

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

Alessandra Silva Marasciulo

**AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA DE COPA DA ESPÉCIE *Araucaria
angustifolia* (Bertol.) Kuntze COM USO DE GEOTECNOLOGIA NA
REGIÃO CENTRAL DE SANTA CATARINA**

**Santa Maria, RS
2017**

Alessandra Silva Marasciulo

**AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA DE COPA DA ESPÉCIE *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) Kuntze COM USO DE GEOTECNOLOGIA NA REGIÃO CENTRAL DE
SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

Orientador: Prof. Dr^o. Rudiney Soares Pereira

**Santa Maria, RS
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Marasciulo, Alessandra Silva

Avaliação da arquitetura de copa da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze com uso de geotecnologia na região central de Santa Catarina / Alessandra Silva Marasciulo.- 2017.

98 p.; 30 cm

Orientador: Rudiney Soares Pereira

Coorientador: Ervandil Costa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Volume de copa 2. RPA 3. Morfometria I. Soares Pereira, Rudiney II. Costa, Ervandil III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Alessandra Silva Marasciulo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: lekamarasciulo@gmail.com

Alessandra Silva Marasciulo

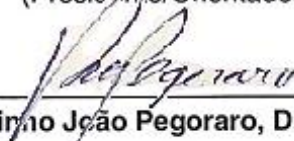
**AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA DE COPA DA ESPÉCIE *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) Kuntze COM USO DE GEOTECNOLOGIA NA REGIÃO CENTRAL DE
SANTA CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**

Aprovado em 20 de outubro de 2017:



Rudiney Soares Pereira, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Antonino João Pegoraro, Dr. (UFSM)



Thiago Floriani Stepka, Dr. (UDESC)

**Santa Maria, RS
2017**

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos,

A Deus, por abençoar e proteger meu caminho e colocar pessoas iluminadas em minha vida.

Aos meus pais, Fátima e Ítalo, e ao meu irmão, Leonardo, pelo amor incondicional, apoio em todos os momentos, carinho sem limites e preocupação. Em vocês encontro minha fonte de conforto, força e sabedoria. Obrigada por serem meus exemplos. Vocês são tudo para mim.

À minha avó Helma, meu anjo que me acompanha.

Aos meus familiares, pelos nossos laços de carinho e fazerem parte de toda a minha trajetória. Tia Iolanda e tia Sandra, obrigada por compartilharem comigo serenidade e força.

Ao Professor orientador Rudiney Soares Pereira, por ter me acolhido como orientanda, pelas palavras de estímulo, amizade, carinho, preocupação, confiança e pela oportunidade de trabalhar no Laboratório de Sensoriamento Remoto. Muito obrigada por tudo.

À família LabSERE, além de colegas, são verdadeiros amigos e representam o real significado de união, crescimento em conjunto, amizade e companheirismo. Juliana Marchesan, Elisiane Alba, Fábio Batista, Augusto, Mateus Schuh, Tiago Badin, Eliziane Mello, Helena, Matheus Z., Matheus F., Rodrigo, Robson e Bruna: muito obrigada! Vocês foram fundamentais para que isto acontecesse!

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e seu Conselho e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pelo espaço de aprimoramento pessoal e acadêmico.

À Rone de David e Professora Neila Richards, que além de serem grandes exemplos de profissionais, são pessoas ímpares que tive o prazer de conhecer durante este percurso. Meu eterno agradecimento.

Às minhas amadas amigas Camila Severiano, Luciana Francez e Fran Missio. Pela amizade e carinho. Pelas conversas e apoio. Pelos puxões de orelha e abraços sinceros. Vocês são fantásticas.

Aos meus amigos Guilherme Rocha e Eloiza, por todo apoio, compreensão e ajuda para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos Gustavo Uberti e Pierre Bellé pela cumplicidade, parceria, amizade, ensinamentos e ajuda em todos os momentos.

Aos queridos amigos Maycon Thuan, Gustavo Oliveira e Felipe Nicoletti por me acolherem com tanto carinho em Santa Catarina, tornando a coleta de dados muito mais divertida.

À minha amiga Fernanda Roncato pelo incentivo e por dividir suas tardes de estudos comigo. Aos meus amigos Eduardo Monteiro e Alexandre Minussi por todo apoio e amizade. À Márcia Pilar, Mayara Lucho e Vanessa Vargas por estarem sempre presentes em minha vida.

Ao amigo Guilherme Pittaluga pela amizade, disposição e ajuda.

Às Professoras Catize Brandelero e Liane Weber pelo laço de amizade formado desde a graduação de Engenharia Florestal.

Aos meus colegas/amigos/irmãos de graduação de Engenharia Florestal-UFSM Clarissa Brandão, Cristina Prade, Thairini Zavistanoviez, Eduardo Steiernagel, Guilherme Bortolotto, Bruno Manke e Gustavo por todos os anos compartilhados de muito amor, amizade, apoio mútuo e por dividirmos conhecimentos para concretização de nossos sonhos.

Ao Professor Marcelo Scipioni, Guga e Gabriel Maia pela ajuda essencial.

À minha fiel companheirinha Hanninhah por trazer leveza e graça às incansáveis noites, feriados e fins de semana de estudos.

São tantas pessoas que gostaria de agradecer, tantos que cruzaram meu caminho, e que de alguma forma contribuíram com meus estudos, conhecimento e na construção do que sou hoje.

A todos minha eterna gratidão.

Acaso

*Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, pois cada pessoa é única
e nenhuma substitui outra.
Cada um que passa em nossa vida,
passa sozinho, mas não vai só
nem nos deixa sós.
Leva um pouco de nós mesmos,
deixa um pouco de si mesmo.
Há os que levam muito,
mas há os que não levam nada.
Essa é a maior responsabilidade de nossa vida,
e a prova de que duas almas
não se encontram ao acaso.*

“Antoine de Saint-Exupéry”

RESUMO

AVALIAÇÃO DA ARQUITETURA DE COPA DA ESPÉCIE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze COM USO DE GEOTECNOLOGIA NA REGIÃO CENTRAL DE SANTA CATARINA

AUTORA: Alessandra Silva Marasciulo
ORIENTADOR: Rudiney Soares Pereira

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma espécie de grande importância ecológica em sua região de ocorrência natural e encontra-se ameaçada de extinção. Reconhecer os fatores que influenciam no crescimento desta espécie é importante para o conhecimento da dinâmica de suas florestas. A arquitetura de copa garante informações das árvores e estudar o volume assim como as demais variáveis de copa viabiliza a compreensão sobre aspectos que definem a forma da copa. A inserção de geotecnologias ao estudo de copa possibilita o entendimento das interações e modificações dessas estruturas, sendo, portanto, uma ferramenta fundamental para inferir sobre o crescimento da espécie e seu manejo. Dessa forma, esse estudo teve como objetivo desenvolver um modelo matemático para descrever o volume de copa - com auxílio de geotecnologia - em função de variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Sistema Faxinal, Curitibanos, SC. Para isso, foram avaliadas 149 indivíduos de araucária, onde 118 estavam sob efeito de competição; foi feito, também, um levantamento das variáveis de arquitetura de copa para 78 araucárias por meio de imagens digitais obtidas com a utilização de geotecnologia (*RPA* modelo Phantom 1) e mensuradas pelo software AutoCAD, estas medidas indiretas apresentaram boa precisão. 17 índices de competição foram avaliados e o índice de Lorimer (1983) foi selecionado por melhor descrever o status de competição. A análise do modelo tridimensional da arquitetura de copa demonstrou que árvores de menor porte apresentam formas de copas mais largas e achatadas enquanto árvores de maior porte possuem copas alongadas e mais estreitas. Para o modelo matemático completo do volume de copa foram inseridas as variáveis: DAP, H, IC2, RCM, LC, APC, AP, EST e SEXO. A construção do modelo de volume de copa, realizada pelo procedimento Stepwise, contemplou as variáveis: dendrométrica (DAP), morfométricas (comprimento de copa e área de perfil de copa), e de competição - representado pelo índice de competição de Lorimer (1983). A equação ajustada para o volume de copa foi $VC = -27,6510 + 1,2629*(DAP) - 28,6703*(IC2) - 8,4328*(LC) + 7,1848*(AP)$ tendo apresentado bom ajuste estatístico: $R^2_{aj} = 0,8951$ e $Syx\% = 7,77$. Logo, o conhecimento das características morfométricas de copa permitiu inferir sobre a dinâmica de crescimento das árvores quando submetidas a diferentes condições de seu meio.

Palavras-chave: Volume de copa. *RPA*. Morfometria.

ABSTRACT

CROWN ARCHITECTURE EVALUATION OF THE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze SPECIES USING GEOTECHNOLOGY IN THE CENTRAL REGION OF SANTA CATARINA

AUTHOR: Alessandra Silva Marasciulo
ADVISOR: Rudiney Soares Pereira

The *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is currently an endangered species that has a big ecological importance on its natural occurrence and is threatened with extinction. To recognize the factor that influence in the growth of this species is important to knowledge of the dynamics of your forests. The canopy architecture keeps informations about the trees and to study its aspects and volume and other canopy variables helps to comprehend the aspects that defines the shape of the canopy. The inserts of geotechnologies to the canopy study makes possible the understanding of the interactions and modifications of this structures, therefore being a fundamental instrument to interfere at the growth of the species and its management. Considering this, this study had as objective to develop a model to describe the crown volume, using geotechnology, in function of dendrometrics, morphometrics and of competition variables to *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in Sistema Faxinal, Curitiba, SC. To evaluation, 149 individual of Araucaria were submitted. 118 were in effect of competition and the variables of the treetops' architecture were taken to 78 Araucaria by digital images obtained of the utilization of geotechnology (RPA modelo Phantom 1) and measured by software AutoCAD. These indirect measurements showed good precision. 17 competition indexes were evaluated and Lorimer's index (1983) was selected to describe the best status of competition. The analysis of the tridimensional model of the canopy architecture showed that smaller trees has canopy shapes wider and flattened, and bigger trees has canopies extended and narrow. For the complete mathematical crown volume model as inserted as variables: DAP, H, IC2, RCM, LC, APC, AP, EST e SEXO. The construction of the canopy volume model, realized by the procedure Stepwise, contemplated dendrometrics, DAP, morphometrics, crown length and cup profile area, and of competition, represented by Lorimer's competition index (1983). The model adjusted to the crown volume was $VC = -27,6510 + 1,2629*(DAP) - 28,6703*(IC2) - 8,4328*(LC) + 7,1848*(AP)$ and presented good statistics: $R^2_{aj} = 0,8951$ e $Syx\% = 7,77$. The knowledge of the crown morphometrics characteristics allowed to interfere on the dynamics of growth of the trees when submitted to different conditions of its environment.

Keywords: Crown volume. RPA. Morphometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Localização da área de estudo em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.	38
Figura 2– Criação de animais (A) e remanescentes de araucária (B) em Sistema Faxinal (B).	39
Figura 3– Representação da altura da primeira inserção de galho.	41
Figura 4 – Imagem da representação da seleção de competidoras por meio de contato das copas.	42
Figura 5 – Representação dos onze raios de copa ao longo do comprimento de copa.	45
Figura 6 – Representação da altura correspondente ao raio de copa.	47
Figura 7 – Imagem digital com a variável raio máximo de copa.	46
Figura 8 – Imagem digital com a variável área de perfil de copa.	47
Figura 9 – RPA Phantom 1.	48
Figura 10 – Voo de RPA para aquisição das imagens.	50
Figura 11 – Copa da <i>Araucaria angustifolia</i> fotografada em duas orientações: leste e oeste (A); norte e sul (B).	50
Figura 12 – Esquematização dos dois perfis de copa obtidos por meio das imagens.	51
Figura 13 – Imagem digital processada para a aquisição das variáveis de copa.	52
Figura 14 - Relação do número de interações intra e interespecífica registradas com a <i>Araucaria angustifolia</i> em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.	60
Figura 15 – Gráfico do número de indivíduos e diâmetro por posição social de araucárias sob efeito de competição.	61
Figura 16 - Regressão linear (A) e distribuição dos resíduos (B) do ajuste de IC2 em função do diâmetro do fuste a 1,30m do solo de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	63
Figura 17 - Matriz de similaridade de Pearson entre 17 índices de competição e o diâmetro do fuste a 1,30m do solo de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	64

Figura 18 - Gráficos de dispersão entre o IC2 e altura (A), raio de copa médio (B), diâmetro a altura de 1,30m do solo (C), área de projeção de copa (D), área de perfil de copa (E) e comprimento de copa (F) de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze..	66
Figura 19 - Gráfico de dispersão entre DAP e as variáveis: raio máximo de campo e raio máximo obtido pela imagem do RPA de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	68
Figura 20 - Regressão entre raio máximo de campo (variável independente) e o raio máximo obtido pela imagem do RPA (variável dependente) de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	68
Figura 21 – Gráfico de distribuição dos resíduos do ajuste entre raio máximo de campo (variável independente) em função do raio máximo obtido pela imagem do RPA (variável dependente) de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	69
Figura 22 – Forma da arquitetura de copa em modelo tridimensional (3D) do volume de copa (A) e em perspectiva bidimensional (2D) (B) de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	71
Figura 23 - Matriz de similaridade entre as variáveis utilizadas na modelagem do volume de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.	74
Figura 24 – Gráfico do ajuste de volume de copa em função das variáveis diâmetro do fuste a 1,30m do solo, índice de competição, comprimento de copa e área de perfil de copa de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze (A) e distribuição dos resíduos (B).....	76
Figura 25 - Histograma de distribuição de resíduos percentuais relacionados à linha de distribuição normal.	77
Figura 26 - Comportamento do volume de copa com as variáveis diâmetro do fuste a 1,30m do solo (A), índice de competição (B), comprimento de copa (C) e área de perfil de copa (D) selecionadas para compor o modelo de volume de copa de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação do número de indivíduos (ni), espécies, variáveis dendrométricas e posição social levantadas em Sistema Faxinal, Curitibanos, SC.	57
Tabela 2 - Características dendrométricas e morfométricas das 78 árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze mensuradas em Sistema Faxinal, Curitibanos, SC.	58
Tabela 3 - Resumo estatístico da regressão das variáveis morfométricas e altura em função do DAP de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze mensuradas em Sistema Faxinal, Curitibanos, SC.....	59
Tabela 4 - Resumo estatístico da regressão linear de 17 índices de competição em função do diâmetro do fuste à 1,30m do solo de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	62
Tabela 5 - Resumo estatístico da regressão aplicada entre os raios de copa e o diâmetro do fuste a 1,30m do solo de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.	70
Tabela 6 - Estimativas de volume de copa pelo modelo matemático de volume e modelo 3D para <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.....	80

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	40
Equação 2.....	41
Equação 3.....	42
Equação 4.....	44
Equação 5.....	44
Equação 6.....	45
Equação 7.....	48
Equação 8.....	52
Equação 9.....	53
Equação 10.....	53
Equação 11.....	53
Equação 12.....	54
Equação 13.....	65
Equação 14.....	69
Equação 15.....	75

ABREVIações E SIGLAS

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
AP	Área de perfil de copa
APC	Área de projeção de copa
CAP	Circunferência do fuste a 1,3m do solo
DAP	Diâmetro do fuste a 1,3m do solo
EST	Posição social no dossel
G	Área transversal do fuste a 1,3m do solo
GPS	<i>Global Positioning System</i>
H	Altura total
HF	Altura do fuste
Hi	Altura da primeira inserção de galho
HRC	Altura do raio de copa
IC	Índice de competição
LC	Comprimento de copa
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
Pixel	<i>Picture element</i>
RC	Raio de copa
RCM	Raio de copa médio
RCmax	Raio de copa máximo
R²aj	Coefficiente de determinação ajustado
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
Syx%	Erro padrão da estimativa
VANT	Veículos aéreos não tripulados

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Índices de competição dependentes e independentes da distância.....	43
Quadro 2 – Especificações da câmera GoPro e <i>RPA</i> Phantom 1.....	49

SUMÁRIO

1	Introdução	19
2	Hipótese da pesquisa	21
3	Objetivos	21
3.1	Objetivo geral	21
3.2	Objetivos específicos	21
4	Revisão de literatura	23
4.1	Descrição botânica de <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze.....	23
4.2	Sistema Faxinal.....	24
4.3	Crescimentos das árvores.....	26
4.3.1	Competição entre árvores	28
4.4	Copa.....	29
4.5	Modelagem de copa.....	32
4.6	Geotecnologias em estudos florestais.....	35
5	Materiais e métodos	38
5.1	Caracterização da área de estudo	38
5.2	Levantamento de dados	39
5.2.1	Classificação sociológica.....	40
5.2.2	Variáveis dendrométricas	40
5.2.2.1	Circunferência a 1,30m do solo (CAP) e Diâmetro a 1,30m do solo (DAP)...	40
5.2.2.2	Diâmetro da árvore de área basal média (Dg)	40
5.2.2.3	Altura total (H)	41
5.2.2.4	Altura da primeira inserção (Hi).....	41
5.2.2.5	Altura média (H)	42
5.2.3	Variáveis de competição	42
5.2.3.1	Triagem de competidoras.....	42
5.2.4	Variáveis morfométricas e de copa	44
5.2.4.1	Raio de copa médio (RCM)	44
5.2.4.2	Área de projeção de copa (APC).....	44
5.2.4.3	Diâmetro de copa (DC).....	45
5.2.4.4	Comprimento da copa (LC)	45
5.2.4.5	Raios de copa ao longo do comprimento da copa (RC _n).....	45
5.2.4.6	Altura correspondente ao raio de copa (HRC _n)	46

5.2.4.7 Raio de copa máximo (RCmax)	46
5.2.4.8 Área do perfil de copa (AP)	47
5.2.4.9 Volume de copa (VC)	48
5.3 Aquisição dos dados de copa com uso de geotecnologia	48
5.3.1 Validação dos dados obtidos por imagem	52
5.4 Modelagens das variáveis dendrométricas, morfométricas, de competição e volume de copa	53
5.4.1 Modelagem da variável de competição	53
5.4.2 Modelagem dos raios do perfil da copa	54
5.4.2.1 Reconstrução da árvore em modelo tridimensional (3D)	54
5.4.3 Modelagem das variáveis de copa e altura	54
5.4.4 Modelagem do volume de copa	55
5.4.5 Análise estatística	55
6 Resultados e discussões	57
6.1 Caracterização da copa	58
6.1.1 Modelagem das variáveis de copa e altura	58
6.2 Efeito da competição sobre a <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	59
6.2.1 Índice de competição	62
6.3 Aquisição dos dados de arquitetura de copa com auxílio da geotecnologia	67
6.4 Modelagem dos raios de perfil de copa	70
6.4.1 Reconstrução 3D	70
6.5 Modelagem do volume de copa	73
5 Conclusão	81
Recomendações finais	83
6 Referência bibliográfica	84

1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucária) é uma espécie de grande potencial no setor econômico e elevada representatividade na esfera social em sua região de ocorrência natural. Isto se dá em função de sua importância ecológica e por possuir madeira de alta qualidade e de valor nos mercados nacionais e internacionais (MARTINS, 2016).

Nascimento et al. (2001) afirmaram que a exploração de *A. angustifolia* tem sido intensiva, ocasionando sua redução em reservas naturais. Este fato aliado à falta de estudos sobre a dinâmica da espécie colocam as populações residuais em perigo, que atualmente são encontradas em áreas reduzidas, tanto em florestas primárias, quanto em secundárias, provenientes de regeneração após a exploração.

A araucária se encontra na lista de espécies ameaçadas de extinção de acordo com a Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006). Em decorrência disso, são necessários estudos que subsidiem a prática de manejo com o propósito de proteger e preservar os últimos remanescentes, especialmente em matas nativas. Sanquetta (2008a) ressaltou que o manejo florestal é crucial para a sobrevivência da araucária, pois, se executado de forma adequada, estimula a regeneração natural, diminui a taxa de mortalidade e aumenta o crescimento da floresta.

O desconhecimento da floresta como recurso natural renovável é uma das principais causas da fragmentação desse ecossistema e de sua destruição. Com a finalidade de conservar o máximo da sua biodiversidade e proteção da araucária, estudos que retratem a florística e a estrutura dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista em área com Sistema Faxinal são de suma relevância (SANQUETTA, 2008b). O Sistema Faxinal é pouco conhecido, sua forma de produção concilia as atividades de subsistência com atividades agrossilvipastoris e a conservação ambiental; e informações sobre seus aspectos podem ser úteis para assimilar o comportamento das araucárias (ALBUQUERQUE et al., 2015).

Outro ponto a ser considerado é quanto ao habitat que influi diretamente no estabelecimento, crescimento, manutenção da regeneração e mortalidade das árvores. Em florestas nativas, a dinâmica da sucessão faz com que as condições ecológicas sejam diferenciadas para cada indivíduo ao longo do tempo (HESS; SCHNEIDER, 2010). Informações sobre o crescimento da árvore são

indispensáveis. No entanto, para a realização da modelagem do crescimento é necessário uma base de dados que considere fatores como: o espaço vital, a morfometria da árvore, a competição exercida sobre o indivíduo e suas dimensões.

É imperativo o conhecimento dos fatores que influenciam o crescimento e que reflitam a variação da forma e tamanho das árvores para subsidiar a exploração racional de florestas nativas (COSTA, 2011).

Um desses fatores é a dendrometria, a qual fornece importantes elementos que contribuem para o conhecimento e avaliação das florestas (SILVA; NETO, 1979).

Outro fator a ser considerado é a morfometria¹ e suas variáveis, que possibilitam descrever as relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, definir o status de competição, compreender sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo (DURLO; DENARDI, 1998). O processo de competição é promovido quando não há mais espaço disponível, à proporção em que as dimensões das plantas aumentam, e os recursos necessários para seu desenvolvimento estão abaixo da demanda essencial para o crescimento. (SILVA, 2007).

Diante do exposto, cabe ressaltar que a copa possui papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento das árvores, pois é nela que ocorrem os processos fisiológicos como: fotossíntese, respiração e transpiração. Desta forma, o crescimento e as modificações das copas são ferramentas importantes a fim de estimular o plantio e atividades silviculturais da espécie, auxiliar na redução do seu longo ciclo de corte visando à produção de madeira de maior valor agregado.

Embora haja relevância da espécie, pouco é conhecido sobre o desenvolvimento de copa e competição inter e intraespecífica, o que estimula o desenvolvimento de estudos que auxiliem no manejo e proteção da espécie. Atualmente a Geotecnologia² vem sendo amplamente utilizada em estudos relativos ao meio-ambiente. A geotecnologia é integrada a um complexo de tecnologias que apresenta uma série de facilidades na geração e produção de dados e informações sobre fenômenos e sua distribuição (MENDONÇA et al., 2011; PRUDENTE; ROSA, 2009; COPPOCK, 1995) possuindo um amplo leque de aplicabilidade no âmbito

¹ Morfometria: caracteres relacionados à forma.

² Geotecnologia: São todas as tecnologias relacionadas à geoinformação. Esse conceito abrange a aquisição, processamento, interpretação, análise de dados ou informações espacialmente referenciadas.

florestal (MARTINS; OLIVEIRA, 2012), em estudos de dossel de florestas e plantações (BARBOSA et al., 2016; ALBA, 2016; CÓRCOLES et al., 2013; DISPERATI et al., 2007; MONTE et al., 2007; DISPERATI; OLIVEIRA, 2005), arquitetura de copa (ALVAREZ et al., 2009; XIONG et al., 2007;), monitoramento à danos ambientais (FARIA; COSTA, 2015), uso e cobertura do solo (CÂNDIDO et al., 2014; PEREA et al., 2010) e concentração de nutrientes nas folhas (RORIE et al., 2011).

Em vista disso, a inserção de geotecnologias no estudo de copa possibilita a gradativa evolução na compreensão de modificações das estruturas florestais e interações entre indivíduos, sustentando tomadas de decisões e aporte para conservação do meio ambiente.

2 HIPÓTESE DA PESQUISA

O volume da copa de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze pode ser descrito por um modelo matemático que envolva variáveis dendrométicas, morfométricas e de competição?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo matemático para descrever o volume de copa, com auxílio de geotecnologia, em função de variáveis dendrométicas, morfométricas e de competição para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar qual índice de competição (dependente ou independente da distância) alcançará melhor resposta para compor o modelo volumétrico de copa;
- Avaliar variáveis de copa por meio do processamento de imagens obtidas por geotecnologia para reconstrução de um modelo tridimensional;

- Modelar o volume de copa em função das variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze, conhecida vulgarmente como araucária, pinheiro-do-paraná e pinhão, pertence à família Araucariaceae, ordem Coniferae, classe Coniferopsida, sendo descrita como uma árvore perenifólia, de aspecto contrastante em relação as demais árvores do sul do Brasil, com 10 a 35 m de altura e 50 a 120 cm ou mais de diâmetro do fuste a 1,30m do solo - (SOLÓRZANO-FILHO; KRAUS, 1999). Considerada secundária longeva de temperamento pioneiro, avança sobre campos deixando ambiente favorável para a formação de sub-bosque por espécies tolerantes, dificultando dessa maneira sua regeneração (IMAGUIRE, 1979; CARVALHO, 1994).

É uma planta dioica, ou seja, com indivíduos masculinos e femininos com raros exemplares hermafroditas. Na floração, o estróbilo feminino ocorre o ano inteiro enquanto o estróbilo masculino só é visível no período de agosto a janeiro. Em povoamentos plantados o sexo dos indivíduos não segue uma proporcionalidade, entretanto há um maior número de exemplares do sexo masculino. As pinhas amadurecem de fevereiro a dezembro, conforme as diversas variedades (CARVALHO, 2003; SOLÓRZANO-FILHO; KRAUS, 1999; MATTOS, 1994).

A espécie apresenta copa alta, estratificada e múltipla, na forma de taça em indivíduos mais velhos e cônica em mais jovens (KLEIN, 1965). As folhas são pequenas, simples, alternas, lineares a lanceoladas e com disposição ligeiramente espiraladas e quando localizadas no ápice e na base de cada ramificação da grimpá são menores (CARVALHO, 1994; REITZ et al., 1988).

Hueck (1972) e Carvalho (1994) afirmaram que a região de ocorrência natural da espécie é limitada entre as latitudes de 15° e 30° sul, e longitudes de 43° e 57° oeste, ocupando originalmente uma superfície de cerca de 200.000 km², com maior distribuição nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná; e menores proporções na província de Misiones (Argentina), e nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A espécie é nativa do Brasil e possui uma ampla área de distribuição apresentando diferentes raças com ocorrência em diferentes ecótipos (GURGEL et al., 1965).

A Floresta Ombrófila Mista, conhecida também como Floresta de Araucária, é caracterizada por uma importância significativa no contexto ecológico e social por abrigar a espécie *A. angustifolia* (LONGHI, 1980; VIBRANS et al, 2013). Nesta tipologia florestal, a araucária apresenta caráter dominante na vegetação com uma grande representatividade dos indivíduos no estrato superior, ocorrendo também como emergente, atingindo elevadas alturas e diâmetros (LONGHI, 1980; LEITE e KLEIN, 1990). Essa conífera é, sem dúvida, a mais importante e característica da fitofisionomia dessa formação florestal (NASCIMENTO et al., 2001) que, originalmente, cobria uma área de 7.500.000ha , restando, atualmente, apenas 400.000ha.

Devido à ameaça de extinção, o manejo e a utilização da madeira da espécie apresenta várias restrições, visando proteger os últimos remanescentes, especialmente das matas nativas. O processo de redução dos maciços florestais de araucária ocorreu inicialmente com a instalação de indústrias madeireiras em busca da madeira de altíssima qualidade. Posteriormente, a pecuária no Rio Grande do Sul e a agricultura nos estados do Paraná e Santa Catarina deram sequência a este processo de redução, enquanto o desenvolvimento de novas pesquisas e tecnologia para a espécie foram limitadas (CARVALHO, 2011).

Machado; Siqueira (1980) relataram que a crescente busca de terras para a agricultura e pecuária, além das inúmeras possibilidades de utilização da araucária estimulou fortemente a exploração e destruição dessas matas. Somado a isso a regeneração da espécie é fraca, tanto no interior da floresta, como em ambientes pouco perturbados, sendo dificultada em locais com pouca luminosidade (CARVALHO, 2008; BACKES, 1973).

4.2 SISTEMA FAXINAL

Para Schaadt; Vibrans (2015), parte significativa das florestas de araucária encontra-se fragmentadas e distribuídas em remanescentes isolados devido à intensa exploração. Esta forte exploração ocorrida no século passado juntamente com a implantação de pastagem, agricultura e reflorestamento de espécies exóticas reduziu drasticamente a Floresta Ombrófila Mista e esta fragmentação pode ser verificada através de Sistemas Faxinais. O extrativismo exercido pelos povos faxinelenses, presentes no bioma da Mata com Araucária, instigou a formação de

faxinais, entretanto, a fragmentação desse ecossistema igualmente sofreu influência do desconhecimento da floresta como recurso natural renovável e a busca de benefícios econômicos em curto prazo (ALBUQUERQUE, 2009).

Conforme Toledo; Campigoto (2010) e Benatte et al. (2013), é um estilo de organização camponesa a qual deu início com a chegada dos imigrante ao sul do país e começou a enfrentar crises a partir de 1970, onde este processo se aprofundou ainda mais, estimulado pela coação do segmento mais capitalizado e tecnificado da agricultura sobre o recurso de terras (SILVA, 2015). Esta forma de produção concilia as atividades de subsistência, baseada na agricultura familiar com atividades agrossilvipastoris e a conservação ambiental, incluindo araucária (ALBUQUERQUE et al., 2015). Segundo Chang (1988), o Sistema Faxinal divide-se de acordo com seu uso, sendo eles terras de criação e de plantio, compostas pela produção animal, produção agrícola e extrativismo florestal de baixo impacto e o considera de grande importância ecológica como forma de conservação da área e preservação de espécies em ameaça de extinção. A conservação da biodiversidade ocorre principalmente nas terras de criar, onde os faxinelenses desenvolvem uma forte convivência e integração com o meio ambiente, além de desenvolverem culturas de extrativismo (LÖWEN SAHR, 2005).

A área de criação (...) é um cercado composto por matas e pastagens em que se localizam as habitações dos faxinalenses. Na parte interior a esse espaço comum, que pode pertencer a um proprietário não morador do faxinal, ou a vários proprietários/moradores, são criados animais de várias espécies, tais como bovinos, equinos, caprinos, ovinos e suínos, além de vários tipos de aves domésticas. Os animais são de propriedade particular dos faxinalenses, sendo o número que cada morador pode criar naquele espaço, definido pelo grupo. (...) As casas são dispostas no interior da área cercada, sendo boa parte delas protegidas por um cercado menor, ao entorno dos quais as criações circulam livremente. As terras de plantar localizam-se fora do cercado e podem pertencer ao proprietário que as cultiva, ou serem arrendadas. (CAMPIGOTO; SOCHODOLAK, 2008, p.181).

É um modelo que se recriou ao longo das últimas décadas, ao invés de se desintegrar totalmente, criando novas territorialidades (CORREIA; GOMES, 2015). Porém a reprodução deste modo de vida está condicionada à manutenção da floresta, bem como do sistema cultural do qual faz parte. Mesmo sendo influenciadas pelo processo de desmatamento, as regiões onde se encontram Sistemas Faxinais conservaram grande parte de sua vegetação natural, entretanto,

encontra-se dificuldade na manutenção destas devido à alta demanda por matéria prima (SANQUETTA, 2008b).

Remanescentes de floresta foram estudados por meio de inventários florestais, sendo quantificadas características florísticas, fitossociológicas e estruturais (RONDON NETO et al., 2002). Albuquerque (2009) afirmou que ainda há uma carência de estudos de floresta em Sistema Faxinal a fim de retratar os aspectos dos remanescentes de Floresta Ombrófila Mista. Conhecer as características de uma floresta e os processos resultantes das interações que ocorrem nela é fundamental para inferir sobre seu funcionamento (WATZLAWICK et al., 2008). Tal caracterização, segundo Silva; Scariot (2003), é importante para a adoção de critérios e metodologias que visem o manejo, conservação e recuperação dos mesmos através da compreensão do desenvolvimento e crescimentos das espécies que compõem estas áreas.

4.3 CRESCIMENTOS DAS ÁRVORES

O desenvolvimento das árvores, além de sua idade, depende da disponibilidade dos recursos ambientais, do espaço físico, das características das espécies e de fatores de competição (WEBER et al., 2008). A realização de estudos sobre crescimento e produção das espécies florestais é substancial para a prática de um manejo adequado (CRUZ et al., 2008), assim como para a sobrevivência e desenvolvimento da árvore que interage com outros indivíduos em relação a agentes ambientais e do solo (HIGUCHI et al., 2008).

Diversos fatores implicam no crescimento das árvores. De acordo com Taboada et al. (2003), o crescimento se dá por características como: potencial biótico do indivíduo, atividade fotossintética, capacidade de absorção de nutrientes, processos anabólicos e catabólicos. Em contrapartida, as restrições do crescimento são determinadas pela concorrência com indivíduos em seu entorno, limitando recursos, processos respiratórios e controlando condições do ser vivo (mecanismo de autorregulação do crescimento e envelhecimento).

Para Stokes; Smiley (1968), o crescimento é o resultado da combinação de características genéticas e ambientais, tais que, o ambiente fornece os componentes que propiciam a fotossíntese e outros processos metabólicos responsáveis pelo desenvolvimento da planta, e as características genéticas determinarão se este

crescimento poderá ser em seu máximo potencial. Cancian; Cordeiro (1998); Biging; Dobbertin (1992) comentaram que a luminosidade é um dos fatores ambientais que exerce maior influência sobre o desenvolvimento das plantas.

Hallé et al. (1978) relataram que a árvore se apresenta de maneira ativa e adaptável com a floresta sendo composta por um vasto número de indivíduos que interagem entre si e com os fatores do solo e do clima. Segundo os pesquisadores Schweingruber (1996), Higuchi et al. (2008), Stokes; Smiley (1968) e Pereira (2011), fatores abióticos como luz, temperatura, precipitação, nutrientes, vento, danos mecânicos à copa, raiz e tronco, poluição do ar e do solo, interferem no crescimento da árvore.

O manejo do povoamento, por meio da aplicação de desbastes e cortes de melhoramento, altera o desenvolvimento em diâmetro de árvore devido à mudança ocasionada na densidade populacional, além de disponibilizar elementos que afetam diretamente o crescimento de uma árvore como: água, nutrientes e CO₂ (MEYER et al., 2013).

Segundo Nutto (2001), o nutriente mais limitante sobre o crescimento de Araucária é o N enquanto os de menor influência são Ca, K, Cu e B, o que faz com que o seu desenvolvimento se mostre mais satisfatório em áreas abandonadas após cultivo da agricultura, florestas nativas e secundárias. Higuchi et al. (2008) afirmaram que a água é a substância inorgânica mais requisitada pelas plantas e a sua presença nas mesmas é muito grande e que a qualidade do solo está relacionada à capacidade de estocar e reciclar água, nutrientes e energia.

A cada ano são acrescentadas camadas justapostas de material lenhoso envolvendo completamente às árvores devido à atividade cambial (SILVA; NETO, 1979; STOKES; SMILEY, 1968). A árvore tem seu crescimento de duas formas: o primário, no sentido vertical, em que o meristema apical forma o tecido primário que resulta no incremento em comprimento do tronco e ramos; e o secundário, no sentido horizontal, onde o câmbio vascular, derivado do meristema lateral, forma o tecido secundário que cresce em diâmetro (STOKES; SMILEY, 1968).

De acordo com Schneider; Schneider (2008) e Encinas et al. (2005), o incremento é o aumento de um elemento dendrométrico, seja ele altura, volume, diâmetro ou peso, em um determinado intervalo de tempo por meio da deposição sucessiva de camadas de tecidos lenhosos no fuste, em razão da atividade cambial periódica, resultando em camadas justapostas. Este incremento pode ser avaliado

durante um determinado período (IP), ou pelo valor médio anual de um período (IPA), ou pelo que ocorreu durante um ano (ICA) e pelo valor médio anual considerado desde a idade zero até uma idade desejada (IMA).

As variáveis diâmetro e altura são afetadas pela densidade, sendo o crescimento em altura maior em comparação ao crescimento em diâmetro, sob condições de excesso de densidade. Nas árvores dominantes, a altura é pouco afetada pela densidade, o mesmo não ocorre com as dominadas, em que a influência no crescimento é maior, sendo a variável diâmetro do tronco afetada pela densidade em árvores de estratos inferiores. Desta forma o incremento possui relação direta com a competição que o indivíduo sofre, devido a relação entre a ocupação horizontal da árvore com sua dimensão e volume (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2008; SCHNEIDER, 2002).

4.3.1 Competição entre árvores

A competição é usada para definir a interação espacial, porém essa não é apenas um processo negativo, como sugere o termo concorrência, mas também cria situações que beneficiem todas as árvores afetadas pela competição como adaptações ao meio ambiente. A interação espacial é considerada como um dos fatores que mais influencia na regulação do crescimento. O processo de competição dá início quando os recursos necessários para o crescimento das plantas estão abaixo de sua demanda, o que afeta o crescimento delas (WEBER et al., 2008).

A densidade é um fator relevante para a determinação da forma da árvore, exercendo efeitos nas taxas de crescimento, qualidade da madeira e idade de corte, sendo de fundamental importância a definição do espaçamento para o manejo e os custos de produção (BALLONI; SIMÕES, 1980).

Maiores espaçamentos permitem que as árvores tenham uma maior proporção de sua copa livre de contato, tornando-as mais favoráveis a exposição à luz, portanto, numa situação mais adequada para a produção de sementes (DANIEL et al., 1986).

De acordo com Zimmermann (1974), a posição sociológica exerce forte influência sobre o tamanho e a forma das copas. No momento em que se inicia a concorrência entre as árvores, devido o fechamento do espaço aéreo pelas copas,

começa a diferenciação de classes sociológicas. Alguns indivíduos sobressaem no dossel da floresta, enquanto outros são dominados por seus vizinhos (DURLO, 2001). Como consequência, as características morfométricas também serão determinadas pela posição sociológica dos indivíduos. Para caracterizar as classes sociais das árvores, muitos pesquisadores propuseram diferentes formas de classificação, sendo a de Kraft (1884) uma das mais aceitas e conhecidas.

A classificação de Kraft (1884) divide os indivíduos conforme a posição sociológica que ocupam na floresta: 1. Predominantes, árvores que apresentam exuberante desenvolvimento de copas; 2. Dominantes, árvores que compõem o povoamento principal com copas bem desenvolvidas; 3. Codominantes, árvores que possuem copas normais, mas de fraco desenvolvimento; 4. Dominadas, indivíduos que apresentam copas dominadas pelas outras; e 5. Oprimidas, árvores num estado de total supressão ou morrendo.

O status competitivo da árvore pode ser estimado por meio de índices de competição, podendo ser utilizados nos modelos de crescimento e produção florestal.

Os índices de competição dependentes ou não da distância expressam uma estimativa do espaço horizontal ocupado por uma árvore-amostra e distribuição espacial em relação às suas vizinhas (ROUVINEN; KUULUVAINEN, 1997; ASSMANN, 1970). Munro (1974) afirmou que os índices de competição são classificados em duas categorias, sendo elas: dependente de distância e independente de distância. Os dependentes da distância requerem as dimensões e a localização relativa das árvores vizinhas, demandam de mais medições, sendo essa uma desvantagem, enquanto os independentes da distância podem ser muito úteis pois requerem menos informações quanto a espacialidade (ZHAO et al., 2006).

Os modelos que descrevem a estrutura de copa podem ser usados para obter medidas de competição, como uma medida de vigor para ser usada em modelos de predição do crescimento e mortalidade (CRECENTE-CAMPO et al., 2009).

4.4 COPA

A copa desempenha um papel essencial para o crescimento e desenvolvimento das árvores, pois é nela que ocorrem os processos fisiológicos, por

consequente, o crescimento e as modificações das copas são de interesse para o manejo adequado visando à sustentabilidade. Segundo (PEARCY et al., 2004), além da captura de luz para tais processos, a copa tem múltiplas funções, como suporte biomecânico e hidráulico (DUURSMA et al., 2011). Também, a quantidade de radiação interceptada pelas árvores é determinada por características da copa (HARDY et al., 2004).

Em nível individual, as dimensões da copa têm efeito nos processos fisiológicos (JAHNKE; LAWRENCE, 1965), produção de sementes e regeneração da floresta (HALE, 2004), forma do tronco (LARSON, 1963), e responde ao estresse causado pelo vento (MOORE, 2002 e CRECENTE-CAMPO et al., 2009), e qualidade da madeira (MAGUIRE et al., 1991).

Árvores crescendo livres de competição e árvores que crescem sob competição diferem em suas formas de tronco e copa, aquelas que sofrem o efeito da competição possuem copas menores o tronco mais afilado e árvores que crescem isoladas possuem copas vigorosas e troncos mais desenvolvidos (LARSON, 1963).

A energia absorvida pela copa afeta diretamente o crescimento das árvores e a dinâmica do povoamento (CRECENTE-CAMPO et al., 2009; NUTTO, 2001), o que é atribuído à fotossíntese (HIGUCHI et al., 2009; PEREIRA, 2011; TONINI; ARCO-VERDE, 2007; NUTTO, 2001; PEARCY et al., 2004; CRECENTE-CAMPO et al., 2009), processo que transforma a luz em energia química para a sobrevivência da planta, tornando as variáveis diâmetro e comprimento de copa intimamente relacionadas ao desenvolvimento dos indivíduos (NUTTO, 2001).

A radiação recebida gera ganhos de energia através da fotossíntese o que deve estar equilibrado com outros processos fisiológicos realizados pela copa que causam a perda de energia, como a respiração. Desta forma, a quantidade e qualidade de luz influem na forma externa da planta (HIGUCHI et al., 2009), subsequentemente, a forma e tamanho da copa influenciam na produtividade. De acordo com Forrester; Albrecht (2014), copas de maior tamanho podem ter benefícios para a absorção de luz, entretanto, terão sua superfície de transpiração maior, o que pode ser desvantajoso quando ocorre déficits hídricos.

A captura de luz depende da quantidade e distribuição de radiação e do arranjo arquitetônico das folhas dentro da copa (PEARCY et al., 2004). Pearcy et al. (2004) e Pearcy; Yang (1996) afirmaram que o arranjo das folhas, além de afetar a

absorção de luz e carbono, influencia muitos aspectos funcionais da planta, incluindo a fotossíntese, transpiração e balanço energético, à vista disso, a forma em que a copa está estruturada e posicionada em relação às fontes de luz e o grau de autossombreamento resultante da sobreposição de folhas, pode compensar eventuais restrições na eficiência da absorção de luminosidade para realização de processos fisiológicos.

Conforme Lacher (2000) afirma, a maioria das plantas ordena sua superfície de assimilação de forma que poucas folhas recebam radiação solar direta permanentemente, assim a maior parte das folhas se encontra parcialmente sombreada. Desta forma, características muito distintas de copa podem resultar em semelhante eficiência na captura de luz (PEARCY et al., 2004; DUURSMA et al., 2011). A combinação da quantidade de energia solar que atinge a copa, o volume definido pelas extremidades dos ramos e a distribuição e quantidade de folhagem dentro deste volume pode determinar a quantidade de energia solar que foi efetivamente absorvida pela copa (CRECENTE-CAMPO et al., 2009). Desta forma o conhecimento da superfície de copa em coníferas serve como indicador do potencial de crescimento da planta (NUTTO et al., 2001).

Hallé et al. (1978) propôs modelos de arquitetura correspondentes a combinações de características morfológicas. Em Araucárias, por exemplo, o autor cita o modelo de Massart, que admite uma expressão morfogenética fixa de simetria de ramos plagiotrópicos³. Entretanto, uma única planta pode alterar o modelo durante o seu desenvolvimento, Hallé et al. (1978) mostram que Araucárias podem apresentar quando jovens o modelo de Rauh.

De acordo com Higuchi et al. (2009) e Boojh; Ramakrishnan (1982), a estrutura difere de uma planta que cresce em local iluminado daquela que tem seu desenvolvimento sob sombra, bem como entre espécies pioneiras e ao final da sucessão, apresentando copas maiores e estreitas e copas inferiores, mais amplas e profundas, respectivamente. Para Orellana; Koehler (2008), a morfologia das copas difere, também, entre estratos, o que indica a sua variação conforme o espaço em que a árvore está inserida.

Para Durlo et al. (2004), algumas espécies podem ocupar pequenas áreas, dispondo de copas estreitas e alongadas, ou abranger áreas de projeção maiores,

³ Plagiotrópico: Órgãos que se desenvolvem fazendo um ângulo maior ou menor com a vertical.

porém, de copas mais curtas. Segundo Forrester; Albrecht (2014), o espaço horizontal disponível pode inferir nas dimensões da copa. As características morfológicas divergem entre árvores isoladas e dentro da floresta. A arquitetura da copa mostra mudanças, ainda, em resposta ao desbaste, espaçamento, tratamentos ou mistura de espécies.

A aplicação de desbastes fornece mais espaço à árvore para expandir suas zonas de raiz e copa, aumentando suas fontes de luz, água e nutrientes (PEARCY; YANG, 1996). Assim como o desbaste, a alteração na copa ocasionada por desrama pode comprometer o crescimento, principalmente quando reduz drasticamente sua superfície fotossintetizante (CHAVES et al., 2007), no entanto pode aumentar as taxas fotossintéticas na folhagem remanescente (CRECENTE-CAMPO et al., 2009). Estas intervenções silviculturais influenciam no formato e dinâmica das copas em razão da maior disponibilidade de recursos às plantas remanescentes (CHAVES et al., 2007; WHITEHEAD e BEADLE, 2004).

O conhecimento das relações morfométricas permite avaliar o grau de competição e, por meio de intervenções, diminuí-la (ORALLANA; KOEHLER, 2008; DURLO, 2001). Tal conhecimento auxilia nas estimativas de biomassa da copa (CONDÉ et al., 2013) e na conclusão sobre estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo (CHAVES et al., 2007). Estes últimos autores relataram, que a análise da dinâmica de copa das plantas dá subsídios às decisões silviculturais, de forma a otimizar o crescimento das plantas, uma vez que o crescimento do povoamento é diretamente relacionado com o desenvolvimento da copa das árvores.

Nutto (2001) conclui que o estudo das relações interdimensionais de copa servem para a compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento de Araucária em florestas que tem por finalidade a produção de madeira de qualidade. Para expressar a morfometria das árvores são desenvolvidos modelos de desenvolvimento de copa das árvores, suas dimensões e forma (HALLÉ et al., 1978).

4.5 MODELAGEM DE COPA

O Conhecimento da morfometria, sua relações e dinâmica das árvores é substancial para o aperfeiçoamento de técnicas de intervenções silviculturais a fim do manejo de espécies florestais nativas de interesse econômico (ROMAN et al.,

2009). Informações geradas com base em modelos sobre fatores que influenciam o crescimento das árvores materializam o conhecimento em estratégias de planejamento e gestão territorial, no espaço florestal, em particular (CAPELO, 2003).

Os modelos são vistos de forma lógica a fim de expressar o crescimento ou incremento e a produção florestal, que por sua vez, corresponde a um pré-requisito da simulação, pois com base nas curvas esperadas de produção em função de variáveis independentes, é designada a alternativa mais adequada de manejo para situação proposta (SCOLFORO, 1998).

Um modelo é uma abstração ou uma representação simplificada de algum aspecto da realidade. Modelo de crescimento e produção florestal é uma ferramenta matemática para representação da dinâmica natural de um povoamento florestal e modelagem é o processo de desenvolvimento dessa representação (SCOLFORO, 1998). O uso da modelagem no meio florestal visa predizer o crescimento para as variáveis dendrométricas em função de variáveis mensuráveis no povoamento mediante análise de regressão (ZEIDE, 1993). Modelos que caracterizam melhor a realidade, são mais adequados para descrever e compreender os processos naturais (ZEIDE; PFEIFER, 1991).

Desenvolver uma função matemática em que possa ser utilizada a relação entre variável dependente e uma ou mais variáveis independentes e testar a correlação entre elas são os objetivos buscados na aplicação dos métodos de regressão (FREESE, 1972). Existem diferentes processos para a construção de modelo de uma equação de regressão e todos eles visam expressar com melhor precisão a relação em questão.

Conforme Loetsch (1973), para proceder as equações de regressão, três etapas devem ser seguidas: 1. Selecionar um número de árvores amostrais suficientes e representativas; 2. Obter medições das variáveis dependentes e independentes; e 3. Selecionar a melhor equação de acordo com determinados critérios estatísticos.

Davis et al. (2005) classificaram para o ramo florestal padrões de modelos a nível de povoamento; distribuição diamétrica e para árvores individuais.

Hasenauer et al. (1995), citado por Figueiredo et al. (2014), afirmaram que por meio das formas e dimensões das árvores e suas alterações ao passar dos anos é possível ajustar modelos estatísticos de estimativa volumétrica, concorrência e de crescimento. Crecente-Campo et al. (2009) comentaram que modelos de manto e da

estrutura de copa podem ser utilizados para expressar a competição como medida de vigor das árvores com finalidade de usar em modelos de mortalidade e predição de crescimento. Para Durlo; Denardi (1998), o manto de copa, expresso pela área superficial do sólido de rotação gerado pela árvore, pode ser usado em conformidade para determinar a produção e produtividade.

De acordo com Assmann (1970), a análise da superfície de copa é importante por estar relacionada ao crescimento, provocando o acréscimo de incremento em diâmetro e altura. Devido à mensuração das variáveis de copa depender de elevado tempo, é apropriado usar variáveis de fácil obtenção, diâmetro do fuste a 1,30m do solo e altura, como variáveis independentes em modelos de regressão (TONINI; ARCO-VERDE, 2007). Entretanto, Durlo et al. (2004) ressaltam que no Brasil há poucos estudos que relacionam variáveis morfométricas com essas variáveis.

Chaves et al. (2007) e Nutto (2001) apontaram que vários estudos mostram estreita relação entre o diâmetro à 1,30m do solo (DAP) e o diâmetro da copa (DC), sendo possível desta forma estimar o espaço vital da árvore. Prodan et al. (1997), ressalta que existe forte relação entre o tamanho da copa e DAP. Durlo et al. (2004), em seu estudo, indica que existem relações significativas entre diversos índices morfométricos e o diâmetro e a altura, à medida que o diâmetro e o comprimento da copa crescem, aumentam o DAP e a altura. Crecente-Campo et al. (2009) mostrou em seu estudo que um sistema de equações incluindo um modelo para a copa superior (copa de luz) e outro para copa inferior (copa de sombra) melhor estimou a copa em comparação a um modelo único para *Pinus radiata*. Lyon (1968), ressalta em sua pesquisa que relações morfométricas da copa, como o volume, podem ser estimadas com precisão por modelos de regressão.

Para produzir tais informações a partir de modelos matemáticos gerados por análise de regressão, que expresse as relações de crescimento, é indispensável obter uma base de dados considerando tais fatores (NUTTO, 2001). Fotografias digitais comuns são uma alternativa para constituição de material a fim de avaliar da arquitetura do dossel (PRZESZLOWSKA et al., 2006; CHAVES, 2005; LEBLANC et al., 2005; JONCKHEERE et al., 2004).

As dimensões da copa podem ser determinadas por meio de fotografias aéreas, onde a obtenção de dados fomentada pelo desenvolvimento de ferramentas e técnicas que extraem facilmente informações dos objetos fotografados, além disso,

apresenta a vantagem de manter as informações armazenadas de forma permanente, permitindo a revisão e complementação (PRODAN et al., 1997). Chaves et al. (2007), corrobora a afirmação de Prodan et al. (1997) relatando que a dinâmica da copa pode ser avaliada com alto potencial com o uso de fotografias do dossel, se apresentando como um método vantajoso, de fácil acesso e baixo custo para realização, entretanto, esta metodologia apresenta desvantagem quando da presença de nuvens, pois há a necessidade de contraste entre a copa e o céu (ZHANG et al., 2005).

Com o avanço da tecnologia, houve melhorias em imagens digitais e softwares foram desenvolvidos para a análise. Durlo et al. (2004) concluíram que o programa AutoCAD se mostra eficiente na obtenção para modelos de copa, sendo fácil e rápido computar diversas variáveis silviculturais. Entretanto, Chaves et al. (2007) relataram que a metodologia com o uso de fotografias digitais para este fim ainda necessita de aperfeiçoamentos. Vale ressaltar a importância de estudos por imagens digitais com possibilidade de utilização no meio florestal em substituição aos métodos destrutivos.

4.6 GEOTECNOLOGIAS EM ESTUDOS FLORESTAIS

As geotecnologias constituem um conjunto de tecnologias capazes de efetuar coleta de dados, processamento e análises da informação georreferenciada (CAMPOS et al., 2015). Sua utilização vem se propagando mundialmente com o intuito de gerenciamento e suporte para questões ambientais e tomadas de decisão (ALBULQUERQUE, 2009; SANTOS et al., 2000; CÂNDIDO et al., 2014), fazendo parte da rotina e planejamento das atividades de campo, buscando estratégias de conservação e preservação dos recursos naturais (MENDONÇA et al., 2011). Ela permite uma análise integrada do ambiente, relacionado a um estudo de suas alterações de forma individualizada, mas compreendida como um todo (PIRES et al., 2012).

Souza (2010) não reconhece a geotecnologia como instrumento, mas como um alicerce tecnológico para determinados objetivos. O cenário atual promove a incorporação de dados, obtidos por meio de geotecnologias, em um sistema computadorizado possibilitando análises dinâmicas como: elaboração de bancos de dados, análise de informações georreferenciadas, processamento digital de imagens

de satélites, edição e mensuração de fotografias, quantificação de fenômenos geográficos, fornecendo uma perspectiva geossistêmica do ambiente (GUERRA, 2006). Advindo deste princípio, *VANTs* (veículos aéreos não tripulados) ou drones vêm sendo empregados no desdobramento de atividades em diversas áreas, incluindo o ramo florestal, por apresentarem primazias técnicas e econômicas (FERREIRA et al., 2013), rapidez na aquisição dos dados (PEREIRA; TAMAMARU, 2013), maior flexibilidade (CASSEMIRO; PINTO, 2014) e sistemas de automação de voo complexos e bem desenvolvidos que aprimoram a realização de diversas atividades (SANTOS et al., 2015).

A literatura conceitua drone como aeronaves em que a presença de um piloto embarcado não é exigida para ser comandada, isto é, sua operação é feita remotamente por meios eletrônicos e computacionais (JORGE; INAMASU, 2014; MORETTO et al., 2016). Assim, possuem a vantagem de possibilitar pilotagem remota em locais de difícil acesso, tomando como exemplo o espaço entre árvores.

De acordo com Faria; Costa (2015), a utilização de *VANTs* está em pleno crescimento, com aumento progressivo nas suas formas de utilização, com uma gama de modelos que podem variar no grau de inteligência sendo capaz de gerar comunicação, por intermédio de dispositivos acoplados, entre o drone e o operador como: localização via GPS, dados de câmeras de visão termal, informações sobre a velocidade, altitude, dados coletados por fotografias ou vídeos, sendo esta difundida em estudos sobre a dinâmica de florestas.

Um dos modelos de destaque é o denominado de quadricóptero, aeronave de asas rotativas, composto de quatro motores e capaz de utilizar hélices de elevação fixa que, em conjunto, possibilitam a sua sustentação em voo e seu posicionamento depende apenas da variação de velocidade dos quatro motores. Este tipo de veículo tem capacidade de decolagem e aterrissagem vertical, sendo possível efetuar movimentos perpendiculares ao solo em locais estreitos, possui maior manobrabilidade e estabilidade dinâmica comparada às aeronaves de asas fixas, além de possuir a capacidade de pairar (BEZERRA, 2015; GUIMARÃES, 2012; PAULA, 2012), desta forma, apresenta facilidade na coleta de dados de indivíduos florestais.

Por vezes é difícil a permissão do abate de indivíduos para a mensuração de dados morfométricos e dendrométricos, sendo utilizada dessa forma imagens obtidas por câmeras digitais em virtude de ser um método não destrutivo, prático,

relativamente rápido em comparação a outras formas de obtenção das mesmas variáveis, além da vantagem do arquivamento das imagens produzidas para fins de monitoramento, além de vantagens econômicas (MONTE et al., 2007).

Segundo Barbosa et al., (2016), em métodos não destrutivos há a oportunidade de estudo do comportamento individual ou em grupo ao longo do tempo, para isto, é essencial a manipulação e análise de imagens com o uso de programas computacionais específicos para facilitar o processo de aquisição dos dados e quando não há programa para determinada finalidade se exige maior manipulação em programas comuns. Dessa forma, para análises de plantas é indispensável o uso de programas para ampliar a obtenção de dados (FRENCH et al., 2009). O processamento é variável e as informações podem diferir em escalas, de micro a macroscópica, e em diversificadas condições (RORIE et al., 2011; RICKER, 2004; ELICEIRI et al., 2012).

O uso de imagens digitais aliadas a geotecnologia é uma relevante ferramenta para avaliar o desenvolvimento e arquitetura de plantas em diferentes tipologias florestais ou em plantios (MORGAN et al., 2010). Barbosa et al., (2016) ressaltaram a forte tendência do uso de câmeras acopladas em VANTs para os próximos anos pela praticidade e facilidade de difusão. Entretanto, Sakamoto et al. (2010) salientaram que a qualidade da imagem pode ser afetada pela quantidade de iluminação solar e o posicionamento da câmera em relação ao objeto.

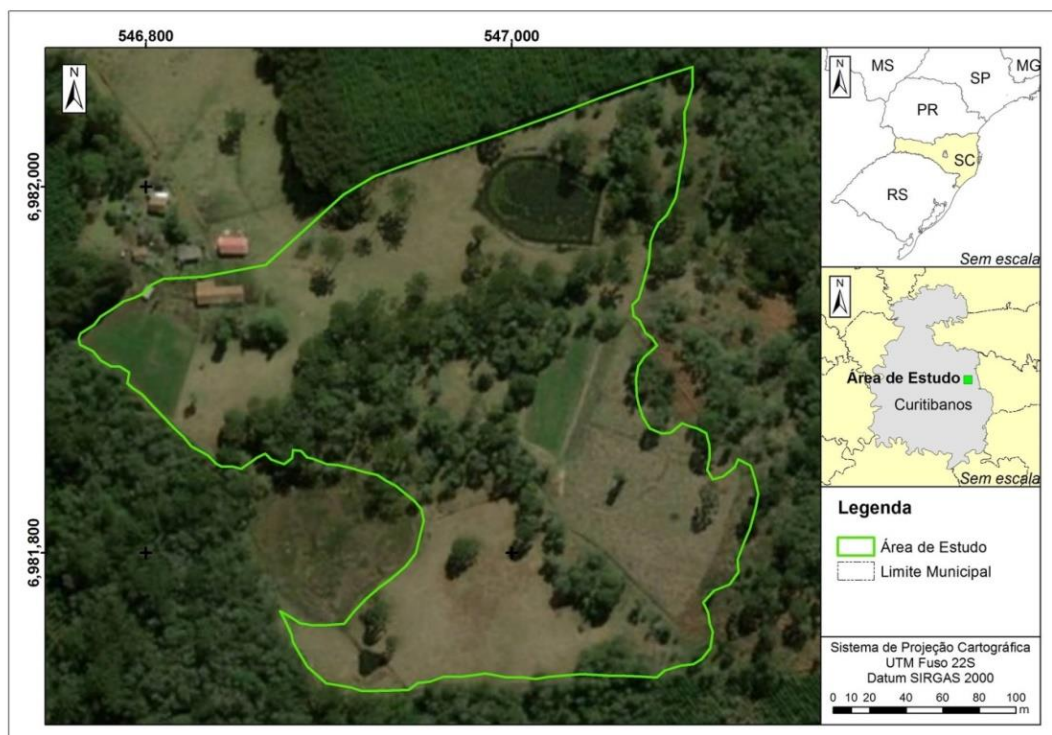
Embora a literatura brasileira ainda use amplamente os termos VANT e drone para se referir às aeronaves não tripuladas, neste estudo será utilizado o termo RPA (Remotely Piloted Aircraft), pois, conforme Brasil (2016), a expressão VANT está obsoleta na comunidade aeronáutica, não sendo empregado o termo “veículo”, mas sim, aeronave pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Curitibaanos, localizado na região central do Estado de Santa Catarina, situado entre as coordenadas 6.982.605,63m e 541.319,88m, 987m de altitude (Figura 1). O clima é do tipo Cfb, segundo Köppen, isto é, temperado sempre úmido, com verão suave, inverno seco e geadas frequentes. O município possui médias anuais de temperatura e precipitação de 16,5° e 1600 mm, respectivamente, com de umidade relativa do ar oscilando entre 80 a 82% (EPAGRI; CEPA, 2003).

Figura 1– Localização da área de estudo em Sistema Faxinal, Curitibaanos, SC.



Fonte: Marasciulo (2017).

A área estudada integra o sistema de produção denominado faxinal, o qual concilia as atividades de subsistência, baseada na agricultura familiar, com

atividades agrossilvipastoris e a conservação ambiental, contribuindo com a proteção e manutenção de um fragmento de Floresta com Araucária, ecossistema ameaçado de extinção na região sul do Brasil (ALBUQUERQUE et al. 2011).

O Faxinal possui 4,8ha, sendo composto pela criação de vacas, porcos, cabras, cultivo de milho, bem como área remanescente de floresta (Figura 2 A e B).

Figura 2– Criação de animais (A) e remanescentes de araucária (B) em Sistema Faxinal (B).



Fonte: Marasciulo (2017).

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foi realizado o censo dos indivíduos de Araucária, com o registro de informações dendrométricas, morfométricas e de competição. Dos 149 indivíduos registrados, 78 tiveram suas copas mensuradas, por meio de imagens obtidas por *RPA*, a partir de um processo de amostragem inteiramente ao acaso. As árvores com as variáveis de copa aferidas contemplaram as posições sociais: predominante; dominante; codominante; e dominada.

Todas as árvores registradas foram identificadas com plaquetas de alumínio e georreferenciadas com o auxílio do aparelho GPS Garmin Map 76 CSX (Globe Positioning System). Os indivíduos considerados como competidores também tiveram suas coordenadas registradas. Foram considerados como competidores todos os indivíduos que tocavam as copas das árvores objetivo, sendo assim, foram conferidos indivíduos de todas as espécies, uma vez que, enquadrados no critério

de seleção de competidor. Foi registrado, ainda, o sexo de cada árvore por meio da observação, a olho nu, da presença de estróbilos masculinos e femininos na copa, registro fotográfico, além da verificação destes no solo próximo à árvore.

A posição social de cada indivíduo foi avaliada segundo a classificação sociológica de Kraft (1884).

5.2.1 Classificação sociológica

É dada como a posição dos indivíduos no dossel da floresta. Estes estratos são identificados como:

- a) Predominante: aquelas árvores que apresentam copa bem desenvolvida e se sobressaem na composição do dossel;
- b) Dominante: copas bem desenvolvidas com formação preponderante do dossel;
- c) Codominante: copas normais, mas de fraco desenvolvimento; e
- d) Dominada: indivíduos que apresentam copas inferiores aos demais.

5.2.2 Variáveis dendrométricas

5.2.2.1 Circunferência a 1,30m do solo (CAP) e Diâmetro a 1,30m do solo (DAP)

A circunferência a 1,30m do solo foi mensurada com fita centimétrica. Em seguida, foi calculado o valor do diâmetro conforme a seguinte equação:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (1)$$

Onde: DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; CAP = circunferência do fuste a 1,30m do solo, em cm.

5.2.2.2 Diâmetro da árvore de área basal média (Dg)

Para a *A. angustifolia* e demais espécies classificadas como competidoras foi calculado o valor do diâmetro da árvore de área basal média para cada espécie, dado por:

$$Dg = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot N}} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde: Dg = diâmetro da árvore de área basal média, em m; G = área basal por hectare, em m^2 ; N = número de árvores por hectare.

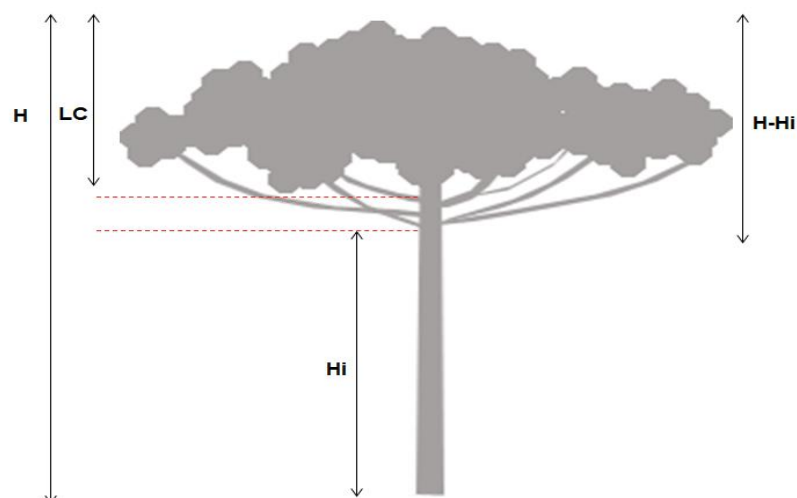
5.2.2.3 Altura total (H)

É a distância entre a base e o ápice da árvore. A altura total (H) foi medida com o auxílio do hipsômetro Vertex IV, em metros.

5.2.2.4 Altura da primeira inserção (Hi)

É dada pela distância vertical, em metros, ao longo do eixo da árvore (medida do solo até a primeira inserção da copa, com auxílio do hipsômetro Vertex IV). Cabe ressaltar que a diferença gerada entre essa medida e a altura total da árvore é que serviu de escala para dimensionamento das imagens. Essa variável é diferente do comprimento de copa, uma vez que este é definido como a distância entre a copa verde e o ápice da copa (Figura 3).

Figura 3– Representação da altura da primeira inserção de galho.



Onde: H = altura total, em m; Hi = altura da primeira inserção, em m; LC = comprimento de copa, em m; $H-Hi$ = diferença entre altura total e altura da primeira inserção, em m.

Fonte: Marasciulo (2017).

5.2.2.5 Altura média (\bar{H})

Para a *A. angustifolia* e demais espécies classificadas como competidoras foi calculado o valor da altura média para cada espécie:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H}{n} \quad (3)$$

Onde: \bar{H} = altura média, em m; H = altura, em m; n = número de árvores da espécie.

5.2.3 Variáveis de competição

5.2.3.1 Triagem de competidoras

Foram consideradas como árvores competidoras aquelas que tocavam as copas das árvores-objetivo (Araucárias). Tal competição poderia se dar de forma intraespecífica e/ou interespecífica (Figura 4).

Figura 4 – Imagem da representação da seleção de competidoras por meio de contato das copas.



Fonte: Marasciulo (2017).

Foram observadas 118 árvores sob efeito de competição das 149 araucárias contidas no censo. Neste estudo foram utilizados sete índices independente da distância e dez índices dependentes da distância (Quadro 1). Para os índices

dependentes de distância, também foi registrada a orientação (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO) em que a competidora está posicionada em relação à árvore objetivo.

Quadro 1 – Índices de competição dependentes e independentes da distância.

Índices	Equação	Fonte	
Independentes de distância	IC1	$\sum_{n=i}^n g_j$	BAL modificado
	IC2	$\sum_{n=i}^n \frac{d_i}{\bar{d}_j}$	Lorimer (1983)
	IC3	$\sum_{n=i}^n \left(\frac{d_j}{d_i}\right)$	Lorimer (1983)
	IC4	$\sum_{n=i}^n \left(\frac{d_j^2}{d_i^2}\right)$	Corona; Ferrera (1989)
	IC5	$\sum_{n=i}^n \left(\frac{d_i^2}{d_j^2}\right)$	Daniel et al. (1986)
	IC6	$\sum_{n=i}^n \left(\frac{d_i}{d_j}\right)$	Lorimer (1983)
	IC7	$\sum_{n=i}^n \frac{g_i}{\bar{g}_j}$	-
Dependentes de distância	IC8	$\sum_{n=i}^n \arccos\left(\frac{d_j}{dist}\right)$	Rouvinen; Kuuluvainen (1997)
	IC9	$\sum_{n=i}^n \left[\frac{d_j}{(d_i \cdot dist)}\right]$	Heygi (1974)
	IC10	$\sum_{n=i}^n \frac{d_j}{(d_i)} \arccos\left(\frac{d_j}{dist}\right)$	Rouvinen; Kuuluvainen (1997)
	IC11	$\sum_{n=i}^n dist$	Stabler (1951)
	IC12	$\sum_{n=i}^n \left[\frac{d_j}{d_i \cdot (d_i + 1)}\right]$	Heygi (1974) modificado
	IC13	$\sum_{n=i}^n \left[\left(\frac{d_j}{d_i}\right) / dist^2\right]$	Rouvinen; Kuuluvainen (1997)
	IC14	$\sum_{n=i}^n \left[\left(\frac{d_j}{d_i}\right)^2 / dist\right]$	Rouvinen; Kuuluvainen (1997)

Índices	Equação	Fonte
IC15	$\sum_{n=i}^n \left[\frac{di}{(di^2 + dj^2)} \cdot dist \right]$	ABPD
IC16	$\sum_{n=i}^n \left[\left(\frac{dj}{dist} \right) \right]$	Rouvinen; Kuuluvainen (1997)
IC17	$\sum_{n=i}^n \left(\frac{dj}{di} \right) e^{\frac{(dist \cdot di)}{(di+dj)}}$	Martin-Ek (1984)

Onde: di = diâmetro a 1,30m do solo da árvore objetivo (araucária), em cm; dj = diâmetro a 1,30m do solo da árvore competidora, em cm; gi = área basal a 1,30m do solo da árvore objetivo (araucária), em cm; gj = área basal a 1,30m do solo da árvore competidora, em cm; dist = distância entre a árvore objetivo e competidora.

Fonte: Marasciulo 2017.

5.2.4 Variáveis morfométricas e de copa

5.2.4.1 Raio de copa médio (RCM)

O raio de copa médio é calculado pela média aritmética de oito raios de copa (RC) medidos, em metros, obedecendo aos pontos cardeais (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO) com o hipsômetro Vertex IV e auxílio de bússola. É dado pela expressão:

$$\overline{RCM} = \sum_{i=1}^{n=8} \frac{RC}{8} \quad (4)$$

Onde: RCM = raio de copa médio, em m; RC = raio de copa, em m.

5.2.4.2 Área de projeção de copa (APC)

É a área no plano horizontal ocupada pela projeção da copa de uma árvore, assumindo que a área projetada é circular. Grandeza utilizada para quantificar o espaço ocupado pela árvore. Para o cálculo foi considerado o raio médio de copa, expresso por:

$$APC = \pi \cdot RCM^2 \quad (5)$$

Onde: APC = área de projeção de copa, em m²; RCM = raio de copa médio, em m.

5.2.4.3 Diâmetro de copa (DC)

O diâmetro de copa será calculado pela seguinte fórmula:

$$DC=2\overline{RCM} \quad (6)$$

Onde: DC = diâmetro de copa, em m; \overline{RCM} = raio de copa médio, em m.

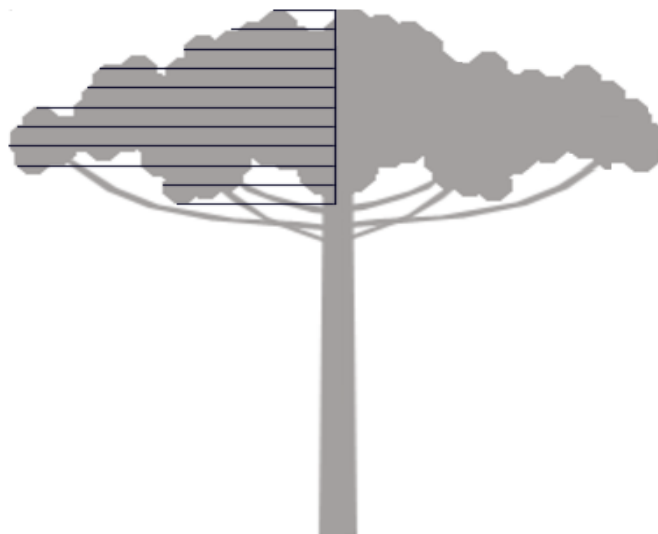
5.2.4.4 Comprimento da copa (LC)

Refere-se à parte compreendida entre a base e o ápice da copa de uma árvore. O comprimento da copa foi obtido por meio do processamento das imagens pelo software AutoCAD Versão Estudante 2017.

5.2.4.5 Raios de copa ao longo do comprimento da copa (RC_n)

O perfil foi seccionado ao longo do comprimento da copa em 10 partes, cada raio “n” gerado pela divisão foi dimensionado das imagens com o auxílio do software AutoCAD. Em cada posição “n” ao longo do comprimento de copa foi mensurado quatro raios derivando a média desses (Figura 5).

Figura 5 – Representação dos onze raios de copa ao longo do comprimento de copa.



Fonte: Marasciulo (2017).

5.2.4.6 Altura correspondente ao raio de copa (HRC_n)

É a altura, a partir da base da copa, correspondente ao raio de copa rc_n na posição n referente ao seccionamento em 10 partes. Estas alturas foram obtidas com o uso do software AutoCAD e são proporcionais ao comprimento de copa (Figura 6).

Figura 6 – Representação da altura correspondente ao raio de copa.



Fonte: Marasciulo (2017).

5.2.4.7 Raio de copa máximo (RC_{max})

É o raio que possui maior dimensão no perfil da copa, sendo responsável pela divisão entre copa de luz e de sombra. Sua delimitação foi dada para cada árvore pela avaliação da imagem pelo software AutoCAD identificando o ponto que possui a maior largura (Figura 7).

Figura 7 – Imagem digital com a variável raio máximo de copa.

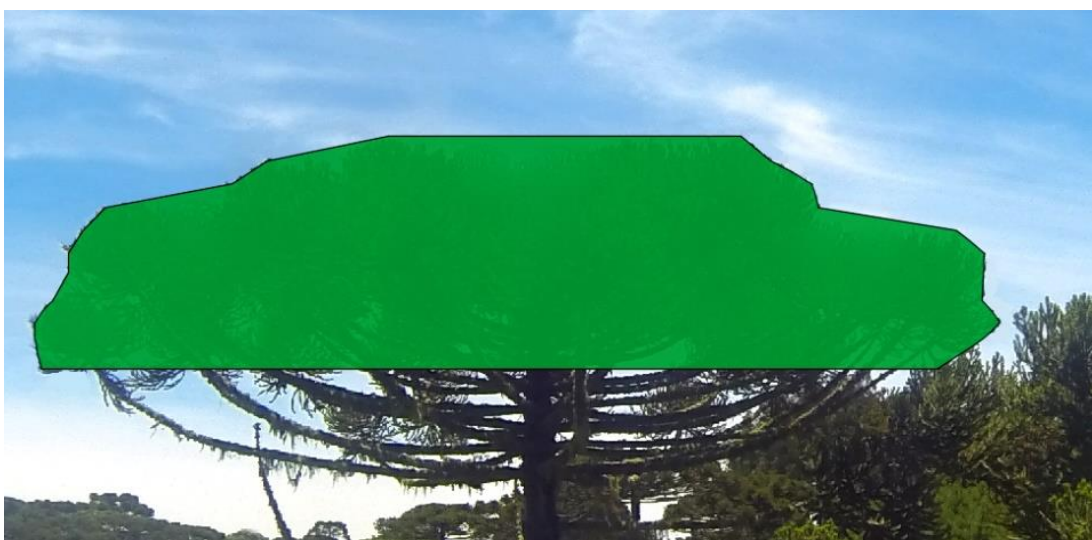


Fonte: Marasciulo,(2017).

5.2.4.8 Área do perfil de copa (AP)

É a área, referente ao perfil de copa da Araucária, obtida pela média dos perfis das imagens no sentido norte-sul e leste-oeste medidas pelo comando 'area' do software AutoCAD (Figura 8).

Figura 6 – Imagem digital com a variável área de perfil de copa.



Fonte: Marasciulo (2017).

5.2.4.9 Volume de copa (VC)

O volume de copa foi calculado através de uma adaptação da fórmula de Smalian, em que a altura das secções foi relativa ao comprimento de copa. O volume total foi dado pelo somatório do volume para as dez secções, dado pela fórmula (5):

$$V_{Ci} = \frac{(gc_n + gc_{n+1})}{2} \cdot h_n \quad (7)$$

Onde: V_{Ci} = volume de copa em cada secção, em m^3 ; gc = área basal da secção de copa, em m^2 ; h = altura da secção de copa, em m.

5.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS DE COPA COM USO DE GEOTECNOLOGIA

Para a obtenção das variáveis de copa para caracterização de sua arquitetura foram utilizadas fotografias digitais. Para tal, foram capturadas por meio de uma câmera GoPro 3 acoplada a um RPA modelo quadricóptero Phantom 1 (Figura 9), suas especificações estão descritas no Quadro 2. Em seguida foi realizada a correção, avaliação e mensuração das fotografias pelo software AutoCAD 2017.

Figura 7 – RPA Phantom 1.



Fonte: DJI (2017).

Quadro 2 – Especificações da câmera GoPro e RPA Phantom 1.

GoPro 3	
Resolução	10MP
Distância focal	35mm
Abertura	f/2.8 fixa
Obturador	eletrônico
Phantom 1	
Temperatura de operação	-10°C ~ 50°C
Consumo de energia	3,12W
Peso de decolagem	<1200g
Precisão de voo (Modo GPS)	0,8m (vertical) e 2,5m (horizontal)
Velocidade angular	200°/s
Ângulo máximo de inclinação máximo	45°
Velocidade máxima (subida/descida)	6m/s
Máxima velocidade de voo	10m/s
Distância diagonal	350mm
Peso	670g
Tamanho inteiro com quatro proteções de suporte	575,5mm

Fonte: DJI (2017).

Para cada árvore, o RPA foi posicionado a uma distância capaz de visualizar a copa de uma extremidade à outra. Com o conhecimento prévio da altura da árvore, o voo foi feito no sentido vertical registrando fotografias até alcançar a altura total (Figura 10). O procedimento foi contemplado em dois sentidos: norte-sul e leste-oeste.

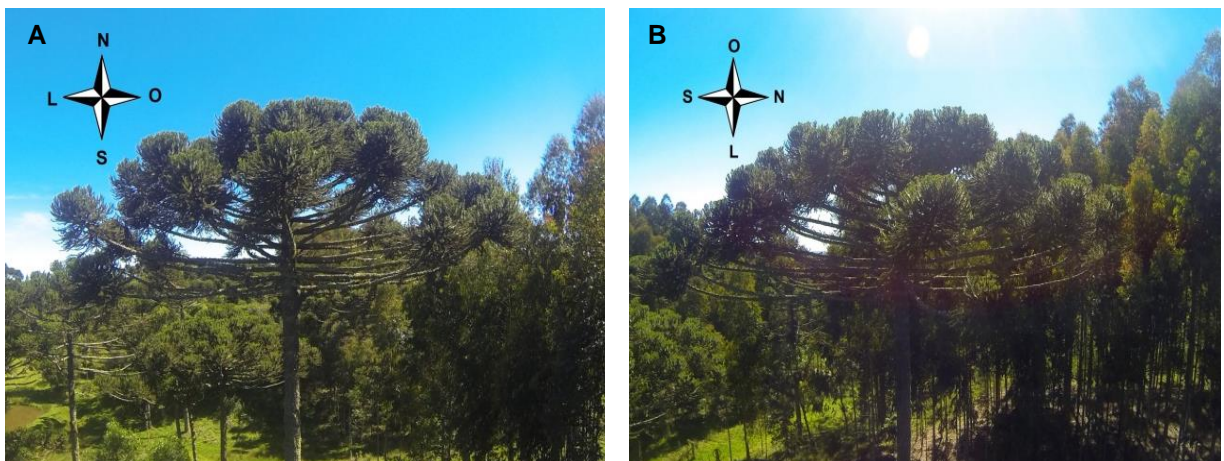
Figura 8 – Voo de *RPA* para aquisição das imagens.



Fonte: Marasciulo (2017).

Para cada árvore foram obtidos dois perfis de copa em um ângulo de 90° , sendo considerados de maneira independente, uma vez que seus raios de copas são tomados em diferentes alturas para os distintos perfis (Figura 11 A e B).

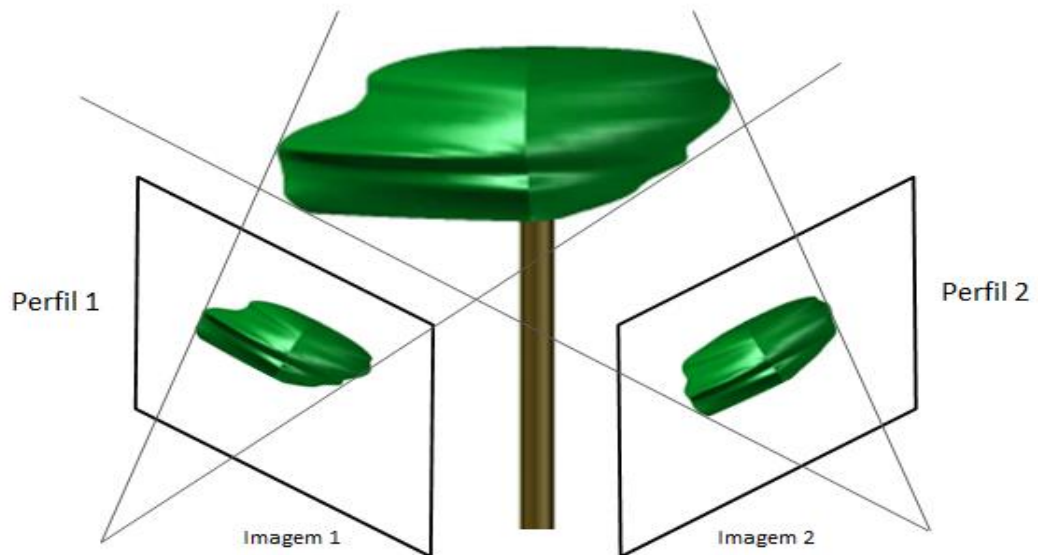
Figura 9 – Copa da *Araucaria angustifolia* fotografada em duas orientações: leste e oeste (A); norte e sul (B).



Fonte: Marasciulo (2017).

Após a obtenção das imagens, foram avaliadas e mensuradas todas as variáveis morfométricas de interesse. Para este processo, foram reproduzidas as silhuetas dos indivíduos formadas pelas imagens (Figura 12).

Figura 10 – Esquemática dos dois perfis de copa obtidos por meio das imagens.



Fonte: Marasciulo (2017).

Para a mensuração, foi criado um fator de escala (independente para cada imagem) definido pela relação entre a distância da primeira inserção até o ápice, resultante da diferença entre a altura total e altura da primeira inserção ($H-H_i$), e o número de pixels referentes a esta extensão da copa na imagem. Posteriormente, a copa foi seccionada em 10 partes iguais, com o comando “divide” do software AutoCAD 2017, e a partir de cada ponto da divisão foram traçadas linhas pelo comando “line”, contemplando 11 raios à esquerda e 11 raios à direita, da base ao ápice da copa, em suas alturas relativas (Figura 13).

A aquisição dos valores das variáveis comprimento de copa, raios, altura de cada raio e raio máximo foi realizada pelo comando “dist”; e para variável área de perfil de copa pelo comando “area”.

Figura 11 – Imagem digital processada para a aquisição das variáveis de copa.



Fonte: Marasciulo (2017).

5.3.1 Validação dos dados obtidos por imagem

Para validar as informações adquiridas das imagens, foram avaliadas as relações existentes entre as variáveis categóricas: raio máximo mensurado a campo e raio máximo obtido por meio das imagens. Foi aplicado o teste Qui-Quadrado (χ^2) para averiguar a semelhança entre as variáveis, levando em consideração a hipótese: se $\chi^2_{\text{calculado}} < \chi^2_{\text{tabelado}}$, aceita-se H_0 e os valores são similares. A fórmula é:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (8)$$

Onde: χ^2 = valor do teste Qui-Quadrado; o = frequência observada; e = frequência esperada.

5.4 MODELAGENS DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, MORFOMÉTRICAS, DE COMPETIÇÃO E VOLUME DE COPA

5.4.1 Modelagem da variável de competição

O modelo empregado para avaliar a performance de cada índice de competição (17) na regressão linear, foi:

$$IC = b_0 + b_1 \cdot (DAP) \quad (9)$$

Onde: DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; b_0 = coeficiente de intercepção; b_1 = coeficiente de inclinação; IC = índice de competição.

A escolha da melhor equação ajustada teve como critérios estatísticos o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), erro padrão da estimativa percentual ($Sy\%$) e análise gráfica dos resíduos.

O coeficiente de determinação fornece o grau de ajustamento do modelo, isto é, a quantidade de variação total explicada pela regressão, determinando o quanto as variáveis dependentes são explicadas pelas independentes. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo, sendo obtido pela expressão:

$$R^2_{aj.} = R^2 - \left[\frac{K-1}{N-K} \right] \cdot (1-R^2) \quad (10)$$

Onde: R^2 = coeficiente de determinação ajustado; K = número de parâmetros do modelo; N = número de observações.

O erro padrão da estimativa mede o desvio médio entre os valores observados e os valores estimados. Informa de modo aproximado a extensão do erro entre os valores obtidos das estimativas e os valores reais, dado que, quanto mais próximo de zero, melhor (CASTANHEIRA, 2010). Calculado pela seguinte fórmula:

$$Syx = \sqrt{QM \text{ resíduo}} \quad e \quad Sy\% = \frac{Syx}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (11)$$

Onde: Syx = erro padrão da estimativa; Syx% = erro padrão da estimativa em percentagem; QM resíduo = quadrado médio do resíduo \bar{Y} = valor médio observado.

A análise gráfica da distribuição dos resíduos entre a variável dependente estimada e observada permite verificar o ajuste da equação. Por ela é possível detectar a existência de tendências no ajuste ao longo da linha de regressão.

5.4.2 Modelagem dos raios do perfil da copa

O ajuste das equações para os onze raios de copa ao longo do comprimento de copa foi dado pelo modelo linear simples:

$$RC_n = b_0 + b_1 \cdot (DAP) \quad (12)$$

Onde: DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; b_0 = coeficiente de intercepção; b_1 = coeficiente de inclinação; RCn = raio de copa na posição n.

5.4.2.1 Reconstrução da árvore em modelo tridimensional (3D)

O modelo tridimensional foi construído a partir do ajuste dos onze raios que compõem o perfil de copa e o comprimento de copa. Por meio desta perspectiva foram analisadas as formas de copa pelos ajustes para exemplares registrados de menor e maior diâmetro. O procedimento foi realizado pelo software AutoCAD - Modelagem 3D.

5.4.3 Modelagem das variáveis de copa e altura

O ajuste das equações de raio de copa médio, comprimento de copa, área de projeção de copa e área de perfil de copa e altura total foi realizado pelo procedimento Stepwise. O diâmetro a 1,30m do solo, por ser considerado uma variável intimamente ligada à morfometria da copa, foi empregado como variável independente nas formas simples, quadrática, raiz, logarítmica e inversa (dap , dap^2 , $1/dap$, $1/dap^2$, $\ln(dap)$, \sqrt{dap} e $1/\sqrt{dap}$).

5.4.4 Modelagem do volume de copa

A construção do modelo de volume de copa da araucária teve como objetivo descrever o crescimento da espécie levando em consideração fatores limitantes para o desenvolvimento, como a competição, variáveis dendrométricas e morfométricas somado a posição social no dossel. A partir da matriz de correlação linear simples foi construído um modelo para o volume de copa pelo procedimento Stepwise, com as seguintes variáveis testadas: diâmetro a 1,30m do solo (DAP), altura total (H), índice de competição (IC) que melhor expressou – entre os 17 índices - a concorrência sofrida pelas árvores, raio de copa médio (RCM), comprimento de copa (LC), área de projeção de copa (APC), área de perfil de copa (AP), posição social (EST) e sexo (SEXO) da árvore.

O método de Stepwise consiste na inclusão e exclusão de cada variável explicativa em ordem decrescente de correlação linear simples com a variável dependente de forma que identifique somente aquelas que melhor se adaptem à modelagem em relação a variável dependente.

Para a determinação da precisão estatística dos modelos ajustados foram avaliados os seguintes critérios: análise da distribuição de resíduos, coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa percentual ($Sy_x\%$).

5.4.5 Análise estatística

Foram realizados os testes de Shapiro-Wilk, Goldfeld-Quandt e Durbin-Watson, a fim de avaliar normalidade dos dados, homogeneidade de variâncias e independência dos resíduos, respectivamente, além da realização da análise de variância⁴. Foi feito ainda a correlação de Pearson para de verificar o grau de associação entre o volume e as variáveis preditoras. O valor de correlação possui a amplitude de -1 a 1, mostrando-se mais forte próxima desses valores, mais fraca próxima do coeficiente zero e nula quando igual à zero.

Os processos de modelagem pelo procedimento Stepwise e linear simples, além das estatísticas supracitadas foram realizadas pelo programa R versão 3.3.0 (R

⁴ Análise de variância: Processo que consiste em dividir a variância em componentes úteis e permite a comparação, simultaneamente, das médias de várias amostras desde que tenham sido extraídas de populações que têm distribuição normal, mesmo valor de variância e sejam aleatórias e independentes.

DEVELOPMENT CORE TEAM, 2015) e a interface gráfica RStudio® versão 0.99.896 (RSTUDIO TEAM, 2015).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram amostrados 209 indivíduos arbóreos distribuídos em 16 espécies, 14 gêneros e 13 famílias botânicas. Do total de indivíduos, 149 eram da espécie Araucária (Tabela 1).

Tabela 1 - Relação do número de indivíduos (ni), espécies, variáveis dendrométricas e posição social levantadas em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.

N	Nome Científico	Família	ni	Dg	\bar{H}	1	2	3	4
1	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Araucariaceae	149	39,0	14,0	14	78	16	28
2	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Salicaceae	1	25,0	10,1	-	-	-	1
3	<i>Cinnamodendron dinisii</i> Schwacke	Canellaceae	4	21,2	10,2	-	-	1	3
4	<i>Clethra scabra</i> Pers.	Clethraceae	10	30,7	13,1	-	1	4	5
5	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers	Winteraceae	1	18,9	6,1	-	-	-	1
6	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	Aquifoliaceae	1	29,6	11,2	-	-	-	1
7	<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	Aquifoliaceae	3	27,0	10,8	-	-	2	1
8	<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	Bignoniaceae	2	29,5	13,7	-	-	-	2
9	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Cunoniaceae	7	31,7	12,8	-	1	-	6
10	<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	Anacardiaceae	1	19,1	8,8	-	-	-	1
11	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Sapindaceae	4	37,0	12,6	-	-	1	3
12	<i>Myrcia palustris</i> DC.	Myrtaceae	7	27,1	11,1	-	-	-	7
13	<i>Ocotea porosa</i> Angely	Lauraceae	3	27,2	17,0	-	1	2	-
14	<i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez	Lauraceae	7	44,4	15,7	-	5	1	1
15	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Anacardeacea	1	22,8	7,9	-	-	-	1
16	<i>Vernonanthura discolor</i> (Spreng.) H. Rob.	Asteraceae	8	34,5	15,6	-	4	1	3

Onde: ni = número de indivíduos; Dg = quadrático médio, em m; \bar{H} = altura média, em m; 1 = número de indivíduos na posição social Predominante; 2 = número de indivíduos na posição social Dominante; 3 = número de indivíduos na posição social Codominante; 4 = número de indivíduos na posição social Dominada.

Fonte: Marasciulo (2017).

Das 149 araucárias, 13 encontraram-se completamente isolados, desta forma, a classificação sociológica para esses indivíduos não se aplicou. As famílias de maior ocorrência foram Anacardeacea, Aquifoliaceae e Lauraceae. Essas famílias também foram mencionadas por Albuquerque et al. (2015) e Rondon Neto et al. (2001), em Sistema Faxinal de remanescentes de Floresta Ombrófila Mista nos

estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Da mesma forma, Albuquerque et al. (2011) salientaram que na região do município de Rebouças, Paraná, as famílias de maior ocorrência em Sistema Faxinal foram Myrtaceae, Lauraceae, Salicaceae. Longui et al. (2006) afirmaram, em seu estudo, que a família Myrtaceae foi representativa em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista localizada em São Francisco de Paula, RS.

6.1 CARACTERIZAÇÃO DA COPA

Do total das 149 árvores de araucária, foram coletadas imagens com *RPA* da copa de apenas 78. Na Tabela 2 são apresentadas as informações dendrométricas, coletadas em campo, e da morfometria da copa, extraídas das imagens das árvores supracitadas.

Tabela 2 - Características dendrométricas e morfométricas das 78 árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze mensuradas em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.

Variáveis	Unidade	Mínimo	Média/desvio	Máximo
Diâmetro (DAP)	cm	11,5	40,1/13,4	71,6
Altura (H)	m	7,2	13,7/3,2	24,1
Altura do fuste (HF)	m	4,3	9,8/3,1	16,6
Raio médio de copa (RCM)	m	1,6	4,6/1,7	8,9
Diâmetro de copa (DC)	m	3,1	9,1/3,4	17,9
Área de projeção de copa (APC)	m ²	7,8	74,8/52,3	250,8
Comprimento de copa (LC)	m	0,6	3,7/2,3	9,3
Maior raio de copa (RMAX)	m	1,1	3,8/16	8,9
Área de perfil de copa (AP)	m ²	1,8	24,8/21,5	90,7
Volume de copa (VC)	m ³	2,6	148,0/120,0	523,0

Fonte: Marasciulo (2017).

6.1.1 Modelagem das variáveis de copa e altura

MÖTTUS et al. (2006) afirmaram que, para a estimativa do volume de copa de coníferas, foram modeladas as variáveis independentes de estrutura da árvore considerando DAP com boa precisão.

As variáveis independentes que compõem o modelo completo no procedimento de modelagem para o volume de copa foram ajustadas em função variável independente diâmetro do fuste a 1,3 do solo nas formas simples, quadrática, raiz, logarítmica e inversa (DAP, DAP², 1/DAP, 1/DAP², ln(DAP), $\sqrt{\text{DAP}}$ e $1/\sqrt{\text{DAP}}$) pelo processo de Stepwise. As equações resultantes estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo estatístico da regressão das variáveis morfométricas e altura em função do DAP de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze mensuradas em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.

Variável	b0	b1	R ² aj	Syx%	F
LC	-3,9473 ^{NS}	2,1797*	0,1548	56,3	14,0
AP	-4,1209 ^{NS}	0,7586*	0,2331	72,1	22,6
H	6,2513*	0,1845*	0,6317	16,5	122,8

Onde: NS = não significativo ($p > 0,05$); * = Significativo ($p < 0,05$); DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo.

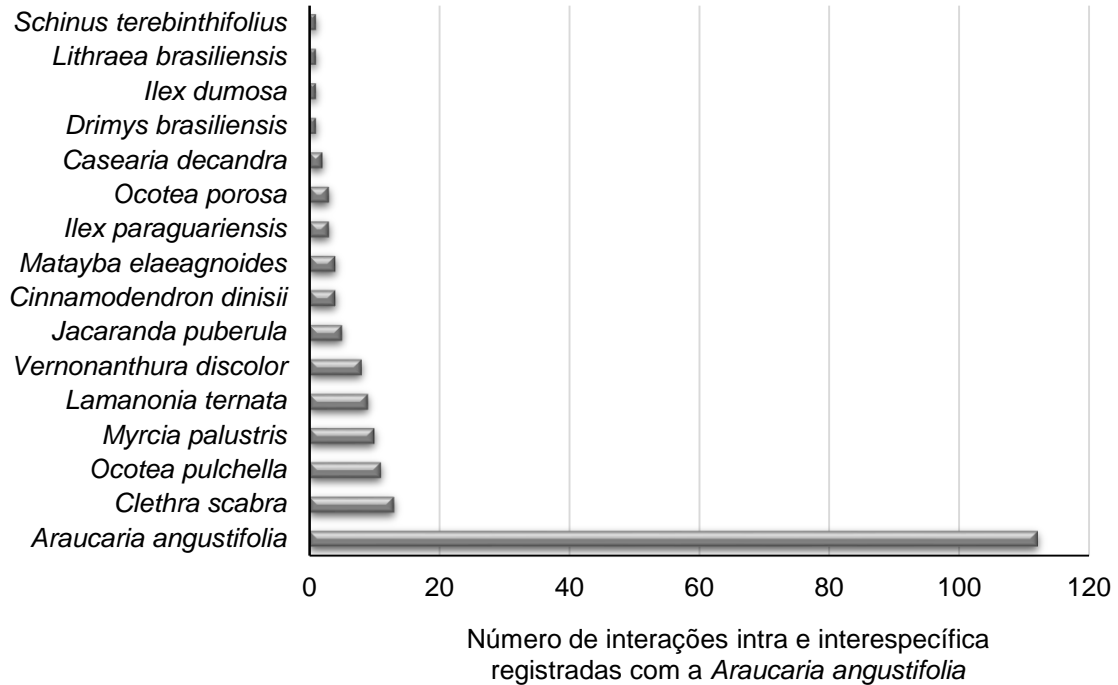
Fonte: Marasciulo (2017).

O ajuste de modelo por Stepwise para comprimento de copa selecionou a variável DAP na sua forma de logarítmica; e para área de perfil de copa e altura foi incluída a variável DAP em sua forma simples. No entanto, as variáveis raio de copa médio e área de projeção de copa apresentaram baixa correlação com o DAP, 0,12 e -0,01, respectivamente, o procedimento Stepwise não selecionou nenhuma destas variáveis.

6.2 EFEITO DA COMPETIÇÃO SOBRE A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze

Dos 149 indivíduos de araucária, 118 estavam sob influência de competição. Essa competição ocorreu de forma intra e interespecífica (Figura 14).

Figura 12 - Relação do número de interações intra e interespecífica registradas com a *Araucaria angustifolia* em Sistema Faxinal, Curitibaanos, SC.



Fonte: Marasciulo (2017).

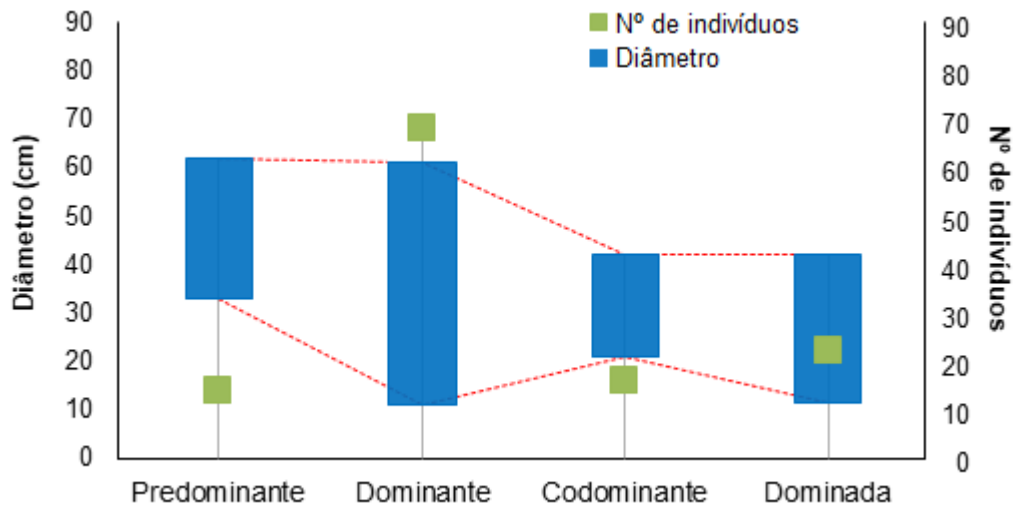
Foi constatado maior interação de copas entre os indivíduos de Araucária. Esse fato pode ser explicado pela maior ocorrência de indivíduos dessa espécie na área em estudo. As espécies que representaram maior interação com os indivíduos de Araucária foram *Clethra scabra*, *Ocotea pulchella*, *Myrcia palustris*, *Lamanonia ternata* e *Vernonanthur discolor*. Zandavalli (2006) avaliou a competição exercida na *Araucaria angustifolia* e constatou que ambas as competições, intra e interespecífica, expressaram efeito negativo sob o crescimento da espécie. Johansson; Keddy (1991), em um estudo de intensidade de concorrência, demonstraram que a competição aumentou à medida que a similaridade entre as competidoras aumentou. A competição intraespecífica possui um efeito maior do que a competição interespecífica, uma vez que indivíduos da mesma espécie usufruem dos mesmos recursos (BERENDSE, 1983).

Existiu uma tendência de árvores maiores crescerem mais em relação às árvores situadas em estratos inferiores do povoamento. O gráfico demonstra o maior número de indivíduos sob efeito de competição na classe dominante, posto que

esses indivíduos fazem parte do estrato principal do dossel. Os diâmetros deste estrato apresentam uma amplitude maior comparado aos demais.

As árvores componentes da posição mais alta do dossel, as predominantes, possuem as maiores dimensões em relação ao DAP, não apresentando valor menor do que 33,4cm. Os indivíduos codominantes e predominantes foram menos expressivos no status de competição (Figura 15).

Figura 13 – Gráfico do número de indivíduos e diâmetro por posição social de araucárias sob efeito de competição.



Fonte: Marasciulo (2017).

Em estudo sobre efeito de diferentes classes de altura sobre o crescimento de eucalipto, Cezana et al., (2012) apresentaram resultados semelhantes, corroborando com o pressuposto de que as árvores dominantes crescem mais do que árvores que estão sendo dominadas, devido a diversos fatores como, provavelmente, a competição por luz.

Orellana; Koehler (2008) ao estudar as relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer relevou a importância de explorar as relações de competição nas diferentes posições sociais a fim de determinar o número de árvores a serem exploradas, embasado no volume de biomassa com vista ao uso racional e sustentável do recurso.

As classes dominante e predominante registraram o número máximo de competidoras por árvore de 6 e 7, respectivamente, enquanto as classes codominante e dominada tiveram 5. Paiva et al. (2001) fundamenta este cenário pois indivíduos das classes predominantes e dominantes são árvores mais vigorosas e ocupam as posições mais altas na cobertura das copas, e, normalmente têm melhores chances de sobreviver à competição pelos fatores de crescimento, enquanto classes inferiores englobam árvores menos vigorosas.

6.2.1 Índice de competição

Os resultados da regressão linear dos índices de competição em função do diâmetro do fuste a 1,30m do solo (DAP) podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo estatístico da regressão linear de 17 índices de competição em função do diâmetro do fuste a 1,30m do solo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

Variável	F	p	R ² aj	Syx%
IC1	11,5	0,0009	0,0826	65,2
IC2	104,7	<0,0001	0,4698	28,7
IC3	13,4	0,0003	0,0958	56,4
IC4	43,1	<0,0001	0,2650	82,9
IC5	46,3	<0,0001	0,2793	94,7
IC6	30,6	<0,0001	0,2019	69,1
IC7	87,4	<0,0001	0,4248	57,5
IC8	2,5	1,1139	0,0130	53,9
IC9	20,9	<0,0001	0,1455	68,4
IC10	15,3	<0,0001	0,1090	56,2
IC11	21,7	<0,0001	0,1503	69,4
IC12	48,6	<0,0001	0,2895	61,9
IC13	0,93	0,3352	0,0080	63,5
IC14	41,3	<0,0001	0,2563	69,3
IC15	10,6	0,0014	0,0761	74,5
IC16	2,5	0,1162	0,0127	57,5
IC17	11,8	0,0007	0,0851	84,4

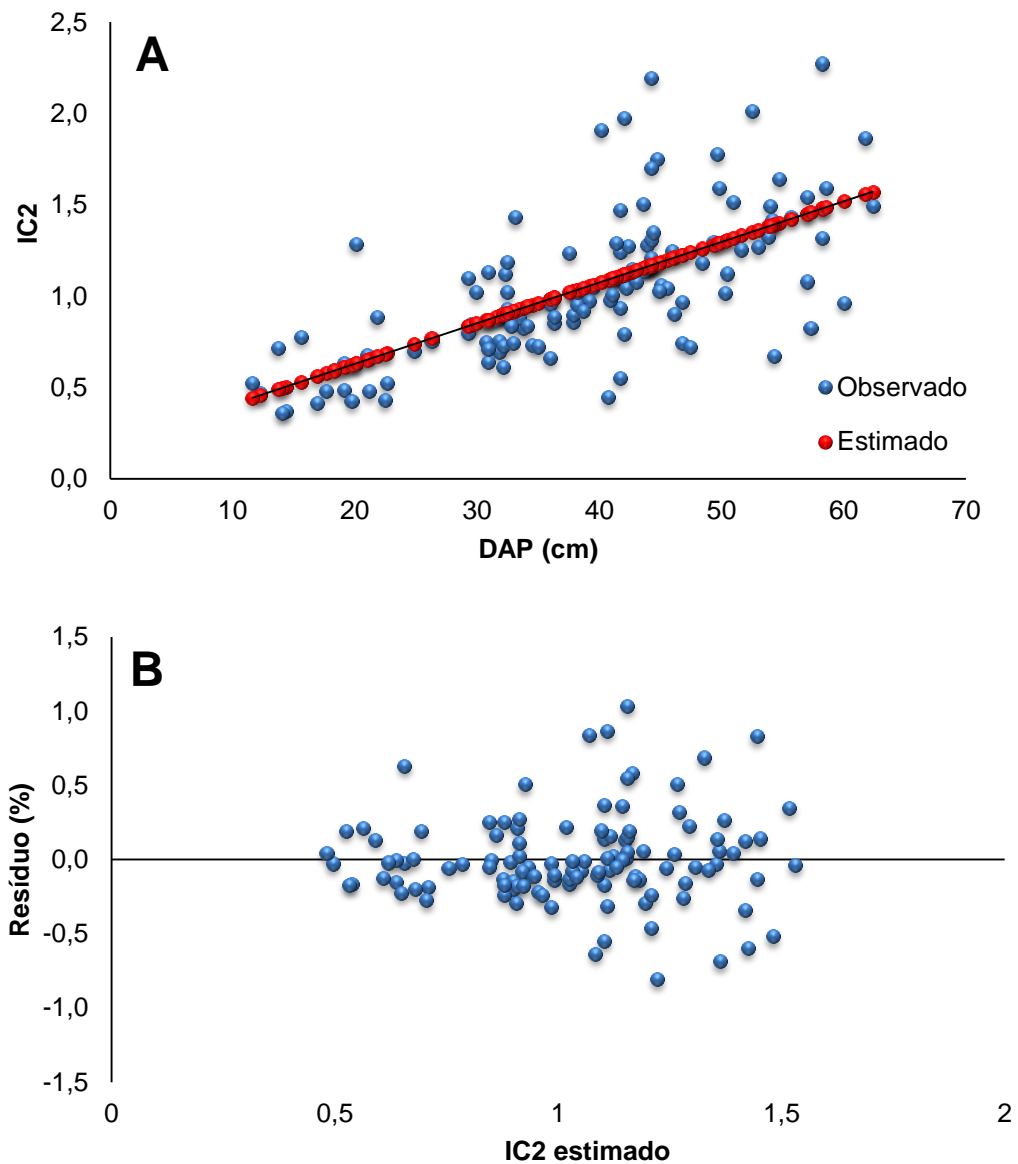
Onde: IC = Índice de competição; F = teste F_{calculado}; p = significância do teste F; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem.

Fonte: Marasciulo (2017).

O ajuste do modelo de IC2 obteve melhor performance apresentando $R^2_{aj}=0,4698$ e $Syx\%=28,7$. O diâmetro está intimamente ligado à arquitetura de copa, uma vez que a copa é incumbida pelos processos fisiológicos responsáveis pelo crescimento dos indivíduos.

A dispersão dos dados em torno da equação ajustada, bem como a análise de resíduos gerados para IC2, podem ser constatados nas Figuras 16 (A e B).

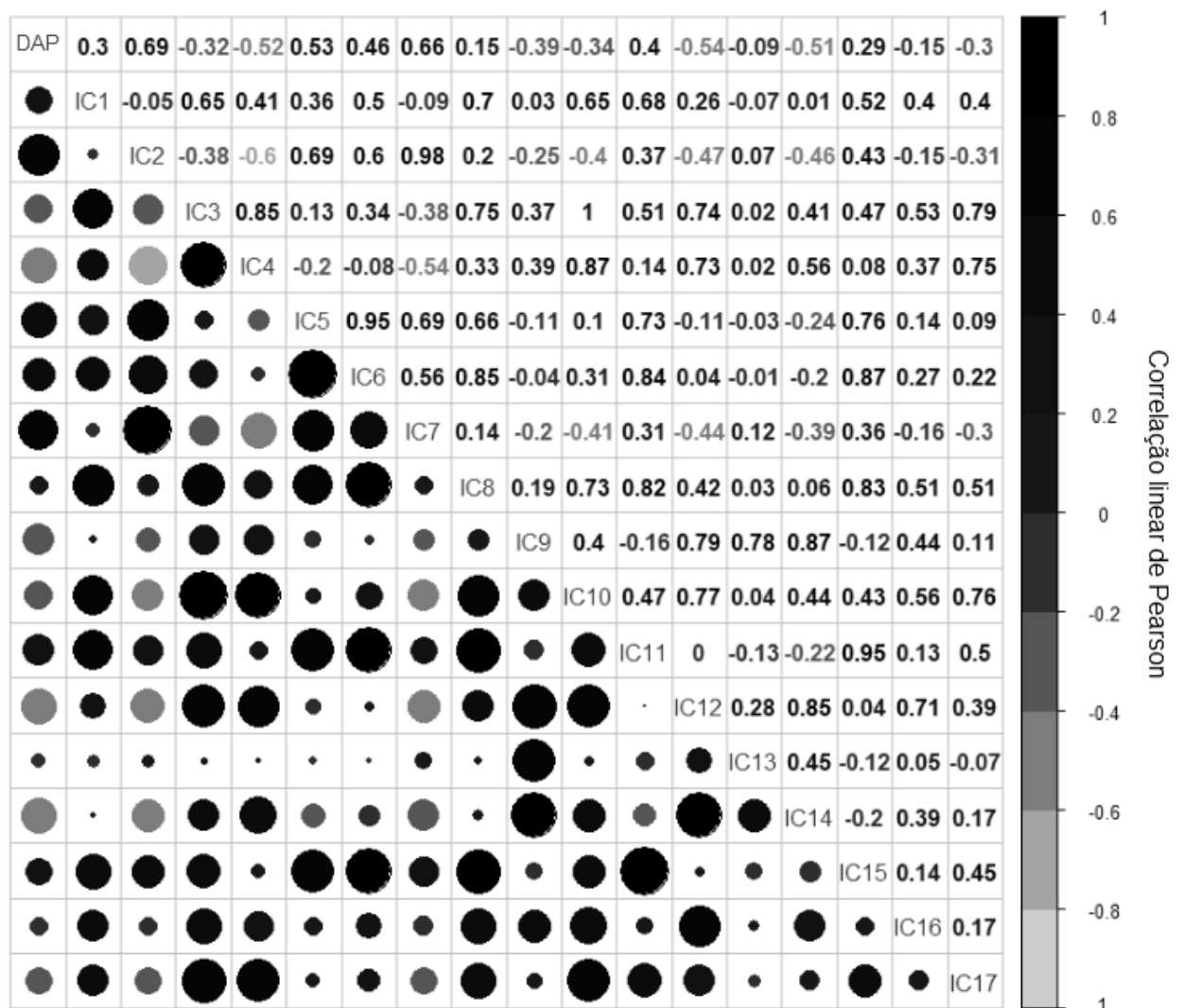
Figura 14 - Regressão linear (A) e distribuição dos resíduos (B) do ajuste de IC2 em função do diâmetro do fuste a 1,30m do solo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Legenda: IC = índice de competição; IC2 = índice de competição de Lorimer (1983); DAP = Diâmetro do fuste a 1,30m do solo.
 Fonte: Marasciulo (2017).

Esta análise foi corroborada pela correlação. Os índices independentes de distância (IC1 a IC7) mostraram melhor correlação com DAP em relação aos índices dependentes de distância, com destaque para o IC2 de Lorimer (1983), com correlação positiva de 0,69 (Figura 17).

Figura 15 - Matriz de similaridade de Pearson entre 17 índices de competição e o diâmetro do fuste a 1,30m do solo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Legenda: IC = índices de competição; DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo.
Fonte: Marasciulo (2017).

A competição afeta a arquitetura de copa, a qual está associada ao crescimento em diâmetro. O índice de competição selecionado (IC2) leva em consideração apenas o diâmetro da árvore objetivo e a média dos diâmetros de suas

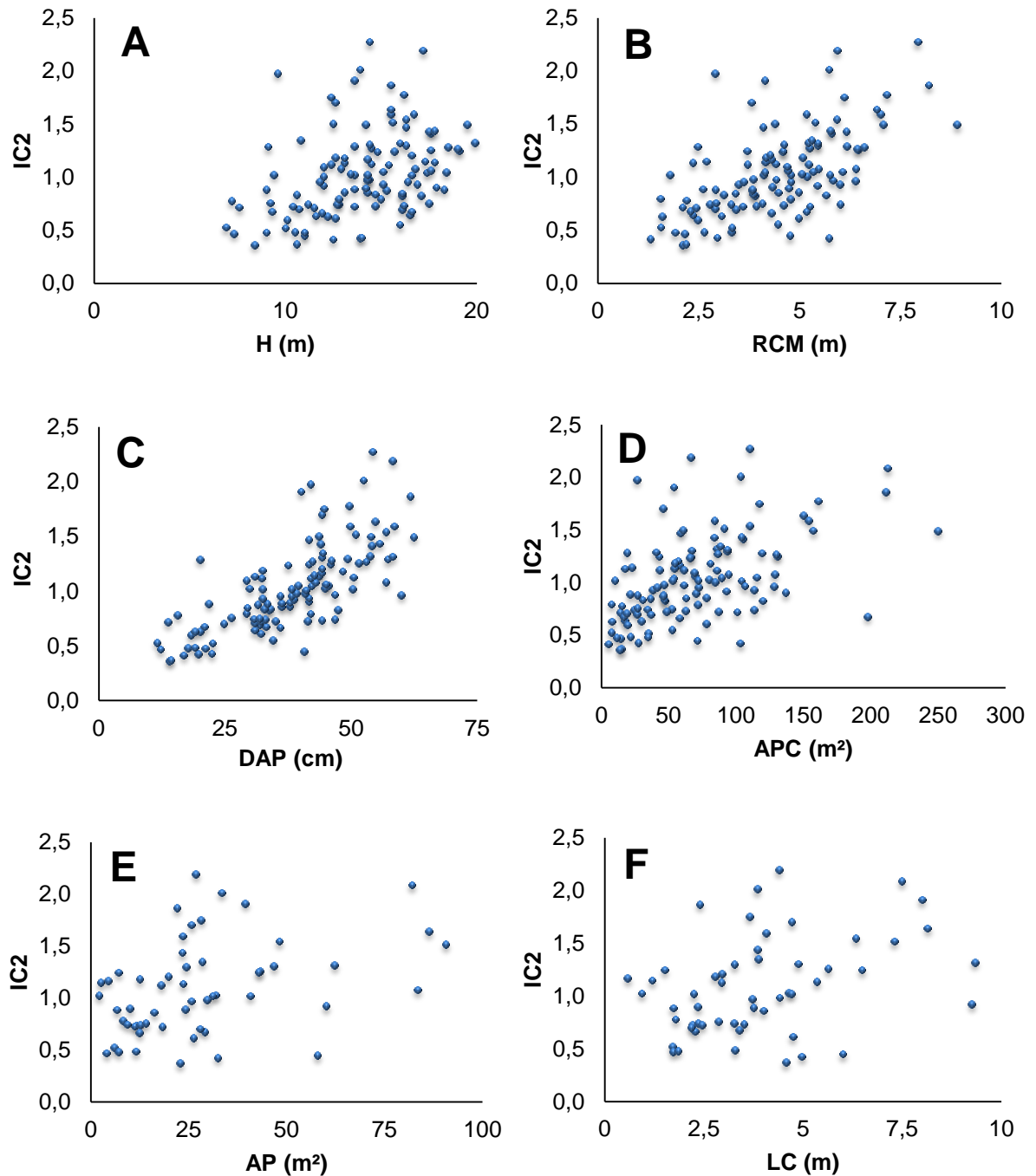
competidoras. Esse índice é inversamente proporcional à competição, ou seja, à medida que a competição aumenta, seu valor decresce. Quanto maior for o diâmetro das competidoras, maior será a competição exercida na árvore objetivo, independente das demais dimensões. TONINI (2007) apontou que a capacidade preditiva de um índice de competição está muito sujeita à espécie estudada e não à sua complexidade, por isso, em muitos casos, os índices mais simples são mais eficientes. Deste modo, infere-se à escolha deste índice por expressar a competição de forma adequada. A equação foi definida por:

$$IC2 = 0,242324 + 0,020653*(DAP) \quad (13)$$

Onde: DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; b_0 = coeficiente de intercepção; b_1 = coeficiente de inclinação; IC = índice de competição.

Diversos estudos demonstram que o índice de competição independente de distância descreve melhor a competição entre árvores (CORONA; FERRERA, 1989); DANIEL et al., 1986). Martins et al. (2011) avaliaram índices de competição para expressar a concorrência em árvores individuais de eucalipto. Um índice independente de distância melhor expressou o status de competição deste estudo. Os autores destacaram que, subjetivamente, índices dependentes da distância deveriam apresentar vantagens sobre os independentes da distância; no entanto, não há confirmação sobre essa hipótese. As dimensões das árvores podem refletir o efeito que elas sofrem da competição. O efeito desta competição pode refletir nas dimensões das árvores, o que foi observado pelo desenvolvimento das variáveis dendrométricas e morfométricas altura, raio de copa médio, diâmetro do fuste a 1,30m do solo, área de projeção de copa, área de perfil de copa e comprimento de copa na Figura 18.

Figura 16 - Gráficos de dispersão entre o IC2 e altura (A), raio de copa médio (B), diâmetro a altura de 1,30m do solo (C), área de projeção de copa (D), área de perfil de copa (E) e comprimento de copa (F) de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Legenda: IC2 = índice de competição de Lorimer (1983); H = altura total, em m; RCM = raio de copa médio, em m; DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; APC = área de projeção de copa, em m²; AP = área de perfil de copa, em m²; LC = comprimento de copa, em m.
 Fonte: Marasciulo (2017).

Quanto maior a competição exercida sobre o indivíduo, menores são as dimensões das árvores, verificado que a competição é um fator limitante para o crescimento referente às variáveis dendrométricas e morfométrica. Desta forma, a altura, diâmetro a 1,30m do solo, raio de copa médio, comprimento de copa, área de projeção de copa e área de perfil de copa sofrem reduções em suas medidas conforme a influência da competição intensifica.

Paiva et al., (2001) demonstraram o mesmo comportamento para eucalipto, em que árvores mais altas sofrem menor efeito da competição, enquanto as de menor estatura sofrem maior efeito.

Entretanto, Zandavalli (2006) analisou o efeito da competição sobre o comprimento de copa para *Araucaria angustifolia* e demonstrou que a altura das árvores não sofreu o efeito de forma proeminente, porém, os raios apresentaram melhor desenvolvimento para as árvores isoladas em relação às árvores submetidas à competição.

Existiu associação entre diâmetro e a competição, de modo que quanto maior a competição, menor o crescimento; isso evidencia que a espécie é fortemente afetada pelas competidoras. Esse resultado é, também, verificado por Silveira et al. (2015) no estudo das relações da morfometria e competição no crescimento de *Trichilia clausenii*.

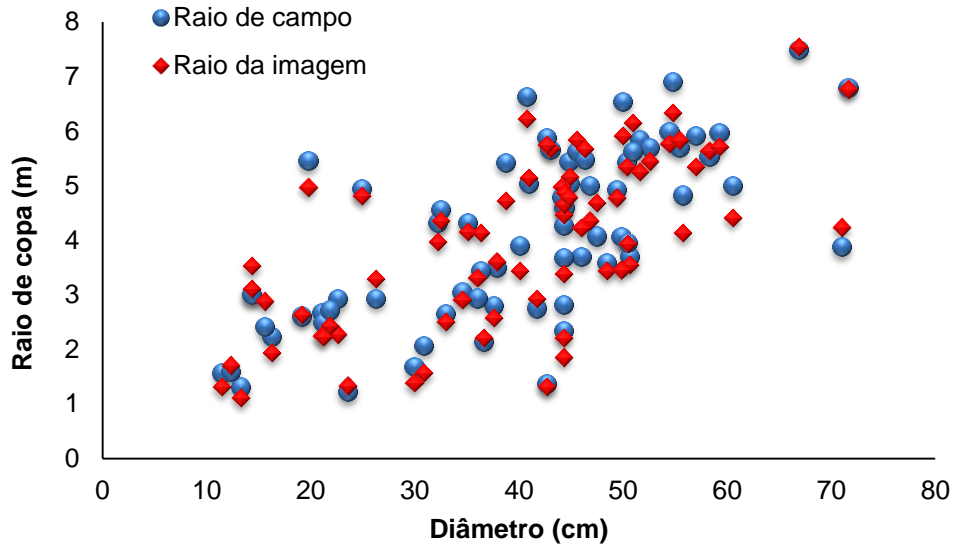
O comprimento de copa e área de perfil de copa apresentaram maior efeito de competição para valores inferiores a 2,5m e 25,0m, respectivamente.

6.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS DE ARQUITETURA DE COPA COM AUXÍLIO DA GEOTECNOLOGIA

A utilização de *RPA* na captura de imagens aéreas, com programas computacionais de processamento de imagens permitiu a obtenção das variáveis morfométricas que caracterizaram a arquitetura das copas de indivíduos da espécie *Araucaria angustifolia*. Foi possível obter informações de 78 indivíduos desta espécie, nas condições de isolamento, com potencial máximo de crescimento, e em plena competição, exposto a fatores que limitam o desenvolvimento.

O raio máximo de copa mensurado em campo foi comparado com o raio máximo medido indiretamente na imagem capturada pela câmera, sendo a última realizada com o auxílio do AutoCad (Figura 19).

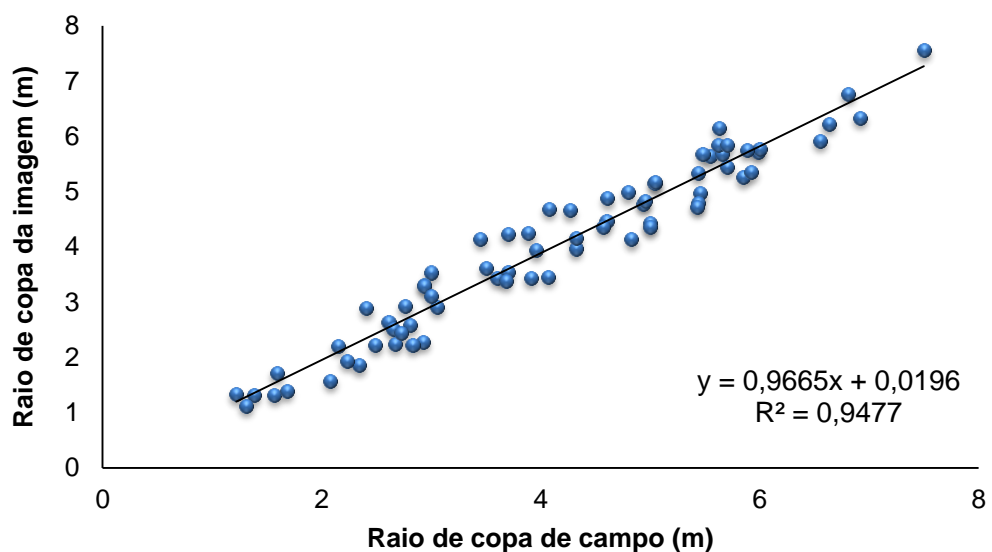
Figura 17 - Gráfico de dispersão entre DAP e as variáveis: raio máximo de campo e raio máximo obtido pela imagem do *RPA* de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Fonte: Marasciulo 2017.

A regressão das variáveis raio máximo de campo (variável independente) e o raio máximo obtido pela imagem do *RPA* (variável dependente) teve bom ajuste e apresentou $R^2_{aj} = 0,9477$ (Figura 20).

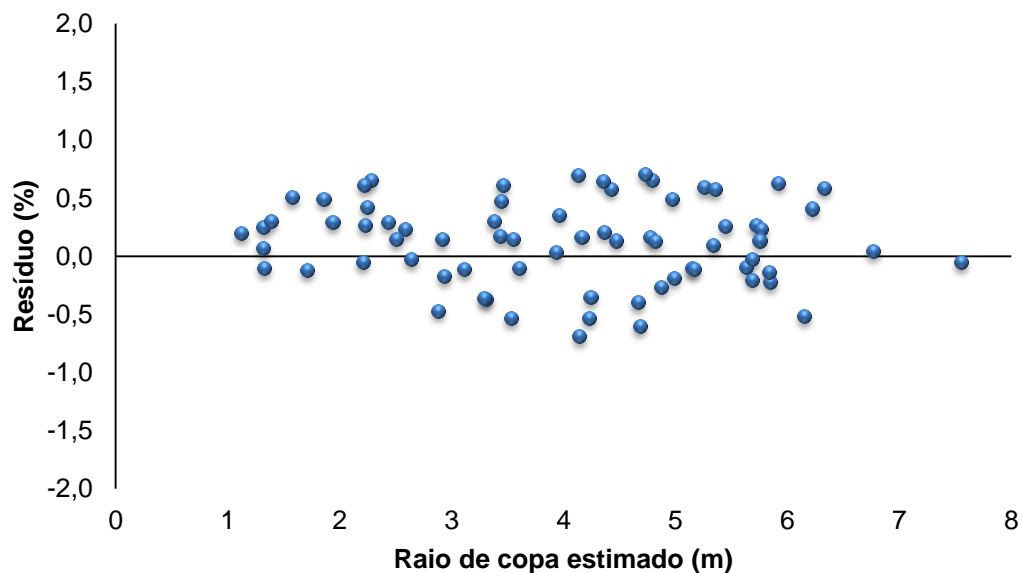
Figura 18 - Regressão entre raio máximo de campo (variável independente) e o raio máximo obtido pela imagem do *RPA* (variável dependente) de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Fonte: Marasciulo 2017.

Foi possível observar que os valores de campo e valores das imagens tiveram pouca variação, isto é, baixo resíduo. Foi verificado que a diferença entre as medidas varia de -0,69 a 0,70, tendo um erro de 8,66%. A homogeneidade na variância entre as duas medidas pode ser atribuída ao fato do *RPA* viabilizar a captura das imagens em mesmo nível de altura das copas, diminuindo a distorção da forma e dimensões da copa (Figura 21).

Figura 19 – Gráfico de distribuição dos resíduos do ajuste entre raio máximo de campo (variável independente) em função do raio máximo obtido pela imagem do *RPA* (variável dependente) de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Fonte: Marasciulo 2017.

Na análise de possíveis discrepâncias entre proporções das medidas diretas e indiretas, o teste Qui-Quadrado aceitou a hipótese, indicando que há semelhança entre as variáveis de raio máximo de campo e as variáveis mensuradas pelas imagens. O teste apresentou os valores:

$$\chi^2_{\text{cal}} = 2,82 < \chi^2_{\text{tab}} = 102,81 \quad (p < 0,0001) \quad (14)$$

Onde: χ^2_{calc} = valor Qui-Quadrado calculado; χ^2_{tab} = valor Qui-Quadrado tabelado.

6.4 MODELAGEM DOS RAIOS DE PERFIL DE COPA

Para extrair informações sobre a forma de copa, foram modelados onze raios referentes às dez secções do perfil de copa dimensionados através do processamento das imagens, com destaque ao raio máximo (Tabela 5). Foi usado o diâmetro do fuste a 1,30m do solo, mensurado a campo, como variável independente devido à estreita relação que possui com as propriedades de copa.

Tabela 5 - Resumo estatístico da regressão aplicada entre os raios de copa e o diâmetro do fuste a 1,30m do solo de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

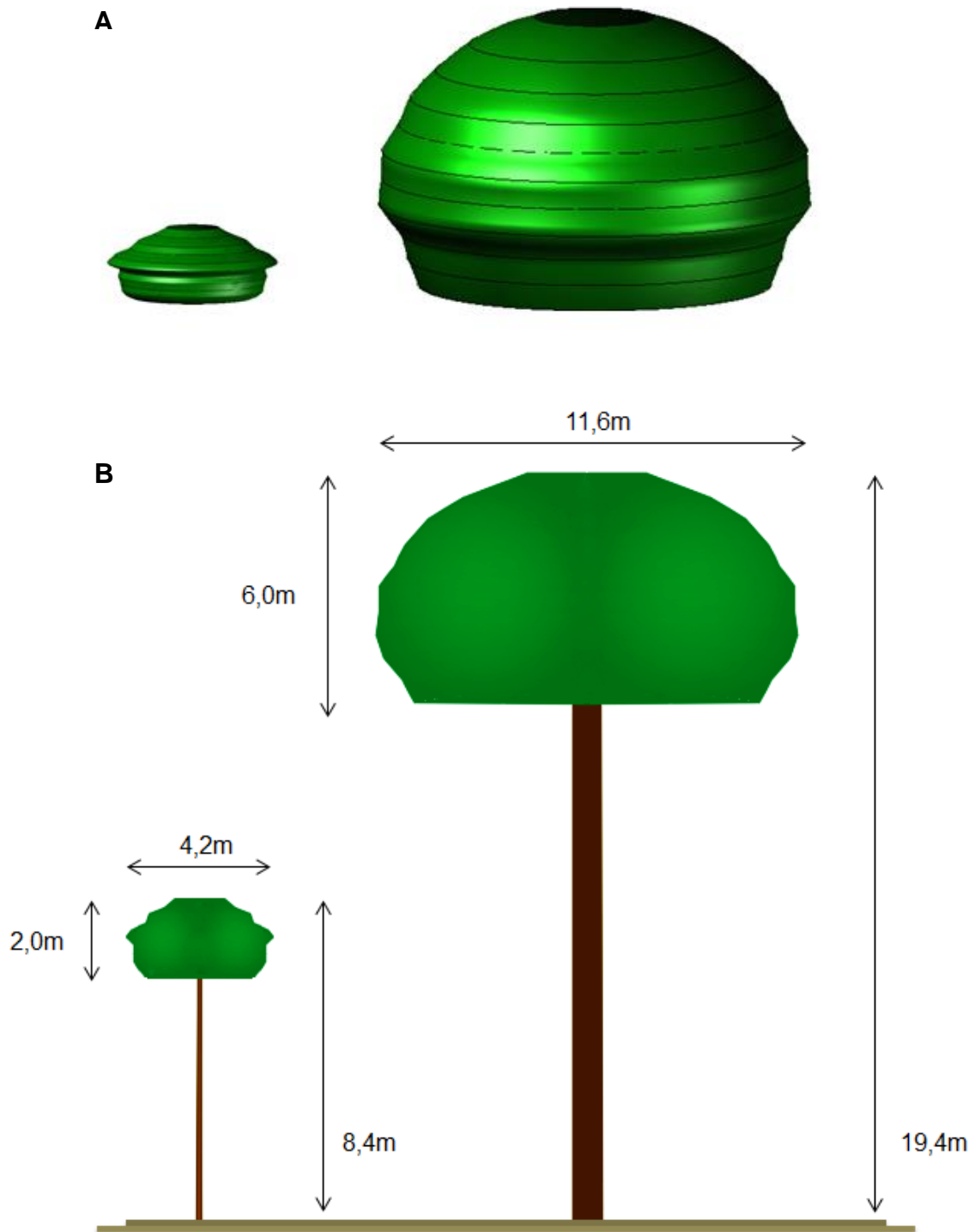
Variável	b0	b1	R ² aj	Syx%	F
R1	0,4145 ^{NS}	0,01559*	0,0929	70,3	8,891
R2	0,466 ^{NS}	0,0382*	0,3266	42,3	38,35
R3	0,7451 ^{NS}	0,0463*	0,4038	33,7	53,15
R4	0,8212*	0,05451*	0,4604	30,6	66,69
R5	11,541*	0,0537*	0,4426	28,5	62,14
R6	11,676*	0,0581*	0,3781	27,0	47,81
R7	0,9551*	0,0627*	0,4808	28,9	72,3
R8	0,9807*	0,0633*	0,4983	28,5	77,48
R9	0,9611*	0,0655*	0,4967	28,3	79,99
R10	0,9991*	0,0537*	0,454	29,4	65,02
R11	0,7801	0,0522*	0,4707	30,3	69,47
Rmax	13,377	0,0631*	0,4089	32,9	54,27

Onde: NS = não significativo à 95% de probabilidade; * = significativo à 95% de probabilidade; R²aj = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; F = teste F_{calculado}.
Fonte: Marasciulo 2017.

6.4.1 Reconstrução 3D

A partir da reconstrução 3D da copa por meio da estimação dos raios e comprimento de copa, foi comparada a forma da copa entre o indivíduo de menor diâmetro, 11,5cm, e de maior diâmetro, 71,1cm. No modelo 3D foi possível verificar a diferença na forma das copas. Os raios ao longo da extensão vertical da copa possuem comportamento independente entre eles. Este comportamento ocasiona a estimação de formas diferentes de copa conforme a dimensão da árvore, apresentado em perspectiva 3D e em plano 2D (Figura 22 A e B).

Figura 20 – Forma da arquitetura de copa em modelo tridimensional (3D) do volume de copa (A) e em perspectiva bidimensional (2D) (B) de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.



Fonte: Marasciulo (2017).

Foi possível verificar que propriedades morfométricas da copa variam conforme o diâmetro, altura e posição ocupada no dossel. A forma da copa para as distintas árvores sofreu alterações, podendo inferir que os raios ao longo do perfil de da copa tem crescimento diferente entre eles à medida que diverge o porte da árvore.

As variáveis de copa, como o comprimento e diâmetro de copa, aumentaram à medida que o porte da árvore cresceu, ou seja, o LC, DC, DAP e H crescem simultaneamente, entretanto, em proporções distintas. Machado et al. (2015) corroboram esses comportamentos ao avaliar a influência do comprimento de copa na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* ao concluir que árvores da espécie com comprimentos de copa maiores tendem a ser mais altas e grossas. Tal desempenho foi relatado, também, no trabalho de Roman et al. (2009) sobre Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma*(Vell.) Arráb. ex Steud.

O indivíduo de menor diâmetro apresentou a proporção de copa (espaço do altura ocupado pela copa em percentagem) de 23,9%, enquanto o de maior diâmetro igual a 30,9%, esse possuindo maior abrangência na extensão da altura total. A fração que a copa abrange em relação à altura total da árvore pode indicar o grau de competição, isto é, quanto maior a porcentagem de copa, mais vital e produtiva é a árvore (DURLO; DENARDI, 1998). Disto isto, evidenciou que a árvore de maior porte possui características de melhor produtividades, sendo menos influenciada pela competição exercida ao seu redor.

O mesmo foi demonstrado por Roman et al. (2009) sobre variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma*(Vell.) Arráb. ex Steud, e Orellana; Koehler (2008) ao relatar valores de proporção de copa superiores para as árvores mais altas, de acordo com a espécie *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer.

Da forma similar ao comportamento do comprimento de copa, ocorreu o crescimento entre o DAP e o diâmetro de copa, porém, nesse caso, a diferença no incremento nestas duas variáveis se deu de forma a reduzir drasticamente entre os seus valores à medida que o volume de copa aumentou. Para o indivíduo de menor diâmetro (11,5cm), a relação entre o diâmetro de copa com o DAP é de 36 vezes maior, enquanto para o diâmetro de maior valor (71,5cm) é de 16,2 vezes maior. De acordo com Orellana et al. (2008); TONINI; ARCO-VERDE (2005), espécies que

apresentam valores inferiores a 28 para esta relação são caracterizadas por possuírem bom crescimento volumétrico, fortalecendo a ideia de melhor produtividade em indivíduos de maior porte.

Indivíduos de menor diâmetro e altura mostraram copas mais largas, provavelmente com o objetivo de buscar luz, pois sua posição no dossel é desvantajosa para captação da luminosidade. Orellana; Koehler (2008) discorreu que a incidência de luz em árvores de menor altura é inferior às de maior altura, havendo uma compensação morfométrica, uma vez que as árvores dominantes possuem copas, em geral, mais alongadas.

Sanquetta (2008b) demonstrou que a araucária, em particular, passou por uma drástica modificação morfológica, sendo uma das poucas coníferas com copa adaptada para um clima menos rigoroso no inverno e maior radiação solar. Com isso, a espécie adotou uma forma de copa com arquitetura atipicamente não cônica, configurada para o ambiente ameno do sul do Brasil. Esse comportamento foi observado na forma das árvores neste estudo.

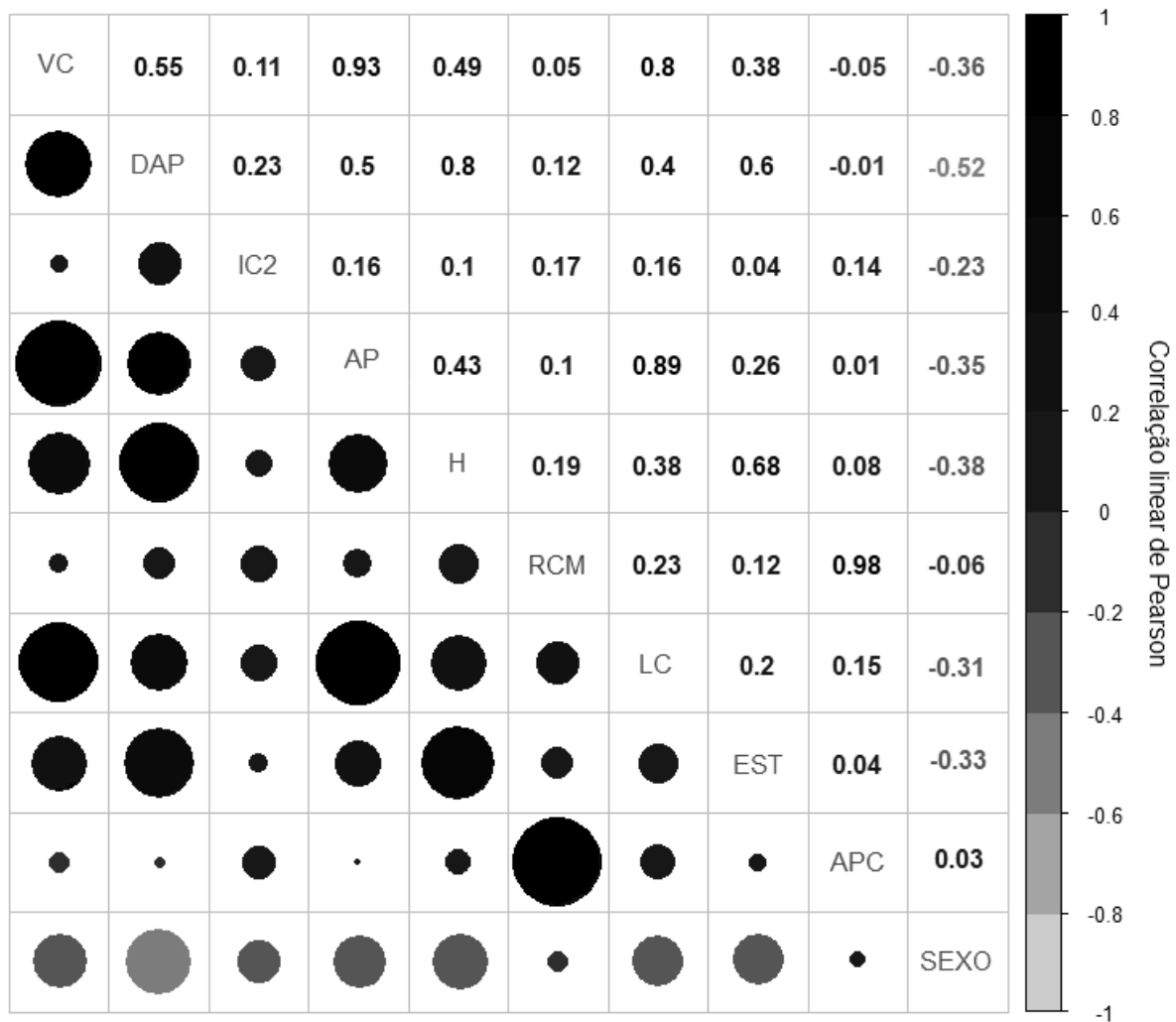
O modelo tridimensional possibilitou avaliar visualmente a perspectiva de arquitetura de copa e o seu processo de desenvolvimento. Estes modelos construídos por medidas detalhadas da estrutura do dossel podem ser aplicados para inferir no comportamento de crescimento das árvores.

6.5 MODELAGEM DO VOLUME DE COPA

Uma matriz de correlação linear simples foi construída para a compreensão da relação entre a variável resposta e as preditoras (Figura 23).

Os resultados apontaram que as variáveis diâmetro do fuste a 1,30m do solo (DAP), área de perfil de copa (AP) e comprimento de copa (LC), apresentam os maiores valores de correlação, 0,55, 0,93 e 0,80, respectivamente. As variáveis área de projeção de copa (APC) e sexo (SEXO) apresentaram correlações negativas de -0,05 e -0,36. As variáveis índice de competição (IC2), altura (H), raio médio de copa (RCM) e posição social (EST) indicaram correlação entre 0,05 e 0,49.

Figura 21 - Matriz de similaridade entre as variáveis utilizadas na modelagem do volume de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Sistema Faxinal, Curitiba, SC.



Onde: VC = volume de copa, em m³; DAP = Diâmetro do fuste a 1,30m do solo, em cm; IC2 = índice de competição de Lorimer (1983); AP = área de perfil de copa, em m²; H = altura total, em m; RCM = raio de copa médio, em m; LC = comprimento de copa, em m; EST = posição social; APC = área de projeção de copa, em m²; SEXO = sexo da árvore.

Fonte: Marasciulo (2017).

Caracterizada as relações entre as variáveis, foi desenvolvida uma equação matemática para descrever o volume pelo processo Stepwise. Apesar de algumas variáveis apresentarem baixa correlação, nenhuma foi descartada na construção do modelo. Portanto, a base de dados das variáveis independentes dos modelos para estimativa de copa das árvores foi estruturada preliminarmente com a inclusão de nove variáveis (DAP, IC2, AP, H, RCM, LC, EST, APC, SEXO).

O procedimento estruturou a equação realizando a seleção das variáveis independentes por meio de retirada hierárquica destas, compara o modelo completo com modelos reduzidos através de rodadas sequenciais.

No desenvolvimento do modelo aritmético pelo processo Stepwise as variáveis independentes que apresentaram maior correlação linear simples com a variável volume foram selecionadas na construção do modelo, sendo elas: o DAP, o comprimento de copa, a área de perfil de copa e índice de competição, salvo esta que apresentou baixa correlação.

A primeira variável preditora a ingressar foi o diâmetro do fuste a 1,30m do solo (DAP), na sequência foi selecionada a variável de competição (IC) e posteriormente as variáveis comprimento de copa (LC) e área de perfil de copa (AP). A equação final ajustada (11) apresentou R^2_{aj} igual a 0,8951, $Syx\%$ igual a 7,77 e valor de F igual a 152,5 ($p < 0,001$). Todos os coeficientes foram significativos ao modelo.

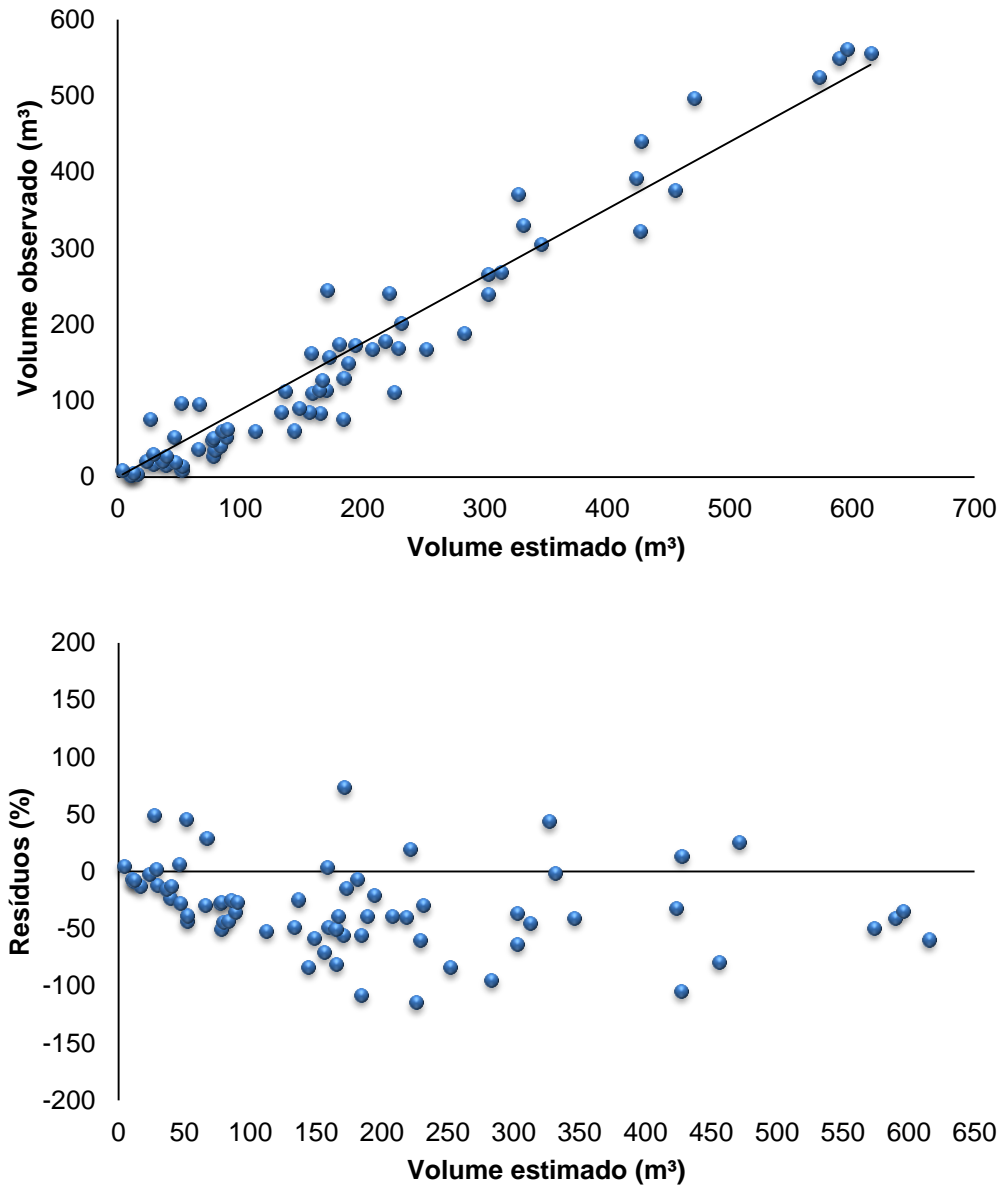
$$VC = -27,6510 + 1,2629*(DAP) - 28,6703*(IC2) - 8,4328*(LC) + 7,1848*(AP) \quad (15)$$

Onde: VC = volume de copa (m^3); DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo (cm); IC2 = índice de competição; LC = comprimento de copa (m); AP = área de perfil de copa (m^2).

As variáveis selecionadas representam características dendrométricas, através do diâmetro do fuste a 1,30m do solo (DAP), morfométricas, pelo comprimento de copa (LC) e área média do perfil de copa (AP), bem como a competição sofrida pelos indivíduos (IC2), retratada pelo índice de competição independente de distância.

O gráfico percentual de resíduo apresentou uma tendência de superestimativa do volume em todas as classes. Foi verificado que a maior parte dos volumes estimados possui erros inferiores a 50%, este erro pode ser justificado por se tratar de floresta natural, inequiânea e heterogênea, que apresenta alta variabilidade nas características morfométricas (Figura 24).

Figura 22 – Gráfico do ajuste de volume de copa em função das variáveis diâmetro do fuste a 1,30m do solo, índice de competição, comprimento de copa e área de perfil de copa de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (A) e distribuição dos resíduos (B).

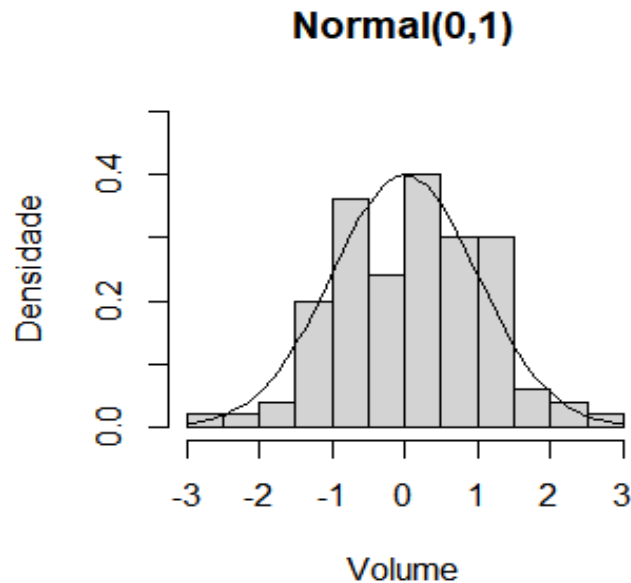


Fonte: Marasciulo 2017.

Para conclusão da análise do modelo, foram contemplados os testes de condicionantes, os quais não apresentaram significância para normalidade (Shapiro-Wilk=0,5197; $p < 0,0001$), homogeneidade (Goldfeld-Quandt=0,3572; $p < 0,0001$) e independência (Durbin-Watson=0,4463; $p < 0,0001$) de resíduos, atestando a adequação do método empregado.

A distribuição de resíduos foi igualmente avaliada considerando a distribuição normal. O histograma apresentou simetria na sua distribuição, denominada mesocúrtica (Figura 25).

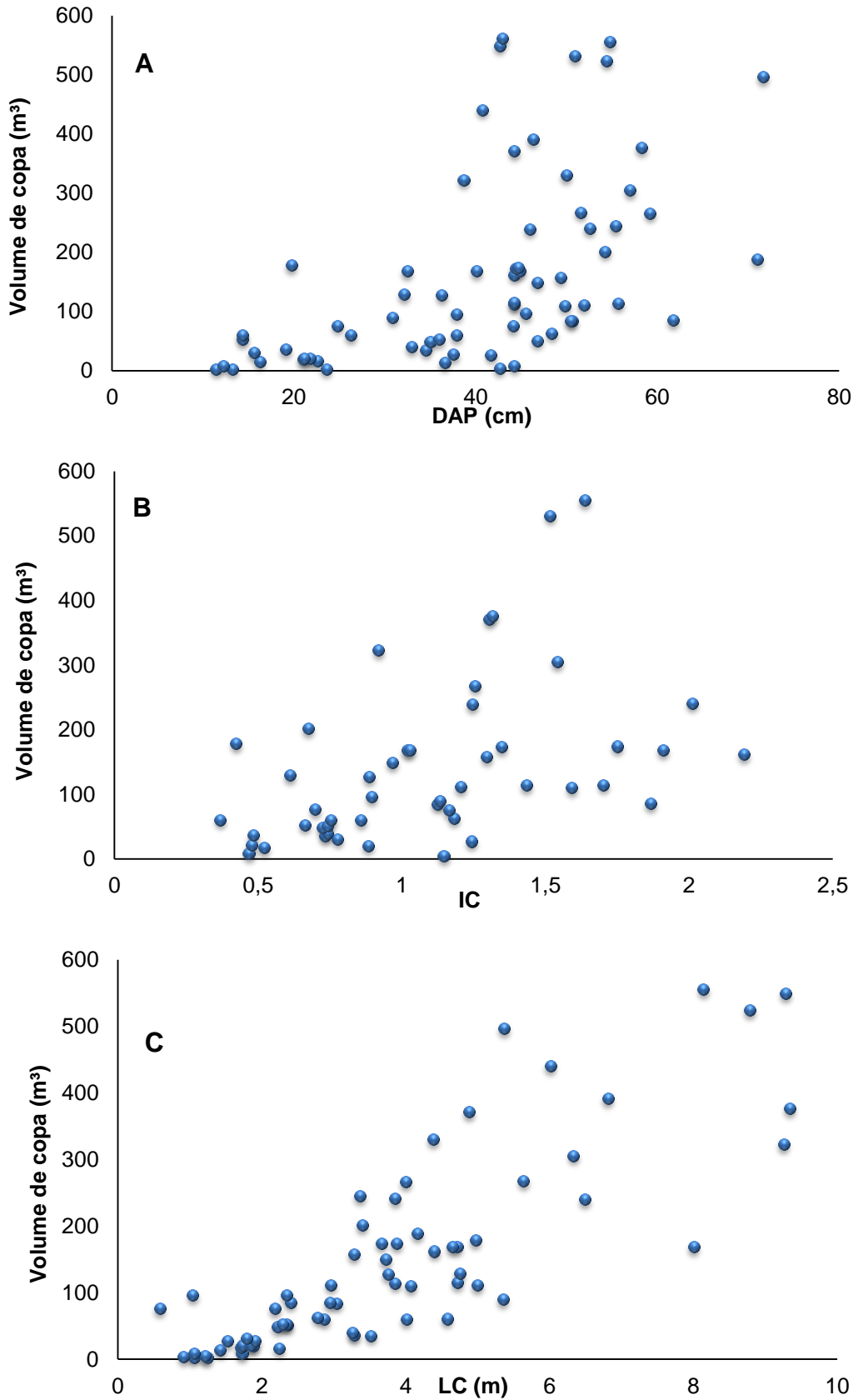
Figura 23 - Histograma de distribuição de resíduos percentuais relacionados à linha de distribuição normal.

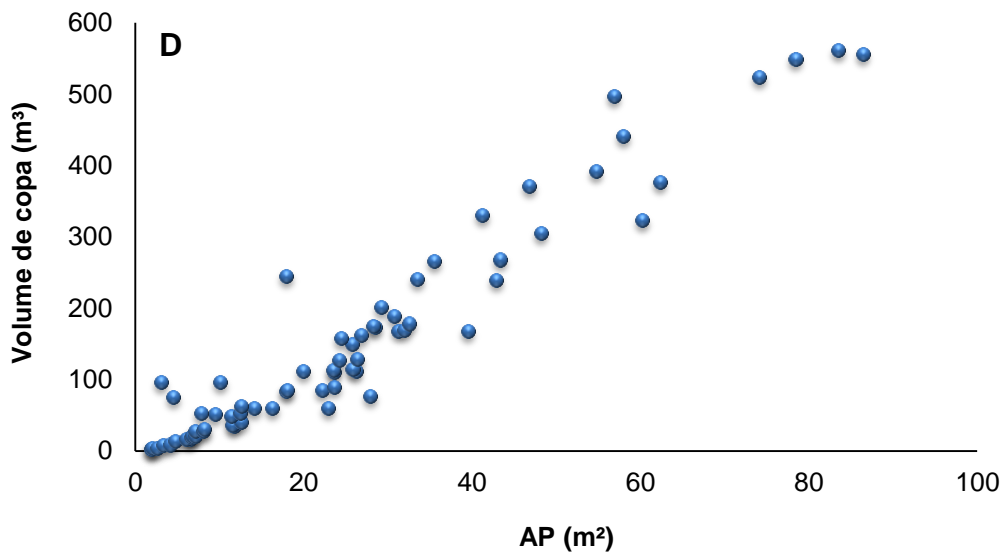


Fonte: Marasciulo (2017).

A fim de aferir o volume de copa, foi importante reconhecer os fatores que influenciam no processo de crescimento das araucárias, sobretudo aqueles que se relacionam com a forma da copa das árvores. Kucharik et al. (1999) investigaram abordagens para modelagem de copa e propuseram que para obter informações de volume de copa, são necessários valores como diâmetro e valores estruturais do dossel, como comprimento de copa, corroborando com o resultado encontrado no presente estudo. O comportamento das variáveis independentes em relação à variável dependente é demonstrado na Figura 26.

Figura 24 - Comportamento do volume de copa com as variáveis diâmetro do fuste a 1,30m do solo (A), índice de competição (B), comprimento de copa (C) e área de perfil de copa (D) selecionadas para compor o modelo de volume de copa de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Sistema Faxinal, Curitibanos, SC.





Onde: DAP = diâmetro do fuste a 1,30m do solo; IC = índice de competição; LC = comprimento de copa; AP = área de perfil de copa.

Ao avaliar a dinâmica dos indivíduos em relação ao volume, foi observado que o DAP, área de perfil de copa e comprimento de copa crescem à medida que o volume aumenta; e verificou comportamento oposto pelo efeito da competição.

Em cenário de competição, observou que a influência dessa variável é superior para os indivíduos de menor volume, caracterizando uma redução no crescimento volumétrico à medida que sua intensidade aumenta. Da mesma forma exerceu influência sobre variáveis DAP, comprimento de copa e área de perfil de copa, anteriormente mencionado. Logo, árvores em condições de competição sofreram alterações nas variáveis supracitadas que, por sua vez, refletiram no volume da copa.

Em conformidade aos resultados, Orellana; Koehler (2008) fortaleceram a inclusão da variável DAP no modelo para expressar a arquitetura da copa em análise das relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer, no qual identificaram forte associação entre o DAP e a forma de copa. O DAP, em geral, é relacionado ao crescimento e sua modelagem, uma vez que exprime as situações em que a árvore está submetida.

O comprimento de copa apresentou uma tendência acentuada em relação ao volume de copa. À medida que o volume cresceu, houve o alongamento deste comprimento e a profundidade da copa ocupada na extensão do fuste aumentou, demonstrando que as copas se tornaram mais alongadas e esbeltas. Esse resultado

evidencia que a velocidade do crescimento apical é maior que a ocorrência de mortalidade da base da copa

Entre as variáveis que compõem o modelo matemático de volume de copa, a área de perfil de copa expressou um comportamento mais evidente com a variável dependente. À medida que o volume aumentou, a área de perfil de copa acompanhou este crescimento.

Quanto maior o volume de copa, maior o crescimento da espécie, isto é, copas com maiores dimensões de: comprimento de copa; área de perfil de copa; DAP e que sofrem pouco ou nenhum efeito de competição apresentaram melhor desenvolvimento.

Ao verificar os volumes de copa gerados, pelo modelo tridimensional de copa e o pelo modelo matemático de volume de copa, foi observado que ambos apresentaram valores similares quando estimados para a árvore de menor (11,5cm) e maior (71,5cm) diâmetro (Tabela 6).

Tabela 6 - Estimativas de volume de copa pelo modelo matemático de volume e modelo 3D para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze.

DAP (cm)	Volume modelo (m ³)	Volume 3D (m ³)
11,5	16,9	14,9
71,5	469,9	428,2

Fonte: Marasciulo 2017.

5 CONCLUSÃO

As espécies de maior ocorrência na área de estudo foram a *Araucaria angustifolia*, seguidamente, entre as demais espécies, *Vernonanthura discolor* (Spreng.) H. Rob., *Clethra scabra* Pers., *Lamanonia ternata* Vell. e *Myrcia palustris* DC. A araucária sofreu maior competição com indivíduos da mesma espécie, portanto, o nível de competição intraespecífica foi mais acentuado.

O índice que melhor descreveu o status de competição foi o índice independente da distância de Lorimer (1983). Este índice leva em consideração apenas o diâmetro da árvore objetivo e a média dos diâmetros de suas competidoras. A equação ajustada apresentou $R^2_{aj} = 0,4698$ e $Syx\% = 28,7\%$.

O uso associado de geotecnologia e imagens digitais para aquisição de informações por meio de programas computacionais a fim de avaliar o comportamento de espécies, principalmente de parâmetros arquitetônicos da copa, foi uma ferramenta fundamental para que este estudo fosse realizado, uma vez que apontou valores similares aos obtidos a campo (medidas diretas), além de abrir inúmeras possibilidades de mensurações e avaliações para diversos propósitos voltados à copa com facilidade e por meio não destrutivo.

A modelagem tridimensional permitiu visualizar que as características morfométricas variam conforme o porte da árvore. Indivíduos de menor porte e que apresentam valores inferiores de volume possuem copas mais largas e achatadas, enquanto indivíduos maiores possuem a forma de suas copas mais alongadas e estreitas, sendo copas mais vigorosas.

A correlação entre a arquitetura de copa, expressa através do volume, e as variáveis independentes averiguou a forte relação entre DAP, em conformidade ao comportamento verificado em outros estudos, e alta correlação das variáveis morfométricas comprimento de copa e área de perfil, o que foi confirmado com a inclusão destas no ajuste de modelo.

O ajuste do modelo de volume de copa foi composto pelas variáveis dendrométrica, diâmetro do fuste a 1,3m do solo (DAP), morfométricas, comprimento de copa (LC) e área de perfil de copa (AP), e de competição, representado pelo índice de competição de Lorimer (1983). A equação atestou bom ajuste estatístico ($R^2_{aj} = 0,8951$ e $Syx\% = 7,77$).

O estudo morfométrico da copa possibilitou a percepção de características que influenciam no crescimento volumétrico de copa permitem prever a dinâmica de das árvores e resultar em copa mais vigorosas e de maior crescimento quando submetidas a diferentes condições de seu meio.

A hipótese do trabalho foi aceita, pois o modelo de volume de copa contemplou as variáveis: dendrométrica, morfométrica e de competição.

RECOMENDAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve caráter inovador a fim de estimular novos estudos sobre arquitetura de copa aliado ao uso de geotecnologia.

Algumas recomendações podem ser feitas para futuras pesquisas:

No presente estudo não foram estudadas as idades dos indivíduos. Recomenda-se em estudos posteriores associar a idade com a arquitetura de copa. Outro fator a ser considerado para o desenvolvimento de modelos de morfometria de copa que podem gerar melhor precisão é o IPA, o qual reflete o crescimento ao longo de um determinado período permitindo inferir as condições em que as árvores estão submetidas para seu desenvolvimento.

É interessante explorar programas que auxiliam na mensuração de fotografias com objetivo de promover a elaboração de novas metodologias que conciliem a utilização de geotecnologia e imagens digitais para fins de estudos florestais.

Associar tais conhecimentos de fatores que estimulam ou limitam o crescimento ao manejo adequado visa fomentar o desenvolvimento de plantios da espécie, introduzindo-a com maior força no mercado florestal, e garantir a sustentabilidade na sua região de ocorrência.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBA, E. **Caracterização espectral dos dosséis e estimativa de variável biofísica em plantios de Eucalyptus grandis e P. elliotii a partir de imagens LANDSAT 8/OLI**. 2016. 131 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

ALBUQUERQUE, E. R. **Aplicação de geotecnologia na gestão ambiental do município de Salinas**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009.

ALBUQUERQUE, J. M.; FARINHA L. W.; DE MESQUITA, N. S. Efeitos do uso em Sistema Faxinal na florística e estrutura em duas áreas da Floresta Ombrófila Mista no município de Rebouças, PR. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 2, p. 232-334, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/3236/1878>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

ALBUQUERQUE J. M. et al. Diferenças Fitossociológicas entre áreas de Ombrófila Mista em Sistema Faxinal no Paraná. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Scienc**, v. 8, n. 2, p. 63-71, 2015.

ALVAREZ, I. A. et al. Uso de geotecnologias para subsidiar planos de ação da arborização viária do centro de Petrolina-PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 13., 2009, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, 2009. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/662321>>. Acesso em: 09 mar. 2017.

ASSMANN, E. **The principle of forest yield study: studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 560p.

AUTOCAD. 2017. **Autodesk**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br>> Acesso em: 22 jan. 2017.

BACKES, A. Dinâmica do pinheiro brasileiro. **Iheringia Série Botânica**, v.30, n.1, p.49–84, 1983.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 3, p. 1-16, 1980. Nota técnica. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr03/cap01.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2017.

BARBOSA, J. et al. Uso de imagens digitais obtidas com câmeras para analisar plantas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 15-24, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2016000100003>. Acesso em: 04 set. 2017.

BENATTE, A. P.; CAMPIGOTO, J. A.; NASCIMENTO, J. de J. V. do. Povos faxinalenses: saúde e conhecimentos tradicionais. **Diálogos**, v. 17, n.1, p. 41-68, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Dialogos/article/view/36034/18647>>. Acesso em: 19 jul. 2017.

BERENDSE, F. Interspecific competition and niche differentiation between *Plantago lanceolata* and *Anthoxanthum odoratum* in a natural hayfield. **Journal of Ecology**, v. 71, p. 15-29, 1983.

BEZERRA, B. C. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para mapeamento da saúde de vegetações**. 2015. 64 p. Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BIGING, G. S.; DOBBERTIN, M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees. **Forest Science**, v. 38, p. 695–720, 1992.

BOOJH, R.; RAMAKRISHNAN, P. S. Growth strategy of trees related to successional status I. Architecture and extension growth. **Forest Ecology and Management**, v. 4, p. 359-374, 1982. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112782900354>>. Acesso em: 02 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm>. Acessado em: 07 set. 2016.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro – **ICA 100-40**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4510>>. Acessado em: 21 set. 2017.

CAMPIGOTO, J. A.; SOCHODOLAK, H. Os Faxinais da região das araucárias. In: OLINTO, B. A.; MOTTA, M. M.; OLIVEIRA, O. de (Org.). **História agrária: propriedade e conflito**. Guarapuava: Unicentro, 2008, p.183 – 212.

CAMPOS, S.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, M. **Geotecnologia aplicada no planejamento ambiental de bacias hidrográficas**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2015. v. 1. 199 p.

CANCIAN, M. A. E.; CORDEIRO, L. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de *Lonchocarpus muehlbergianus* Hassl. **Acta Botânica Brasil**, v. 12, n. 3, p. 367-372, 1998. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/28796>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

CÂNDIDO, A. K. A. A. et al. Modelo Digital de Superfície gerado a partir de imagens de VANT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014, Campo Grande, **Anais...** Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014. p. 296-303. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p48.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2017.

CAPELO J. **Conceitos e métodos da Fitossociologia**: Formulação contemporânea e métodos numéricos de análise da vegetação. Oeiras: Estação Florestal Nacional, Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais, 2003. 107 p.

CARVALHO, M. M. X. Os fatores do desmatamento da floresta com araucária: agropecuária, lenha e indústria madeireira. **Esboços**, v. 18, n. 25, p. 32-52, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/esbocos/article/view/2175-7976.2011v18n25p32>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa/CNPF, 1994, 639 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, 1039 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 3. 593p.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. **Composição e Processamento de Imagens Aéreas em Alta Resolução Obtidas com Drones**. 2014. 80 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CASTANHEIRA, N. P. **Estatística aplicada a todos os níveis**. 5. ed. Curitiba: Editora Ibpex Ltda., 2010. v. 1.

CEZANA, D. P. et al. Efeito de diferentes classes de altura e intensidades de desrama artificial sobre o crescimento de um híbrido de eucalipto. **Revista Floresta**, v. 42, p. 137-144, 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/26310/17509>>. Acesso: 10 out. 2016.

CHANG, M. Y. **Sistema Faxinal: uma forma de organização camponesa em desagregação no Centro-sul do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1988. 124 p.

CHAVES, R. A. et al. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 989-998, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000600002>. Acesso em: 07 dez. 2016.

CONDÉ, T.M. et al. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agroambiente Online**, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2013. Disponível em:

<<https://revista.ufr.br/agroambiente/article/view/932/1016>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

COPPOCK, J. T. GIS and natural hazards: an overview from a GIS perspective. In: CARRARA, A.; GUZZETTI, E. **Geographical Information systems in assessing natural hazards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1995. cap. 2, p. 21-34.

CÓRCOLES, J. I. et al. Estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.) using an unmanned aerial vehicle. **Biosystems Engineering**, v. 115, n. 1, p. 31-42, 2013.

CORONA, P. FERRARA, A. Individual competition indices for conifer plantation. Agriculture. **Ecosystems and Environment**, v. 27, p. 429-437, 1989.

CORREIA, R. L.; GOMES, M. F. V. B. As transformações nos faxinais e suas novas territorialidades: estudo de caso em Pinhão-PR. **Revista Pegada Eletrônica**, v. 16, n. especial, p. 102-116, 2015. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/view/3530/2883>>. Acesso em: 18 out. 2016.

COSTA, E.A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, LAGES, SC**. 2011. 140 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CRECENTE-CAMPO, F.; et al. A crown profile model for *Pinus radiata* D. Don in northwestern Spain. **Forest Ecology and Management**. V. 257, n. 12, p. 2370–2379, 2009.

CRUZ, J. P. et al. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 821-828, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000500006&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 07 abr. 2017.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, n. 6, p. 1230-1237, 1986. Disponível em: <<http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/x86-218>>. Acesso em: 12 set. 2016.

DAVIS, L. S. et al. **Forest management: to sustain ecological, economic, and social values**. 4 Ed. Illinois: Waveland, 2005. 804p.

DJI. 2017. **Phantom**. Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom>>. Acessado: <30 de set. 2017>.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Delineamento de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução, através de suas sombras periféricas: estudo de caso na Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 195-202, 2005.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000200003&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 23 set. 2016.

DISPERATI, A. A. et al. Aplicação da técnica “filtragem de locais máximas” em fotografia aérea digital para a contagem de copas em reflorestamento de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, v. 76, n. 1, p. 45-55, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr76/cap04.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2016.

DURLO, M. A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, 1998. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/351/222>>. Acesso em: 03 dez. 2016.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. Santa Maria. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v11n1/art12v11n1.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2017.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 79-89, 2004. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1808/1072>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

DUURSMA, R. A. et al. Light interception efficiency explained by two simple variables: a test using a diversity of small-to medium-sized woody plants. **New Phytologist**, v. 193, n. 2, p. 397-408, 2012.

ELICEIRI, K.W. et al. Biological imaging software tools. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 697-710, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA; CENTRO DE SOCIOECONOMIA E PLANEJAMENTO AGRÍCOLA. **Caracterização regional**: Curitibaanos. Florianópolis: Epagri, 2003. 34p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. 1ed. Brasília: Departamento de Engenharia Florestal da UnB, 2005. 40p.

FARIA, R. R. de; COSTA, M. E. A inserção dos veículos aéreos não tripuláveis (DRONES) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental. **Revista Ordem Pública**, v.8, n.1, 2015. Disponível em: <<https://rop.emnuvens.com.br/rop/article/view/92/91>>. Acesso em: 17 out. 2016.

FERREIRA, A. M. R. et al. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 9308-9315. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.37.47>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

FIGUEIREDO, E. O. et al. Modelos para estimativa de volume de árvores individuais pela morfometria da copa obtida com LiDAR. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 621-628, 2014.

FORRESTER, D. I.; ALBRECHT, A. T. Light absorption and light-use efficiency in mixtures of *Abies alba* and *Picea abies* along a productivity gradient. **Forest Ecology and Management**, v. 328, p. 94-102, 2014.

FREESE, F. **Elementary forest sampling**. Agriculture Handbook nº 232. USDA-Forest Service. 1962. 91p.

FRENCH, A. et al. High-throughput quantification of root growth using a novel image-analysis tool. **Plant Physiology**, v. 150, n. 4, p. 1784-1795, 2009. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/150/4/1784.full.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

GASPER, A. L. et al. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201-210, 2013. Disponível em: <http://rodriguesia-seer.jbrj.gov.br/index.php/rodriguesia/article/view/ID%20575/pdf_44>. Acesso em: 02 set. 2016.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.

GUIMARÃES, J. P. F. **Controle de altitude e altitude para um veículo aéreo do tipo quadricóptero**. 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2012.

GURGEL, J. T. A.; GURGEL FILHO, O. A. Evidências de raças geográficas no pinheiro-brasileiro, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Ciência e Cultura**, v.17, n.1, p.33-39, 1965.

HALE, S. Managing light to enable natural regeneration in British conifer forest. **Forestry Commission Information Note**, v. 63, 2004. Disponível em: <[https://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin063.pdf/\\$FILE/fcin063.pdf](https://www.forestry.gov.uk/pdf/fcin063.pdf/$FILE/fcin063.pdf)>. Acesso em: 04 ago. 2016.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests - An Architectural Analysis**. Berlin: Springer-Verlag – New York. 1978, 441p.

HARDY, J.P. et al. Solar radiation transmission through conifer canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.257-270, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192304001698>>. Acesso: 14 abr. 2016.

HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung**, v. 4, p. 216-218, 1995.
HEGYI, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In: FRIES, G. **Growth models for tree and stand population**. Stockolm: Royal College of Forestry, Research note, n.3 0, p. 74-90, 1974.

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**, v. 20, n. 1, p. 107-122, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1765/1032>>. Acesso em: 08 out. 2016.

HIGUCHI, N. et al. **Noções Básicas de Manejo Florestal**. Manaus: INPA, 2008. 270 p.

HIGUCHI, N. et al. **Governos locais amazônicos e as questões climáticas globais**. 1. ed. Manaus: Edição dos autores, 2009. 104 p.

HUECK, K. **As florestas da América do Sul**: ecologia, composição e importância econômica. São Paulo: Polígono, 1972. 466 p.

IMAGUIRE, N. Condições ambientais para a *Araucaria angustifolia* Bert. O. Ktze. **Dusenya**, Curitiba, v. 11, n.3, p.121-127, 1979.

JAHNKE, L. S.; LAWRENCE, D. B. Influence of photosynthetic crown structure on potential productivity of vegetation based primarily on mathematical models. **Ecology**, v. 46, p. 319-32, 1965. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1936335>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

JOHANSSON, M. E.; KEDDY, P. A. Intensity and asymmetry of competition between plant pairs of different degrees of similarity: an experimental study on two guilds of wetland plants. **Anais**, v. 60, n. 1, p. 27-34, 1991. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3544988>>. Acesso em: 08 dez. 2016.

JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination. I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p.1935, 2004. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1936335>>. Acesso em: 05 dez. 2016

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. São Carlos: EMBRAPA, 2014. Circular Técnica. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003485/uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vant-em-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 17 jan. 2017.

KLEIN, R. M. Sugestões e dados ecológicos de algumas árvores nativas próprias a serem empregadas no reflorestamento norte e oeste paranaense. In: SIMPÓSIO DE REFLORESTAMENTO DA REGIÃO DA ARAUCÁRIA, 1., Curitiba, 1965. **Anais...** Curitiba: FIEP, 1965, p.157-174.

KRAFT G. **Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben**. Hannover, 1884.

KUCHARIK, C. J.; NORMAN, M. J.; GOWER, S. T. Characterization of radiation regimes in non-random forest canopies: theory, measurements, and a simplified modeling approach. **Tree Physio**, v. 19, p. 695-706, 1999.

LACHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 532 p.

LARSON, B. C. Stem form development of forest trees. **Forest Science Monograph**, v. 5, p. 1-42, 1963.

LEBLANC, S.G. et al. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.129, p.187207, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192305000298>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v.2, p.113-150.

LOETSCH, F.; HALLER, K. E.; ZÖHRER, F. **Forest inventory**. 2. ed. Munich: BLV Verlagsgesellschaft, 1973. v. 2, 469 p.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucária angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no sul do Brasil**. 1980. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

LONGHI, S. J. et al. Classificação e caracterização de estágios sucessionais em remanescentes de floresta Ombrófila Mista na Flona de São Francisco de Paula, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 113-125, 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1893/1139>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

LORIMER, C. G. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 343-360, 1983.

LÖWEN SAHR, C. L. Povos Tradicionais e Territórios sociais: Reflexões acerca dos povos e das terras de faxinal do Bioma da Mata com Araucária. In: Simpósio Internacional de Geografia Agrária, 2., 2005, Presidente Prudente. **Anais... Presidente Prudente**, 2005. Disponível em: <<http://www2.fct.unesp.br/nera/publicacoes/singa2005/Trabalhos/Artigos/Cicilian%20Luiza%20Lowen%20Sahr.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

LYON, L. J. Estimating twig production of serviceberry from crown volumes. **The Journal of Wildlife Management**, v. 32, n.1, p. 115-119, 1968. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3798245>>. Acesso em: 13 mai. 2017.

MACHADO, S. A.; SIQUEIRA, J. D. P. Distribuição natural da *Araucaria angustifolia*. In: IUFROMEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF THE GENUS ARAUCARIA, 1979, Curitiba. **Forestry problems of the genus Araucaria**. Curitiba: FUPEF, 1980. p. 4-9.

MACHADO, S. A. et al. Influência do comprimento de copa na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Florestal Brasileira** (Impresso), v. 35, p. 343-351, 2015.

MAGUIRE, D. A.; KERSHAW, J. A.; HANN, D. W. Predicting the effects of silvicultural regime on branch size and crown wood core in Douglas-fir. **Forest Science**, v. 37, n. 5, p. 1409-1428, 1991.

MARTINS, A. P. M. **Evolução da forma do tronco e do sortimento em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na região centro-sul do Paraná**. 2016. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARTINS, F. B. et al. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, 2011. Disponível em: <<https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/10768/6570>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

MARTIN, G. L.; EK, A. R.. A comparison of competition measures and growth models for predicting plantation red pine diameter and height growth. **Forest Science**, v. 30, p. 731-743, 1984.

MARTINS, R. N. S.; OLIVEIRA, I. J. Contribuições do Geoprocessamento para o planejamento municipal de Goiânia: uma visão dos bairros.. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 17., 2012, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2012, p. 01-10.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. 2a. ed. Lages: Artes Gráficas Princesa, 1994. 225 p.

MENDONÇA, R. A. M. et al. **Uso das Geotecnologias para Gestão Ambiental - Experiências na Amazônia Meridional**. 1. ed. , 2011.

MEYER, E. A. et al. Ajuste do modelo de Reineke para estimativa da linha de máxima densidade na Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Árvore** (Impresso), v. 37, p. 669-678, 2013.

MONTE, M. A. et al. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 769-775, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007000600002&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 06 nov. 2016.

MOORE, J. **Mechanical behavior of coniferous trees subjected to Wind loading**. Ph.D. Dissertation. Oregon State University, Corvallis, Oregon, 2002.

MORETTO, M. A. et al. Prospecção de patentes relacionadas ao uso de aeronave remotamente pilotada como inserção tecnológica aplicada em agricultura de precisão. **Revista SODEBRAS**, v. 11, p. 97-101, 2016.

MORGAN, J. L.; GERGEL, S. E.; COOPS, N. C. Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management. **BioScience**, v. 60, n. 1, p. 47-59, 2010. Disponível em: <<https://academic.oup.com/bioscience/article/60/1/47/315840/Aerial-Photography-A-Rapidly-Evolving-Tool-for>>. Acesso em 10 abr. 2017.

MÖTTUS, M., SULEV, M.; LANG, M. Estimation of crown volume for a geometric radiation model from detailed measurements of tree structure. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 3–4, p. 506–514, 2006.

MUNRO, D. D. Forest growth models – a prognosis. In FRIES, J. (Ed.). **Growth models for tree and stand simulation**. Royal College of Forestry. Stockholm, 1974. p. 1-21.

NASCIMENTO, A.; LONGHI, S.; BRENA, D. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 105-119, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/499/385>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v.11, p.9-25, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1651/937>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

NUTTO, L. et al. **Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm.** Colombo: Embrapa; 2001.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

ORELLANA, E. et al.. Estudo de variáveis biométricas e morfométricas para *Ocotea odorifera* no sul do Paraná. In: X Semana de Estudos Florestais e I Seminário de Atualização Florestal, 2008, Irati. **Anais...** Irati, 2008.

PAIVA, H. N. et al. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2001. 138 p.

PAULA, J. C. **Desenvolvimento de um VANT do tipo quadricóptero para obtenção de imagens aéreas em alta definição**. 2012. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2012.

PEARCY, R. W.; YANG, W. A three-dimensional crown architecture model for assessment of light capture and carbon gain by understory plants. **Oecologia**, v. 108, n. 1, p. 1–12, 1996. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00333208>>. Acesso em: 11 ago. 2017.

PEARCY, R. W. et al. A functional analysis of the crown architecture of tropical forest *Psychotria* species: do species vary in light capture efficiency and consequently in carbon gain and growth?. **Oecologia**, v. 139, n. 2, p. 163–177, 2004. Disponível

em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00442-004-1496-4>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

PEREA, A. J. et al. Land-cover classification with an expert classification algorithm using digital aerial photographs. **South African Journal of Science**, v. 106, n.5/6, p. 1-6, 2010. Disponível em: <<http://www.sajs.co.za/system/tdf/publications/pdf/237-1237-6-PB.pdf?file=1&type=node&id=32961&force=>>>. Acesso em: 27 ago. 2016.

PEREIRA, L. D. **Dendrocronologia de Cedrela fissilis (Vell.) na região de Santa Maria, RS**. 2011. 63 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

PEREIRA, O. J. R.; TAMAMARU, R. Geração de modelos digitais de elevação com base em técnicas de estereoscopia digital, por meio de imagens VANT: Subsídio a identificação de manchas de desmatamento em áreas de preservação permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 2113-2119. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0168.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

PIRES, E. V. R. et al. Geoprocessamento Aplicado a Análise do Uso e Ocupação da Terra para Fins de Planejamento Ambiental na Bacia Hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1528 – 1538, 2012.

PRODAN M.; PETERS R.; COX F.; REAL P. **Mensura Forestal**. San José, C. R.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997, 501 p.

PRUDENTE, T. D.; ROSA, R. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2009, p. 2951-2958. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.19.18/doc/2951-2958.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2017.

PRZESZLOWSKA, A.; TRLICA, M.J.; WELTZ, M.A. Near-ground remote sensing of green area index on the shortgrass prairie. **Rangeland Ecology and Management**, v.59, p.422-430, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S155074240650048X>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2017. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SUDESUL, 1988. 528 p.

RICKER, M. D. Pixels, Bits, and GUIs: the fundamentals of digital imagery and their application by plant pathologists. **Plant Disease**, v. 88, n. 3, p. 228-241, 2004.

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

RONDON NETO, R. M.; WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W. Diversidade florística e síndromes de dispersão de diásporos das espécies arbóreas de um fragmento de floresta ombrófila mista. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava - PR, v. 3, n.2, p. 209-216, 2001. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/484>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

RONDON NETO, S. M. et al. Caracterização florística estrutural de um fragmento da Floresta Ombrófila Mista, em Curitiba, PR, Brasil. **Floresta**, v. 32, n. 1, p. 3-16, 2002. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/2366/1978>>. Acesso em: 21 mai. 2017.

RORIE, R. L. et al. Association of greenness in corn with yield and leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 2, p. 529-535, 2011.

ROUVINEN, S.; KUULUVAINEN, T. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, p. 890-902, 1997.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. 2017. Disponível em: <<http://www.rstudio.com/>>.

SAKAMOTO, T. et al. Detecting seasonal changes in crop community structure using day and night digital images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 76, n. 6, p. 713-726, 2010. Disponível em: <<http://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2010/00000076/00000006/art00006?crawler=true>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

SANQUETTA, C. R. **Manual para instalação e medição de parcelas permanentes nos Biomas Mata Atlântica e Pampa**. S.l.: RedeMap, Curitiba: Funpar, 2008a. 43 p.

SANQUETTA, C. R. **Experiências de monitoramento no Bioma Mata Atlântica com o uso de parcelas permanentes**. 1. ed. Curitiba: 2008b. 338 p.

SANTOS, A. A. et al. Uma Automação para transmissão de comandos para um drone de baixo-custo sobre a plataforma MultiWii. In: WORKSHOP DE TRABALHOS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E GRADUAÇÃO DA ESCOLA REGIONAL DE COMPUTAÇÃO, 13., 2015, Salvador. **Anais...** Salvador: ERBASE, 2015. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/bdbcomp/servlet/Evento?id=805>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

SANTOS, C. A. G. et al. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 92–96, 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662000000100017&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 23 nov. 2016.

SCHAADT, S. S.; VIBRANS, A. C. O Uso da Terra no Entorno de Fragmentos Florestais Influencia a sua Composição e Estrutura. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 437-445, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/floram/v22n4/2179-8087-floram-2179-8087062813.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2016.

SCHNEIDER, P. R. **Manejo Florestal**: Planejamento da produção florestal, Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM. 2002. 492 p.

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

SCHWEINGRUBER, F. H. **Tree-Rings and Environment. Dendroecology**. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Vienna: Paul Haupt Verlag. 1996. 609 p.

SCOLFORO, J. S. R. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1998. 451 p.

SILVA, J. A. A.; NETO, F. P. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: UFRPE, 1979, 185 p.

SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decídua em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos-GO, Bacia do Rio Paranã). **Acta Botânica Brasílica**, v. 17, n. 2, p. 307-315, 2003.

SILVA, L. T. M. **Morfometria, qualidade do tronco e da copa de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. em povoamento experimental no estado do Rio Grande do Sul**. 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SILVA, M. **A contribuição de florestas de araucária para a sustentabilidade dos sistemas faxinais**. 2015. 122 p. Dissertação (Desenvolvimento Econômico na área de concentração em Agricultura e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SILVEIRA, B. D. et al. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de floresta semidecidual, RS. **Floresta**, v. 45, n. 2, p. 373-382, 2015. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/35164/25587>. Acesso em: 28 jan. 2017.

SOUZA, M. de. **Mudar a Cidade**: Uma Introdução Crítica ao Planejamento e à Gestão Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2010. 558 p.

SOLÓRZANO-FILHO, J. A.; KRAUS, J. E. Breve história das matas de araucária. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION ON FORESTS, 5., 1999, Curitiba. **Forest 99**. Rio de Janeiro: Biosfera, 1999. p.37-40.

STAEBLER, G. R. **Growth and spacing in na even-aged stand of Douglas-fir**. Marter's thesis. University of Michigan. 1951.

STOKES, M. A; SMILEY, T. L. **An Introduction to Tree-Ring Dating**, London W.C.: University of Chicago Press. 1968. 73 p.

TABOADA, A. M. F et al. Influencia de la competencia em el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. **Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales**, v. 12, n. 2, p. 25-35, 2003.

TOLEDO, I. A.; CAMPIGOTO, J. A. A cultura no sistema faxinal: comunidade de Marmeleiro de Baixo, Rebouças/PR. **Revista Tempo, Espaço e Linguagem**, v.1, n.3, p.71-91, 2010. Disponível em: <<http://www.revistas2.uepg.br/index.php/tel/article/view/2638/1980#.WdxAp2hSzIU>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n7/a02v40n7.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2017.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 30 p.

WATZLAWICK, L. F. et al. Estrutura vertical na Floresta Ombrófila Mista em Sistema Faxinal no município de Rebouças-PR. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4., 2008, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, 2008. p. 152-158.

WEBER, P. et al. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 254, n. 1, p. 96-106, 2008.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: A review. **Forest Ecology and Management**, v.193, n. 1-2, p.113-140, 2004.

ZEIDE, B. Analysis of Growth Equations. **Forest Science**, v. 39, p. 594-616, 1993.

ZEIDE, B.; PFEIFER, P. A method for estimation of fractal dimension of tree crowns. **Forest Science**, v. 37, p. 1253–1265, 1991.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.133, n. 1-4, p.166-181, 2005.

ZHAO, D.H. et al. Modeling neighborhood effects on the growth and survival of individual trees in a natural temperate species-rich forest. **Ecological Modelling**, v.196, p.90-102, 2006.

XIONG, N. et al. Measuring tree crown volume based on three dimension laser scanning and mapping system - Taking *Pinus tabulaeformis* as a case. **Journal of Beijing Forestry University**, v. 29, p. 61-65, 2007.

ZANDAVALLI, R. B. **Importância da competição durante o estabelecimento e crescimento inicial da *Araucaria angustifolia***. 2006. 167 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

ZIMMERMANN, M. H.; BROWN, C. L. **Trees structure and function**. New York: Springer Verlag. 1974. 336 p.