caso, melhores crescimentos nas classes de diâmetros menores) a maximização se deu próximo ao ideal para a espécie, como indicado por Curto et al. (2017), em áreas de plantio de *A. angustifolia*. Os mesmos autores citam que o ponto ótimo de corte é atingido aos 40 anos, para diâmetros médios na classe dos 40 cm de DAP, sendo que a partir desse ponto o incremento médio em volume tende a decrescer.

## 5 CONCLUSÕES

Os valores acumulados por classe diamétrica, para as áreas estudadas em Bom Jardim da Serra (área 1), Painel (área 2) e São José do Cerrito (área 3), apresentaram tendência à estagnação. Isso indica que a implementação de técnicas de manejo florestal seria importante para garantir a sustentabilidade da floresta nessas áreas.

O ajuste da equação de crescimento volumétrico para cada uma das áreas se mostrou satisfatório, apresentando uma fase inicial rápida e crescente para as áreas 2 e 3, e crescimento mais lento na mesma fase na área 1.

A culminação do crescimento em volume das populações das áreas 1, 2 e 3 ocorreu com 63, 60 e 42 anos, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. Oxford, New York: Pergamon Press, 1970.

BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático, p. 39-44. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 548 p.

CARDOSO, E. J. B. N; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 266 p.

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

CURTO, R. A., **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 2015. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CURTO, R. A.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; PELLICO NETTO, S. Critérios para o manejo de plantios de araucária para a produção madeireira, p. 145-159. *In*: Wendling, I.; Zanette, F. (eds), **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia, p. 15-33. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 20, n. 1, p.107-122. 2010.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons. 402 p. 1982.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil meridional = Araucaria: the meridional Brazil forest**. Curitiba: Olhar brasileiro, 2010. 168 p.

NAKAJIMA, N. Y. **Utilização do Sistema Indonésio de corte seletivo para simular a produção contínua de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em floresta primária**. 1993. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

OSMASTON, F. C. **The management of forests**. Dehra Dun, India: Natraj Publishers, 2010.

PORTÉ, A.; BARTELINK, H. H. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. **Ecological Modelling**, v. 150, n. 1-2, p. 141-188, 2002.

PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield**. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 671 p.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de floresta ombrófila mista**. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2016.

SANQUETTA, C. R. Estudos ecológicos de longa duração: exemplo de aplicação para a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, Brasil. In: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 149-176.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1–2, p. 46–58, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras, MG: UFLA – Universidade Federal de Lavras; FEPE, 1998.

VANCLAY, J. K. Aggregating tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. **Forest Ecology and Management**, v. 42, p. 143-168, 1991.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield. Applications to Mixed Tropical Forests**. CAB INTERNATIONAL. Wallingford, UK. 312 p. 1994.

## **CAPÍTULO IV - POTENCIAL DE MANEJO FLORESTAL PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS MUNICÍPIOS NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

### **RESUMO**

O estudo do potencial produtivo e das principais limitações à produção de uma determinada área ou região, torna-se essencial quando se tem como objetivo o manejo sustentável da floresta e dos recursos por ela mantidos, evitando a exaustão e a degradação e visando à máxima produtividade. O objetivo deste capítulo foi propor alternativas para subsidiar planos de manejo com reais critérios de sustentabilidade de *Araucaria angustifolia* em três áreas de ocorrência natural, em Santa Catarina, Brasil. O estudo abrangeu três áreas com Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina, considerando diferentes altitudes de ocorrência da espécie, onde foram coletadas amostras não destrutivas de 226 árvores, sendo 76 em Bom jardim da Serra (área 1), 73 em Paineira (área 2) e 77 em São José do Cerrito (área 3). Com base nos dados reais de incremento foram realizadas simulações de produção e manejo, sendo determinados ciclos de corte em períodos de 10 anos. Em relação as simulações de manejo, obteve-se valores de produção em volume após o estado estável das áreas, de 33,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> para a área 1, 33,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> para a área 2 e 113,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ciclo<sup>-1</sup> para a área 3. O uso de técnicas de manejo florestal é de grande importância para garantir a produção sustentável da floresta de araucária.

Palavras-chave: Floresta de Araucária. Estado estável. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

The study of the productive potential and the main limitations to the production of a certain area or region, becomes essential when the objective is the sustainable management of the forest and the resources maintained, avoiding exhaustion and degradation and aiming at maximum productivity. The objective of this chapter was to propose alternatives to subsidize management plans with real sustainability criteria for *Araucaria angustifolia* in three naturally occurring areas, in Santa Catarina, Brazil. The study covered three areas with Mixed Rainforest in Santa Catarina, considering different altitudes of occurrence of the species, where they were collected non-destructive samples from 226 trees, 76 in Bom Jardim da Serra (area 1), 73 in Paineel (area 2) and 77 in São José do Cerrito (area 3). Based on actual increment data, production and management simulations were carried out, with cutting cycles being determined over 10-year periods. In relation to management simulations, values of volume production were obtained after the steady state of the areas, from 33,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> cycle<sup>-1</sup> for area 1, 33,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> cycle<sup>-1</sup> for area 2 and 113,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> cycle<sup>-1</sup> for area 3. The use of forest management techniques is of great importance to guarantee the sustainable productivity of the Araucaria Forest.

Keywords: Araucaria forest. Steady state. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

As coníferas são o mais antigo componente arbóreo das florestas modernas do Hemisfério Sul. As araucárias, em especial, despertam o interesse por seu aspecto proeminente nas matas, sua ampla distribuição geográfica, embora disjunta, e pelo valor de sua madeira. Assim, em qualquer formulação de estratégias conservacionistas estes elementos devem ser levados em conta. Além disso, sua resiliência aos efeitos ambientais e às pragas as tornam especialmente indicadas para projetos de restauração. Essas estratégias não apenas propiciarão a sua conservação, mas também de muitos organismos, inclusive o homem, que sempre utilizaram seus valiosos recursos naturais (DUTRA; STRANZ, 2009).

Em florestas naturais, ao contrário dos plantios florestais, o crescimento individual e o crescimento da floresta não podem ser igualados. Nas plantações homogêneas não há ingresso e, quando bem manejadas, a mortalidade é desprezível. Neste caso, é correto assumir que o crescimento da população é igual à soma dos crescimentos das árvores individuais (ALDER; SYNNOTT, 1992).

No entanto, o crescimento das árvores em florestas naturais durante um período apresenta três componentes: a) crescimento ou incremento da árvore individual; b) mortalidade; c) ingresso, ou o aparecimento de novas árvores, vinda da regeneração, nas classes de diâmetro inferiores (FIGUEIREDO FILHO; DIAS, 2008).

Para Azevedo, Souza e Jesus (1995), o estudo do ingresso em florestas tropicais reveste-se de especial importância do ponto de vista silvicultural, uma vez que sua quantidade e sua qualidade determinam quão satisfatoriamente o povoamento está sendo alimentado, com mudas e árvores pequenas de espécies desejáveis. Para a produção florestal ser sustentável é necessário que grande número de regeneração das espécies, economicamente importantes, ingresse regularmente no povoamento e que um número mínimo de árvores sobreviva e cresça ao tamanho de abate a cada ciclo de corte.

Outro aspecto importante para a definição do manejo de espécies florestais é conhecer a morfometria das árvores, obtida a partir das medidas de variáveis como diâmetro a 1,30 m do solo (DAP), altura e variáveis morfométricas da copa (KLEIN et al., 2017).

O estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos florestais, atributos do solo e do relevo, i.e., do potencial produtivo e das principais limitações à

produção de uma determinada área ou região, torna-se essencial quando se tem como objetivo o manejo da floresta e dos recursos indiretos por ela mantidos, evitando a exaustão e a degradação e visando à máxima produtividade sustentável, principalmente quando se referem às florestas nativas (JONAS, 2003).

Conhecer o padrão de crescimento de florestas ou, na forma simples, de uma espécie florestal, traduz-se em benefícios ambientais, sociais e econômicos das técnicas de manejo florestal. Conseguir expressar matematicamente o crescimento de variáveis dendrométricas no tempo de uma espécie e, se possível, agregado variáveis ambientais, reflete a capacidade de administrar florestas em função das necessidades do homem e, melhor ainda, sua habilidade de não depredar o meio ambiente (HESS, 2006).

Por outro lado, é fundamental determinar qual o ponto de estado estável (*steady state*) da floresta para ter a garantia de produções sustentáveis ótimas e constantes.

A proposta da sustentabilidade e preservação das florestas naturais, problema que perdurou dos séculos passados até o presente, necessitando de uma legislação proibitiva e taxativa para evitar a extinção da espécie, mas que conserva as dúvidas sobre a viabilidade do seu manejo, o crescimento destas populações e as informações dendrométricas para ajuste de estimativas confiáveis de produção destas florestas.

As matas com araucária ocuparam no passado, 20 milhões de ha da paisagem no Sul do Brasil. A crescente necessidade de terras para a agricultura e pecuária, bem como as amplas possibilidades da utilização de sua madeira, acarretou, desde a metade do século passado, a exploração e destruição dessas matas de uma forma tão intensa como em nenhum outro ecossistema florestal na América do Sul. Das florestas nativas na área de ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, sobraram, em 1980, menos de 3% (MACHADO; SIQUEIRA, 1980).

*A. angustifolia* desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural na região sul do Brasil. Apesar da existência de instrumentos legais que impedem a exploração dessa espécie, sua madeira continua sendo considerada muito valiosa.

Com isso, o objetivo deste capítulo foi propor alternativas para subsidiar planos de manejo com critérios de sustentabilidade de *Araucaria angustifolia* em três áreas de ocorrência natural, em Santa Catarina, Brasil.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em remanescentes florestais de Floresta Ombrófila Mista, nos municípios de Bom Jardim da Serra (área 1), Painel (área 2) e São José do Cerrito (área 3), localizados em Santa Catarina, conforme foi descrito no Capítulo 1.

### 2.2 MESURAÇÃO DE DADOS

Os dados utilizados neste capítulo provêm das 226 árvores amostradas em três diferentes áreas em Santa Catarina, conforme descritos no Capítulo 2.

### 2.3 CICLOS DE CORTE

Foi definido 40 cm de diâmetro mínimo de corte para as simulações, com base no histórico de comercialização da araucária. Porém, para a área 2 optou-se por aumentar o diâmetro mínimo de corte para as simulações (50 cm), devido ao grande número de indivíduos nas classes acima de 40 cm.

Os ciclos de corte foram determinados em períodos de 10 em 10 anos, de acordo com o crescimento da espécie e, principalmente, pela grande densidade da espécie nas áreas. Por outro lado, a utilização de ciclos de 10 anos seria uma alternativa mais atraente para utilização da madeira, visto que a maioria das propriedades em Santa Catarina é de pequenos produtores. Portanto, o planejamento da exploração em intervalos menores garantiria entradas mais frequentes para os proprietários.

### 2.4 SIMULAÇÕES DE CORTE E ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA

Com base nos incrementos obtidos no Capítulo 2 e os volumes obtidos no Capítulo 3, realizou-se simulações da exploração por classe diamétrica, para identificar o volume de produção com ciclos de 10 anos. Essas simulações visavam

identificar a capacidade de recuperação da floresta e o estado estável da população em cada uma das áreas (BUONGIORNO; GILLESS, 1987).

O procedimento utilizado para as simulações foi o de projeção por classe diamétrica (Razão de movimentos), segundo indicado por Alder (1995). Para cada classe diamétrica foram utilizados os incrementos médios obtidos das séries de crescimento.

Foram assumidos valores de recrutamento para cada área, de acordo com a estrutura da floresta e dados da literatura, sendo estabelecidos os valores de recrutamento ao ano de 0,5%, 1,5% e 3% para as áreas 1, 2 e 3, respectivamente. A mortalidade trabalhada foi de 1% ao ano (SANQUETTA, 2008; RODRIGUES, 2016).

Foi identificado o estado estável da floresta rodando a matriz até a estabilização da produção. Os valores obtidos no ciclo final foram considerados como os valores máximos de produção para cada área.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 VOLUME DE MADEIRA APÓS MANEJO

A determinação do estado estável da floresta demonstrou que o manejo florestal nas áreas não irá influenciar a capacidade de manutenção da floresta. A exploração seria direcionada às árvores acima da capacidade de suporte das áreas, que atualmente poderiam ser definidas como super estocadas.

Após a retirada das árvores com DAP  $\geq 40$  cm para as áreas 1 e 3, e DAP  $\geq 50$  cm para a área 2, obteve-se o volume de produção da floresta (Tabela 15). É possível observar que a partir dos 90 anos, a floresta na área 1 atinge seu estado estável e produz o volume de  $33,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ . Na área 2, o estado estável é atingido aos 80 anos, estabilizando a floresta em  $33,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ , e na área 3, que possui melhor crescimento, o estado estável da floresta é obtido a partir dos 50 anos.

TABELA 15 - SIMULAÇÃO DO VOLUME ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) PRODUZIDO EM CADA CICLO DE CORTE PARA *Araucaria angustifolia* EM TRÊS LOCAIS EM SANTA CATARINA, BRASIL.

Locais	Tempo (anos)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
A1	53,5	53,2	48,4	43,5	40,3	38,7	37,1	35,5	35,5	33,9	33,9
A2	164,5	69,5	48,9	38,6	36,0	36,0	36,0	36,0	33,4	33,4	33,4
A3	84,9	71,2	197,0	119,7	116,7	113,6	113,6	113,6	113,6	113,6	113,6

FONTE: A autora (2020).

NOTA: A1 = Bom Jardim da Serra; A2 = Painei; A3 = São José do Cerrito.

#### 3.2 ÁREA 1

A densidade obtida na área 1, mostra que a estabilização ocorre com  $300 \text{ ind. ha}^{-1}$  (Tabela 16), e aproximadamente 60% da área ainda fica com a cobertura de copa. O manejo liberaria 40% da área, que seria o efeito causado por desbaste, se compararmos com uma floresta plantada com densidade de árvores semelhante.

TABELA 16 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA *Araucaria angustifolia* EM BOM JARDIM DA SERRA (ÁREA 1) EM SANTA CATARINA, BRASIL.

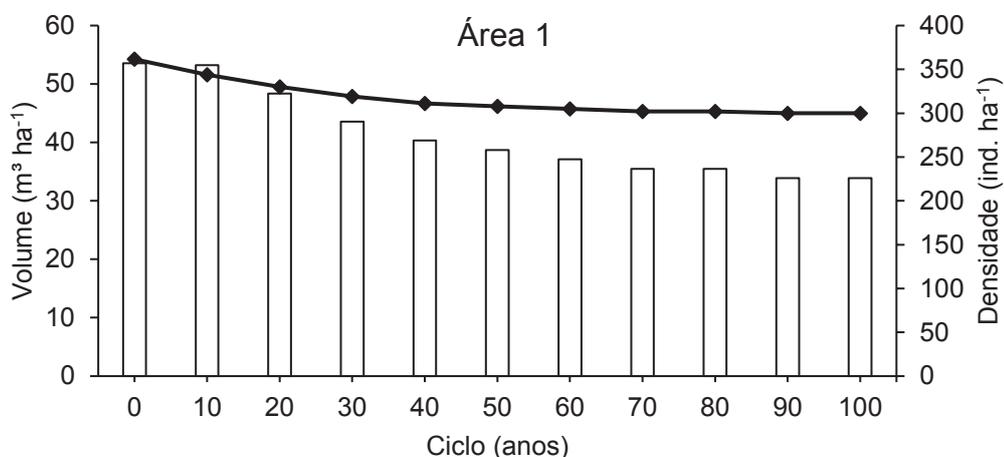
DAP	Tempo (anos)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
15	110	113	115	116	116	117	117	117	117	117	117
25	105	96	92	90	89	89	89	89	89	89	89
35	113	102	93	86	81	78	76	74	74	73	73
45	32	33	30	27	25	24	23	22	22	21	21
55	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ind. ha <sup>-1</sup>	362	344	330	319	311	308	305	302	302	300	300
ac tot	9.714	9.141	8.543	8.052	7.710	7.540	7.398	7.257	7.257	7.155	7.155
ac rem	7.662	7.073	6.664	6.360	6.144	6.036	5.957	5.878	5.878	5.838	5.838

FONTE: A autora (2020).

NOTA: DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); Ind. ha<sup>-1</sup> = número de indivíduos por hectare; ac tot = área de copa total em m<sup>2</sup>; ac rem = área de copa remanescente em m<sup>2</sup>.

O volume retirado da floresta e a densidade de indivíduos nos ciclos são apresentados na Figura 18. Foi simulada a retirada de todos os indivíduos com DAP  $\geq 40$  cm no primeiro ciclo, resultando na produção de, aproximadamente, 53,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Após 10 anos, esse valor passaria a 53,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e após 20 anos 48,4 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e assim sucessivamente até a estabilização do volume de corte. Na área 1 a estabilização de produção ocorre aos 90 anos, com 33,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

FIGURA 18 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA *Araucaria angustifolia* EM BOM JARDIM DA SERRA, SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: No eixo primário das ordenadas = volume em m³ ha⁻¹. No eixo secundário das ordenadas = densidade de *A. angustifolia*, em ind. ha⁻¹. No eixo das abscissas = Ciclo de corte em anos.

### 3.3 ÁREA 2

A densidade obtida na área 2, mostra que a estabilização ocorre com 155 ind. ha⁻¹ (Tabela 17), e aproximadamente 41% da área ainda fica com a cobertura de copa. O manejo liberaria 60% da área de copa.

TABELA 17 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA *Araucaria angustifolia* EM PAINEL (ÁREA 2) EM SANTA CATARINA, BRASIL.

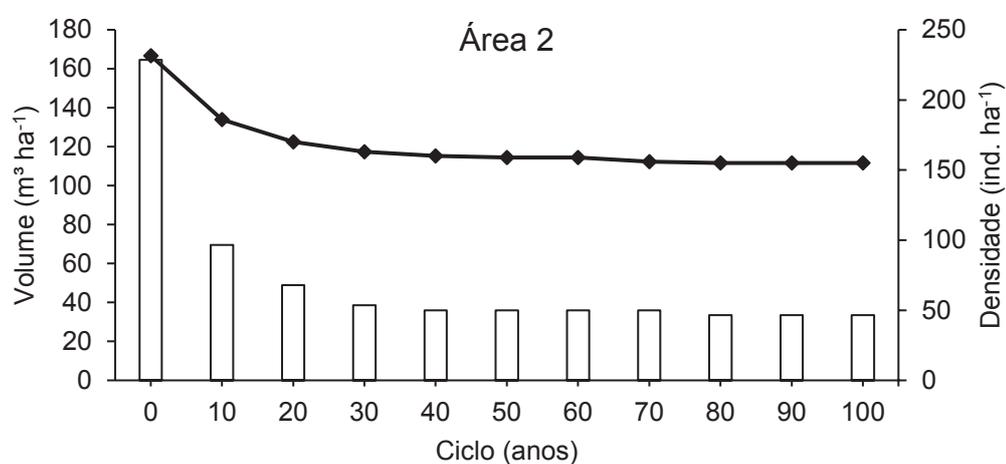
DAP	Ciclo (anos)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
15	52	45	42	41	41	41	41	41	41	41	41
25	32	41	41	39	38	38	38	37	37	37	37
35	33	31	35	37	37	36	36	35	35	35	35
45	60	42	33	31	30	30	30	29	29	29	29
55	34	27	19	15	14	14	14	14	13	13	13
65	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ind. ha⁻¹	232	186	170	163	160	159	159	156	155	155	155
ac tot	12.498	8.160	7.083	6.654	6.483	6.436	6.436	6.300	6.219	6.219	6.219
ac rem	7.052	5.962	5.536	5.433	5.343	5.297	5.297	5.160	5.160	5.160	5.160

FONTE: A autora (2020).

NOTA: DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); Ind. ha⁻¹ = número de indivíduos por hectare; ac tot = área de copa total em m²; ac rem = área de copa remanescente em m².

O volume produzido na floresta e a densidade de indivíduos nos ciclos são apresentados na Figura 19. Foi simulada a retirada de todos os indivíduos com DAP  $\geq 50$  cm no primeiro ciclo, resultando na produção de aproximadamente  $164,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Após 10 anos, esse valor passaria a  $69,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e após 20 anos seria  $48,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , e assim sucessivamente até a estabilização do volume de corte. Na área 2 a estabilização de produção ocorre aos 80 anos, com  $33,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ .

FIGURA 19 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA *Araucaria angustifolia* EM PAINEL, SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: No eixo primário das ordenadas = volume em  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . No eixo secundário das ordenadas = densidade de *A. angustifolia*, em ind.  $\text{ha}^{-1}$ . No eixo das abscissas = Ciclo de corte em anos.

### 3.4 ÁREA 3

A densidade obtida na área 3, mostra que a estabilização ocorre com 385 ind.  $\text{ha}^{-1}$  (Tabela 18), e aproximadamente 66% da área ainda fica com a cobertura de copa.

TABELA 18 - DENSIDADE E COBERTURA FLORESTAL OBTIDAS EM CADA CICLO DE CORTE PARA *Araucaria angustifolia* EM SÃO JOSÉ DO CERRITO (ÁREA 3) EM SANTA CATARINA, BRASIL.

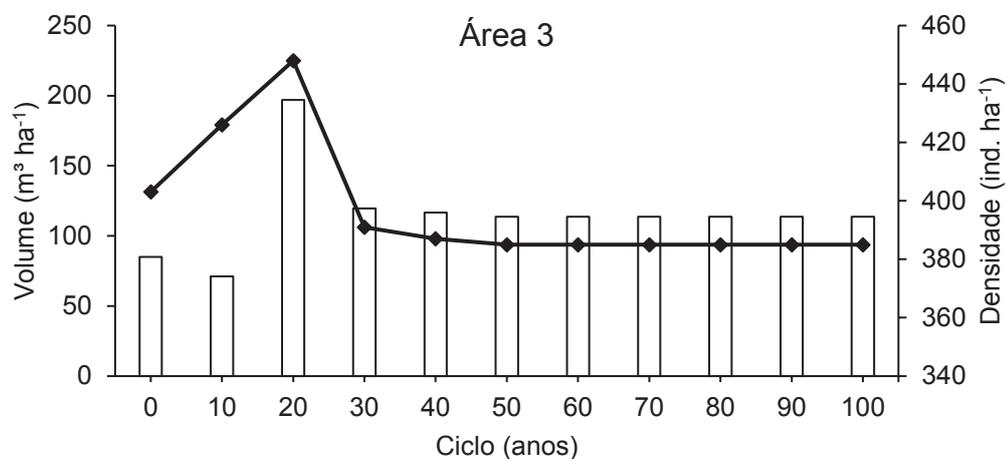
DAP	Ciclo (anos)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
15	77	98	96	96	96	96	96	96	96	96	96
25	208	86	102	100	101	101	101	101	101	101	101
35	70	195	120	116	113	113	113	113	113	113	113
45	38	47	130	79	77	75	75	75	75	75	75
55	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ind. ha <sup>-1</sup>	403	426	448	391	387	385	385	385	385	385	385
ac tot	10.688	12.284	14.615	11.575	11.378	11.267	11.267	11.267	11.267	11.267	11.267
ac rem	7.694	9.653	7.336	7.151	7.067	7.067	7.067	7.067	7.067	7.067	7.067

FONTE: A autora (2020).

NOTA: DAP = diâmetro a 1,30 m de altura do solo (cm); Ind. ha<sup>-1</sup> = número de indivíduos por hectare; ac tot = área de copa total em m<sup>2</sup>; ac rem = área de copa remanescente em m<sup>2</sup>.

O volume produzido pela floresta e a densidade de indivíduos nos ciclos são apresentados na Figura 20. Foi simulada a retirada de todos os indivíduos com DAP  $\geq 40$  cm no primeiro ciclo, resultando na produção de aproximadamente 84,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Após 10 anos, esse valor passaria a 71,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> e após 20 anos seria 197,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, e assim sucessivamente até a estabilização do volume de corte. Na área 3 a estabilização de produção ocorre aos 50 anos, com 113,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

FIGURA 20 - SIMULAÇÃO DO AJUSTE DA PRODUÇÃO ATÉ ATINGIR O ESTADO ESTÁVEL DA FLORESTA, COM VOLUME E DENSIDADE DE INDIVÍDUOS SUSTENTÁVEIS PARA *Araucaria angustifolia* EM SÃO JOSÉ DO CERRITO, SANTA CATARINA, BRASIL.



FONTE: A autora (2020).

NOTA: No eixo primário das ordenadas = volume em  $m^3 ha^{-1}$ . No eixo secundário das ordenadas = densidade *A. angustifolia*, em ind.  $ha^{-1}$ . No eixo das abscissas = Ciclo de corte em anos.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 ÁREA 1

Para a área 1, foi trabalhado com diâmetro de corte de 40 cm baseando na madeira que será disponibilizada pós corte, com dimensões compatíveis com o mercado potencial. Ciclos de corte de 10 anos demonstram que após 90 anos de manejo, a floresta apresentará estrutura estável.

Essa retirada de indivíduos proporcionará abertura para desenvolvimento das árvores (espaço vital) remanescentes. Essa área foi a que apresentou menor crescimento, comparada as áreas 2 e 3.

A retirada no primeiro ciclo é maior que as seguintes. Possivelmente, essa condição identificada na simulação resulta de um super estoque existente na floresta, que faz com que o volume de madeira simulado para ser retirado na primeira ocasião seja maior. Após essa retirada, a floresta tende a estabilizar ao volume de produção sustentável para a população com a densidade e estrutura presente na área 1.

Analisando a área de copa remanescente e área de copa total em cada ciclo, é possível perceber que fica na floresta aproximadamente 80%. Os 20% retirados favorecem o desenvolvimento das árvores regenerantes e das remanescentes.

O número de árvores que fica na população após o estado estável reflete uma densidade compatível com o necessário para o desenvolvimento das árvores.

O valor de produção obtido pela simulação, após atingir o estado estável, foi de  $3,39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , valor esse próximo ao encontrado por Nakajima (1993) quando simulou exploração de araucária em floresta primária pelo método de produção contínua ( $2,68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

### 4.2 ÁREA 2

Pela análise da área de copa na área 2 observa-se que no primeiro ciclo a retirada equivale a pouco mais de 40%. Porém, após 10 anos a retirada representa menos de 30%, o mesmo ocorre no ciclo dos 20 anos. A partir de 30 anos após o início do manejo, a floresta apresenta maior estabilização e a área de copa retirada se mantém em pouco menos de 20% para este e os próximos ciclos. Isso mostra que a área de copa total se mantém em mais de 80% após os cortes.

O manejo, em especial nessa área, ajudaria na questão dos remanescentes, pois como visto no capítulo 1, a área possui uma ocupação de copa muito além do hectare (super estocada), e isso faz com que a exploração proporcione abertura do espaço vital para as árvores remanescentes.

O valor de produção obtido pela simulação, após atingir o estado estável, foi de  $3,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , valor esse semelhante ao encontrado para a área 1, e ao encontrado por Nakajima (1993).

#### 4.3 ÁREA 3

A área 3, apresentou crescimento superior ao observado nas outras áreas de estudo, sendo semelhante aos observados em plantios (CARVALHO, 2003). Possivelmente, as características de formação do remanescente, com o avanço de estabelecimento das árvores em área de campo, garantiram às plantas espaço vital com pouca ou nenhuma competição.

O estado estável da floresta ocorre aos 50 anos, demonstrando que em boas condições de crescimento a araucária consegue atingir seu estado estável mais precocemente do que observado em outras áreas com floresta natural.

Em relação à área de copa, no primeiro ciclo ficaria próximo dos 72% de área de copa remanescente. Após 10 anos, em um próximo ciclo, a proporção de retirada seria de 21%, deixando cobertura de copa de 79%. Próximo ao estado estável da floresta, após 30 anos do início do manejo, a área de copa remanescente em cada ciclo sequencial seria de aproximadamente 62%.

O valor de produção obtido pela simulação, após atingir o estado estável, foi de  $11,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Este valor é mais elevado que o encontrado por Curto et al., (2017) em plantio não manejado de *Araucaria angustifolia* ( $6,36 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ). Porém, inferior ao que pode ser obtido em plantios, segundo Carvalho (2003), que é de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Analisando-se a simulação, 20 anos após o primeiro ciclo (antes de se alcançar o estado estável), foi obtido valor de produção de  $19,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Isso mostra a importância que a densidade de árvores tem sobre o crescimento das plantas.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização dos ciclos de corte de 10 anos para cada área seria possível, sendo a extração definida de acordo com o crescimento de cada área.

Para a área 1, a simulação indica que o estado estável da florestal ocorre após 90 anos do primeiro corte de manejo, o que equivaleria manter na floresta uma estrutura com 300 árvores  $\text{ha}^{-1}$ ,  $104 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volume de madeira e uma produção ótima de  $33,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ .

Na área 2, o estado estável da floresta ocorreu após 80 anos, resultando em uma estrutura de 155 árvores  $\text{ha}^{-1}$ ,  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volume de madeira e uma produção ótima de  $33,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ .

A área 3, foi o de melhor desenvolvimento, que possibilitou apresentação da estrutura estável da floresta em menos tempo, ocorrendo após 50 anos do início do manejo. Mantendo na área densidade de 385 árvores  $\text{ha}^{-1}$ ,  $154 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de volume de madeira e uma produção ótima de  $113,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ciclo}^{-1}$ .

## REFERÊNCIAS

- ALDER, D. **Growth modelling for mixed tropical forests**. In: Tropical Forestry Papers Number 30 – Oxford Forestry Institute Department on Plant Science. 231p. 1995.
- ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992. (Tropical Forestry Paper 25).
- AZEVEDO, C. P. de; SOUZA, A. L. de; JESUS, R. M. de. Predição do ingress total de um povoamento florestal inequiâneo na mata atlântica. **Revista Árvore**, v. 19, n. 1, p. 50-64, 1995.
- BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Forest management and economics: a primer in quantitative methods**. New York: Macmillan Publishing Company, 285p. 1987.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1º ed. Colombo, PR: Coleção espécies arbóreas brasileiras. Embrapa Informação Tecnológica, Distrito Federal, Brasília. Embrapa Florestas. 2003.
- CURTO, R. A.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; PELLICO NETTO, S. Critérios para o manejo de plantios de araucária para a produção madeireira, p. 145-159. *In*: Wendling, I.; Zanette, F. (eds), **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia, p. 15-33. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N. Estudos da dinâmica de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista nos estados do Paraná e Santa Catarina: relato de experiências com parcelas permanentes. In: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 149-176.
- HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

JONAS, L. O. **Emprego de geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo.** Piracicaba, 220p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2003.

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.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: Conferência IUFRO "Problemas florestais do gênero *Araucaria*", 1989, Curitiba. **Anais...** Curitiba, p. 4-9. 1980.

NAKAJIMA, N. Y. **Utilização do Sistema Indonésio de corte seletivo para simular a produção contínua de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em floresta primária.** 1993. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de floresta ombrófila mista.** 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2016.

SANQUETTA, C. R. Estudos ecológicos de longa duração: exemplo de aplicação para a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, Brasil. In: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes.** Curitiba: Funpar, 2008. p. 149-176.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

*Araucaria angustifolia* sempre foi uma espécie com grande potencial de uso, em função das qualidades de sua madeira, fazendo com que em determinados períodos do passado a espécie tenha sido muito explorada. Após essa fase, seu uso foi impedido com base em legislação restritiva. Entretanto, manter remanescentes florestais intocados, sem manejo, pode ser um problema ainda maior para garantir a continuidade da dinâmica da espécie.

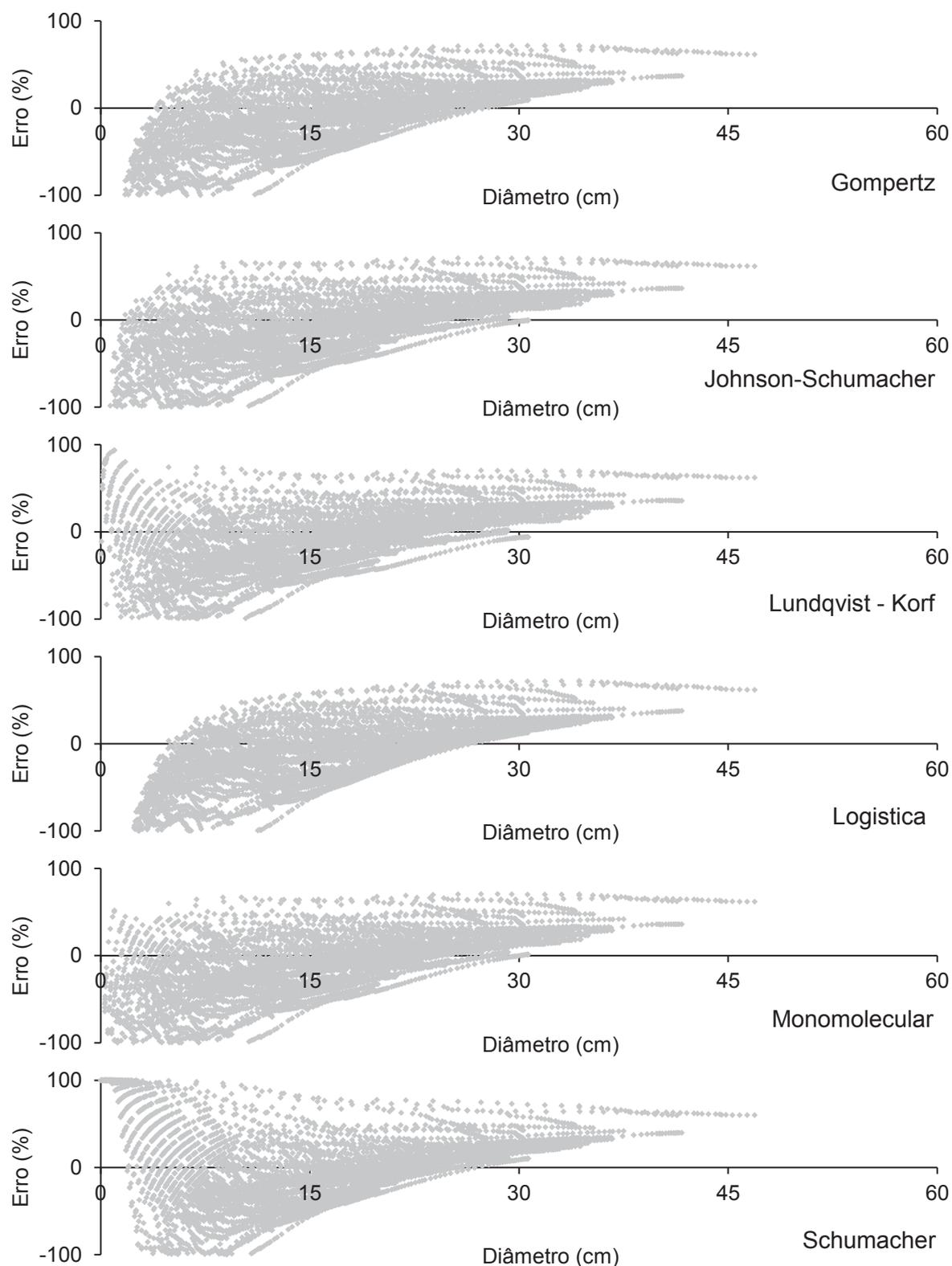
A espécie apresenta diferentes padrões de crescimento em condição natural, mostrando a plasticidade da araucária para atingir potenciais elevados quando em condições adequadas. Mesmo com grande amplitude de incremento observada nos diferentes locais de ocorrência natural da espécie, é possível garantir sua produção sustentável, devido às altas densidades.

Entretanto para que os órgãos de fiscalização permitam que seja implementado manejo da araucária de forma sustentável em remanescentes, normas de baixo impacto devem ser utilizadas para a espécie, assim como são utilizadas para o manejo na Floresta Amazônica.

Além disso, estudos econômicos devem ser desenvolvidos para o cálculo da sustentabilidade econômica, de acordo com as características de cada propriedade.

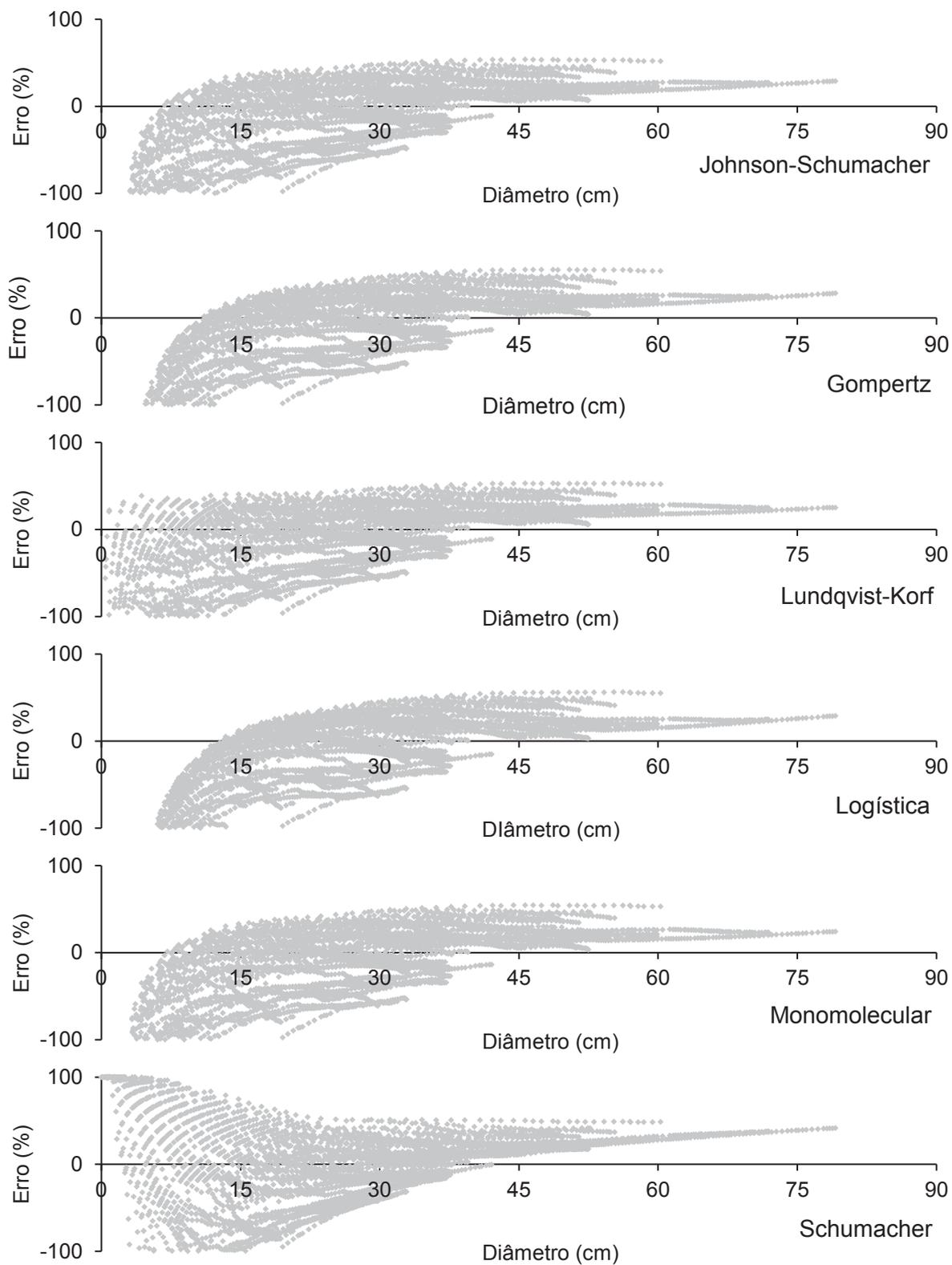
Os procedimentos utilizados nessa tese, para determinação dos potenciais de manejo para as áreas em estudo, mostraram-se eficientes e podem ser replicados em outras áreas como subsídio à legislação para implementação no manejo florestal sustentável para *Araucaria angustifolia*.

**APÊNDICE I – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO  
DIAMÉTRICO PARA *Araucaria angustifolia* EM BOM JARDIM DA  
SERRA (ÁREA 1), EM SANTA CATARINA.**



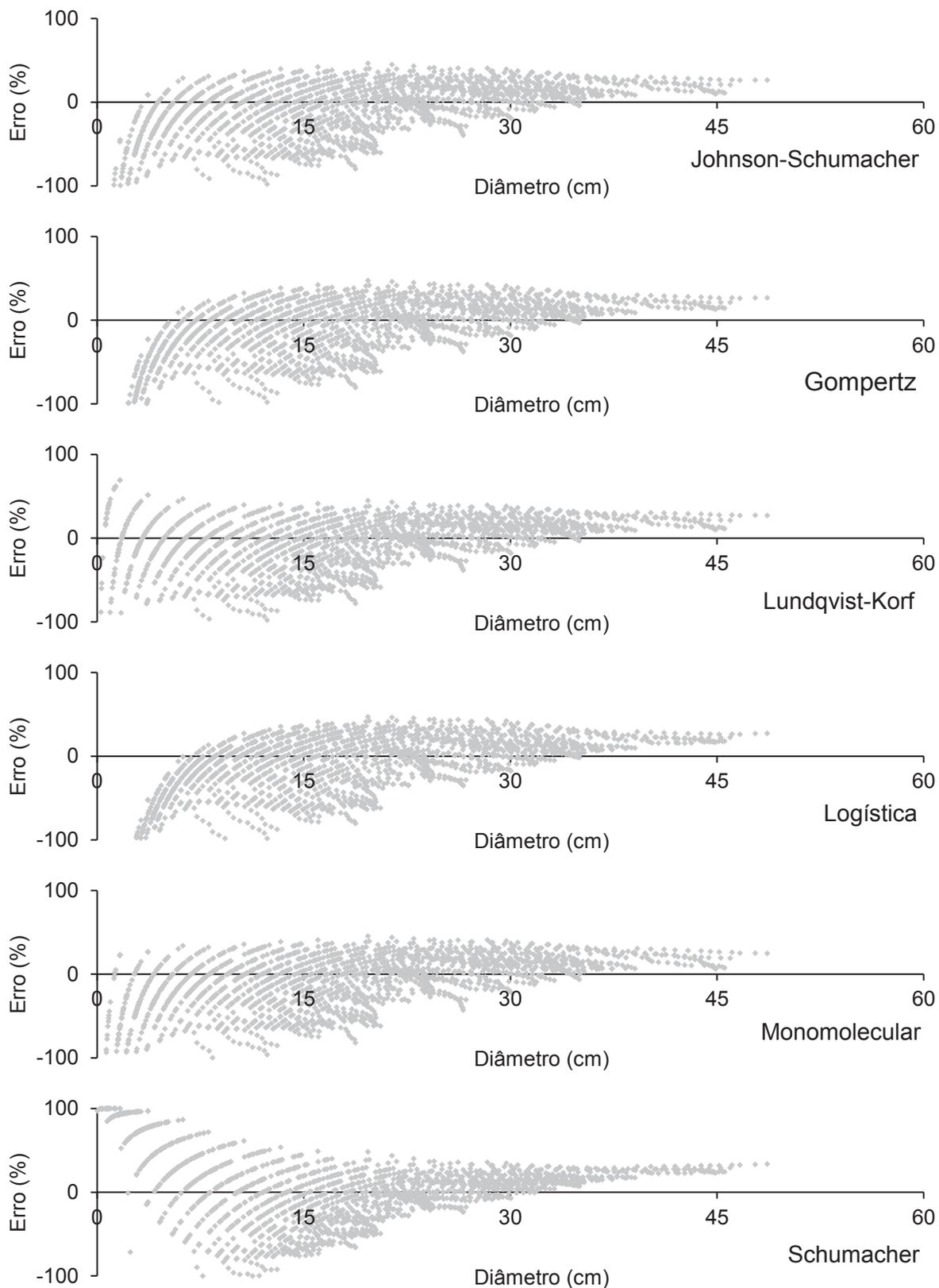
FONTE: A autora (2020).

**APÊNDICE II – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO  
DIAMÉTRICO PARA *Araucaria angustifolia* EM PAINEL (ÁREA 2),  
EM SANTA CATARINA.**



FONTE: A autora (2020).

**APÊNDICE III – RESÍDUOS DO AJUSTE DAS EQUAÇÕES DE CRESCIMENTO  
DIAMÉTRICO PARA *Araucaria angustifolia* EM SÃO JOSÉ DO  
CERRITO (ÁREA 3), EM SANTA CATARINA.**



FONTE: A autora (2020).

## REFERÊNCIAS

ALDER, D. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forest. In: MILLER, F. R.; ADAM, K. L. **Wise management of tropical forests**. Oxford: Oxford Forest Institute, 1992. p. 189-200.

ALDER, D. **Growth modelling for mixed tropical forests**. In: Tropical Forestry Papers Number 30 – Oxford Forestry Institute Department on Plant Science. 231p. 1995.

ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. **Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest**. Oxford: Oxford Forestry Institute, 1992. (Tropical Forestry Paper 25).

ASNER, G. P.; PALACE, M.; KELLER, M.; PEREIRA JR., R.; SILVA, J. N. M.; ZWEEDE, J. C. Estimating canopy structure in an Amazon forest from laser range finder and IKONOS satellite observations. **Biotropica**, v. 34, n. 4, p. 483-492, 2002.

ASSMANN, E. **Principles of forest yield study**. Oxford, New York: Pergamon Press, 1970.

AZEVEDO, C. P. de; SOUZA, A. L. de; JESUS, R. M. de. Predição do ingresso total de um povoamento florestal inequiânneo na mata atlântica. **Revista Árvore**, v. 19, n. 1, p. 50-64, 1995.

BACKES, A. Distribuição geográfica atual da Floresta com Araucária: condicionamento climático, p. 39-44. In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

BECKERT, S. M.; ROSOT, M. A. D.; ROSOT, N. C. Crescimento e dinâmica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 209-218, 2014.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento de manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. Manejo de produção em florestas naturais da Amazônia: mitos e verdades. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 4, p. 292-295, out./dez. 2015.

BRAZ, E. M. ; MATTOS, P. P.; THAINES, F.; MADRON, L. D.; GARRASTAZU, M. C.; CANETTI, A.; D'OLIVEIRA, M. V. N. Criteria to be considered to achieve a sustainable second cycle in Amazon Forest. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 209-225, 2015.

BRÜCHERT, F.; GARDINER, B. The effect of wind exposure on the tree aerial architecture and biomechanics of Sitka spruce (*Picea sitchensis*, Pinaceae), v. 93, n. 10, p. 1512-1521. 2006.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Forest management and economics: a primer in quantitative methods**. New York: Macmillan Publishing Company, 285p. 1987.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 548 p.

CANETTI, A. **Estrutura, dinâmica e manejo sustentável em ecótono de Floresta Amazônica**. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2019.

CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; RICKEN, P.; PELLICO NETTO, S. Retrospective analysis of competition in a forest remnant: A case study of *Podocarpus lambertii* in the Araucaria Forest. **Dendrochronologia**, v. 40, p. 43–49, 2016.

CARDOSO, E. J. B. N; VASCONCELLOS, R. L. F. **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 266 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA, 1994. 640p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1º ed. Colombo, PR: Coleção espécies arbóreas brasileiras. Embrapa Informação Tecnológica, Distrito Federal, Brasília. Embrapa Florestas. 2003.

CHEN, Q.; BALDOCCHI, D.; GONG, P.; KELLY, M. Isolating individual trees in a savanna Woodland using small footprint lidar data Photogramm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.72, n. 8, pp. 923-932, 2006.

CISNEROS, A. B.; MOGLIA, J. G.; ÁLVAREZ, J. A. Morfometría de copa em *Prosopis alba* Griseb. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 1-22. 2019.

CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Análisis de la regeneración de árboles del dossel em bosque muy húmedo tropical: aspectos teóricos Y prácticos. **Revista de Biología Tropical**, v. 35, supl.1, p. 41-54, 1987.

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

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, 2016.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. Curitiba, 250p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná. 2015.

CURTO, R. A.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; PELLICO NETTO, S. Critérios para o manejo de plantios de araucária para a produção madeireira, p. 145-159. *On*: Wendling, I.; Zanette, F. (eds), **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; OLIVEIRA, L. C.; ACUÑA, M. H. A.; BRAZ, E. M. Twenty years monitoring growth dynamics of a logged tropical forest in Western Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 493–502, 2017.

DANIEL, T. W.; HELMS, J. A.; BAKER, F. S. **Principles of silviculture**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

DUARTE, L. S.; DILLENBURG, L. R. Ecophysiological responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seedlings to different irradiance levels. **Australian Journal of Botany**, v.48, p. 531-537. 2000.

DUARTE, L. S.; HARTZ, S. M.; PILLAR, V. D. A dinâmica de nucleação dos pinhais sobre os campos no planalto sul-riograndense, p. 75-84. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

DURIGAN, M. E. **Florística, dinâmica e análise proteica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR**. Curitiba, 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 1999.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrella fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89. 2004.

DUTRA, T. L.; STRANZ, A. Biogeografia, evolução e ecologia da família Araucariaceae: o que mostra a Paleontologia, p. 15-33. *In*: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

EPAGRI. **Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense**: UPR 3. Florianópolis: EPAGRI/CIRAM, 2002. 70p.

FELDPAUSCH, T. R. et al. Height-diameter allometry of tropical forest trees. **Biogeosciences Discussions**, v. 7, p. 7727-7793, 2011.

FELFILLI, J. M. Diameter and height distributions in a gallery forest tree community and some of its main species in central Brazil over a six-year period (1985-1991). **Brazilian Journal of Botany**, v. 20, n. 2, p. 155-162, 1997.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N. Estudos da dinâmica de fragmentos de Floresta Ombrófila Mista nos estados do Paraná e Santa Catarina: relato de experiências com parcelas permanentes. *In*: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 149-176.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS: Ed. UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FORTINI, L. B.; CROPPER, W. P.; ZARIN, D. J. Modeling the complex impacts of timber harvests to find optimal management regimes for Amazon tidal floodplain forests. **PLoS ONE**, v. 10, n. 8, p. 1–18, 2015.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 576p.

GENTRY, A. H. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographic gradients. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 75, n. 1, pp. 1-34. 1988.

GOOGLE. Google website. <http://google.com.br/>, 2019.

GOOGLE. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2019.

GROENENDIJK, P.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. A. Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 396–407, 2017.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S. dos; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: Simões, L. L.; Lino, C. F. (eds.). **Sustentável Mata Atlântica: A exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002. 216p.

HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul**. 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I. A.; NASCIMENTO, B. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* en sitios naturales en el sur de Brasil. **Bosque** (Valdivia), v. 37, n. 3, p. 603-611, 2016.

HESS, A. F.; LOIOLA, T.; SOUZA, I. A.; MINATTI, M.; RICKEN, P.; BORSOI, G. A. Forest management for the conservation of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil. **Floresta**, v. 48, n.3, p. 373–382, 2018.

HESS, A. F.; RICKEN, P.; CIARNOSCHI, L. D. Dendrocronologia, incremento e manejo florestal em Floresta de Araucária - SC. **Ciência Florestal**, v. 28, n.4, p. 1568–1582, 2018.

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento em volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em três regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 20, n. 1, p.107-122. 2010.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber. 123 p. 1959.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree Ring Bulletin**. Vol 43, 69–78. 1983.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons. 402 p. 1982.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, BR). **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas de manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria de Geociências, 2012. 271 p. (Manuais Técnicos de Geociências, 1).

JONAS, L. O. **Emprego de geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo**. Piracicaba, 220p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2003.

KLEIN, R. M. 1960. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, v. 12, p. 17-44, 1960.

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.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. **Araucária: a floresta do Brasil meridional** = Araucaria: the meridional Brazil forest. Curitiba: Olhar brasileiro, 2010. 168 p.

KOCH, B.; HEYDER, U.; WEINACKER, H. Detection of individual tree crowns in airborne lidar data Photogramm. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 4, pp. 357-363, 2006.

KRAMER, P. J.; KOSLOWSKI T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 745 p. 1960.

KWAK, D. A.; LEE, W.K.; LEE, J.H.; BIGING, G. S.; GONG, P. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. **Journal of Forest Research**, v. 12, pp. 425-434, 2007.

LAMBRECHT, F. R. **Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze sob manejo florestal na região noroeste do Rio Grande do Sul**. Frederico Westphalen, 71p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. 2017.

LARSON, P. R. Evaluating the environment for studies of the inheritance of wood properties. In: World consultation on forest and tree improvement, 1., 1963, Stockholm. **Proceedings**. Rome: FAO, 1963. p. 1-6.

LAWTON, R. O. Wind stress and elfin stature in a montane rain forest tree: an adaptive explanation. **American Journal of Botany**, v.69, pp. 1224-1230. 1982.

LE BEC, J.; COURBAUD, B.; LE MOGUÉDEC, G.; PÉLISSIER, R. Characterizing tropical tree species growth strategies: Learning from inter-individual variability and scale invariance. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 2015.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação**. In: Geografia do Brasil: Região Sul. v.2. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

LIEBERMAN, D.; LIEBERMAN, M.; PERALTA, R.; HARTSHORN, G. Tropical forest structure and composition on a large-scale altitudinal gradient in Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 84, n. 2, pp. 137-152. 1996.

LOIOLA, T. M.; HESS, A. F.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; DALLABRIDA, J. P.; DENEGA, A.; NASCIMENTO, B. Análise dendrocronológicas do crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto serrano de Santa Catarina. **Holos**. Ano 35, v. 2, e4927, 2019.

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 56, p. 5-16, jan./jul., Colombo-PR. 2008.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: Conferência IUFRO "Problemas florestais do gênero *Araucaria*", 1989, Curitiba. **Anais...** Curitiba, p. 4-9. 1980.

MÄHLER JUNIOR, J.K.F.; LAROCCA, J. F. Fitofisionomias, desmatamento e fragmentação da Floresta com Araucária, p. 243-252. In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade, G. (eds), **Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável**. Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

MAROCHI, C. I. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis* – Meliaceae) aplicados à avaliação de taxa de crescimento e dendroclimatologia**. Curitiba, 2007. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2007.

MATTOS, J. R. de. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 608p.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 218); (Embrapa Pantanal. Documentos, 112).

MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; AGUSTINI, A. F.; BRAZ, E. M.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Aceleração do crescimento em diâmetro de espécies da Floresta Ombrófila Mista nos últimos 90 anos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n. 64, p. 319-326, nov./dez. 2010.

MATTOS, P. P. de; SANTOS, A. T. dos; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Cândói, PR. Colombo, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 153-156, 2007a. Nota científica.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; RIVERA, H.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZU, M. C. Crescimento de *Araucaria angustifolia* na Reserva Florestal Embrapa/Epagri, Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 55, p. 107-114, 2007b. Nota científica.

MEDEIROS, J. de D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. Seleção de área para criação de unidade de conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, v.18, n.3, p. 33-50. 2005.

MIRANDA, Z. P. GUEDES, M. C.; ROSA, S. A.; SCHÖNGART. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees - Structure and Function**, v. 32, n. 1, p. 277–286, 2018.

MIRANDA, D. L. C. de; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; LATORRACA, J. V. F.; CARMO, J. F. do; LIMA, A. J. N. Using radiocarbon-calibrated dendrochronology to improve tree-cutting cycle estimates for timber management in southern Amazon forests. **Trees - Structure and Function**, v. 32, n. 2, p. 587–602, 2018.

NAKAJIMA, N. Y. **Utilização do Sistema Indonésio de corte seletivo para simular a produção contínua de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze em floresta primária**. 1993. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

NAKASHIZUKA, T.; YUSOP, Z.; NIK, A. R. Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia. **Journal of Tropical Forest Science**. v. 4, p.233-244, 1991.

NUTTO, L.; SPATHELF, P. Modelagem da desrama natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Revista Florestal**, v. 33, n. 3, p. 295-309, 2003.

OHSAWA, M.; NAINGGOLAN, P. H. J.; TANAKA, N.; ANWAR, C. Altitudinal zonation of forest vegetation on Mount Kerinci, Sumatra: with comparison to zonation in the temperate region of east Asia. **Journal of Tropical Ecology**, v.1, pp. 193–216, 1985.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. Porto Alegre, 2007. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OSMASTON, F. C. **The management of forests**. Dehra Dun, India: Natraj Publishers, 2010.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 95- 105, 2010.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; REIS, M. S. Regeneração de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1107-1119, out. 2011.

PORTÉ, A.; BARTELINK, H. H. Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management. **Ecological Modelling**, v. 150, n. 1-2, p. 141-188, 2002.

PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield**. Berlin: Springer-Verlag, 2009. 671 p.

PROCTOR, J.; LEE, Y. F.; LANGLEY, A. M.; MUNRO, W. R. C.; NELSON, T. Ecological studies on Gunung Silam, a small ultrabasic mountain in Sabah, Malaysia. I. Environment, forest structure and floristics. **Journal of Ecology**, v. 76, n. 2, pp. 320–340, 1988.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. In: San Jose, C.R.: Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura (IICA). 561 p. 1997.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. In: REITZ, R. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

RINN, F. TSAP Win v. 3.6: **Reference Manual**: Computer Program for Tree-Ring Analysis and Presentation. Heidelberg, Germany: RINNTECH, 1996.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no Planalto Catarinense**. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. 2014.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de floresta ombrófila mista**. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2016.

ROIG, F. A. **Dendrocronologia en los bosques del Neotropico: revision y prospeccion futura**. In: Roig, F.A. (Eds.) Dendrocronología en América Latina. Mendoza: EDIUNC. p.307-355. 2000.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 4, p. 473-480, out.-dez., 2009.

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na floresta nacional de São Francisco de Paula-RS. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba. **Anais...** [Curitiba]: Malinovski Florestal, 2012.

ROZENDAAL, D. M. A.; DURING, H. J.; STERCK, F. J.; ASSCHEMAN, D.; WIEGERAAD, J.; ZUIDEMA, P. A. Long-term growth patterns of juvenile trees from a Bolivian tropical moist forest: Shifting investments in diameter growth and height growth. **Journal of Tropical Ecology**, v. 31, n. 6, p. 519–529, 2015.

SANQUETTA, C. R. Estudos ecológicos de longa duração: exemplo de aplicação para a Floresta Ombrófila Mista no estado do Paraná, Brasil. In: SANQUETTA, C. R. **Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com uso de Parcelas permanentes**. Curitiba: Funpar, 2008. p. 149-176.

SANQUETTA, C. R. ARAUSIS: Sistema de simulação para manejo sustentável de florestas de Araucária. **Floresta**, v. 29, n. 12, 1999.

SANTAROSA, E.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Crescimento sazonal em *Araucaria angustifolia*: Evidências Anatômicas. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 1, p 618-620, jul. 2007.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ª ed. Santa Maria: FACOS-UFSM. 566 p. 2008.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1–2, p. 46–58, 2008.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras, MG: UFLA – Universidade Federal de Lavras; FEPE, 1998.

SHIMIZU, J. Y.; JAEGER, P.; SOPCHAKI, S. A. Variabilidade genética em uma população remanescente de araucária no Parque Nacional do Iguaçu, Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 41, p. 18-36, 2000.

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, MG: Ed. UFV, 2011. 272 p.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.; KRAUS, J. E. Breve História das Matas de Araucária. **Revista Floresta**. v. 99, p. 37-40. 1999.

SOUZA, A. F.; FORGIARINI, C.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Regeneration patterns of a long-lived dominant conifer and the effects of logging in southern South America. **Acta Oecologica**, v. 34, p. 221-232, 2008.

SOUZA, R. P. M.; POLISEL, R. T; SOUZA, V. C.; ASSIS, M. C. de; IVANAUSKAS, N. M. Estrutura da comunidade arbórea e aspectos da regeneração natural de remanescentes florestais paulistas com araucária, p. 89-132. In: Cardoso, E. J. B. N & Vasconcellos, R. L. F. (Ed.), **Floresta com araucária: composição florística e biota do solo**. Piracicaba: FEALQ, 2015. 266 p.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2012.

STERBA, H. **Forstliche ertragslehre**. Universitãt für Bodenkultur. Wien, 160p. 1992.

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.

VALÉRIO, Á. F.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Análise florística e estrutural do componente arbóreo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Clevelândia, Sudoeste do Paraná. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 6, n. 2, 2017.

VANCLAY, J. K. Aggregating tree species to develop diameter increment equations for tropical rainforests. **Forest Ecology and Management**, v. 42, p. 143-168, 1991.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield. Applications to Mixed Tropical Forests**. CAB INTERNATIONAL. Wallingford, UK. 312 p. 1994.

VOLKART, C. M. Determinación de la relación diámetro copa: diámetro tronco en *Araucaria angustifolia* y *Pinus elliottii* en la Provincia de Misiones. In: CONGRESO FORESTAL ARGENTINO, 1., 1969, Buenos Aires. **Actas...** Buenos Aires: Servicio Nacional Forestal. 1969.

WEAVER, P. L.; MURPHY, P. G. Forest structure and productivity in Puerto Rico's Luquillo mountains. **Biotropica**, v. 22, n. 1, pp. 69-82. 1990.

WEBB, D. B.; WOOD, P. J.; SMITH, J. P.; HENMAN, G. S. **A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations**. Oxford: Commonwealth Forestry Institute, 1984. 256p. (Tropical Forestry Papers, 15).

YAMADA, I. Forest ecological studies of the montane forest of Mt. Pangrango, West Java. IV. Floristic composition along the altitude. **South East Asian Studies**, v. 15, n. 2, pp. 226–254. 1977.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. Florianópolis. 193 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, n. 3, pp. 594-616, 1993.