

DANIELI REGINA KLEIN

**MORFOMETRIA E CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria
angustifolia* (Bertol.) Kuntze NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

Co-orientador: Prof. Dr. Veraldo Liesenberg

Lages, SC

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC

Klein, Danieli Regina
MORFOMETRIA E CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria
angustifolia* (Bertol.) Kuntze NO PLANALTO SUL
CATARINENSE / Danieli Regina Klein. - Lages , 2017.
122 p.

Orientador: André Felipe Hess
Co-orientador: Veraldo Liesenberg
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2017.

1. Manejo florestal. 2. Varredura laser
terrestre. 3. Araucária. I. Hess, André Felipe. II.
Liesenberg, Veraldo . , .III. Universidade do
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal. IV. Título.

DANIELI REGINA KLEIN

**MORFOMETRIA E CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria angustifolia*
(Bertol.) Kuntze NO PLANALTO SUL CATARINENSE**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Mestre em Engenharia Florestal, Área de concentração: Produção Florestal.

Banca examinadora:

Orientador/presidente:

Prof. Dr. André Felipe Hess
(UDESC/Lages-SC)

Membro externo:

Prof^a. Dr.^a Veridiana Padoin Weber
(UTFPR/Dois Vizinhos-PR)

Membro interno:

Prof. Dr. Geedre Borsoi
(UDESC/Lages-SC)

Lages, SC, 24 de fevereiro de 2017.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades que me proporciona durante a caminhada, e a luz divina que me guia e fortalece no caminho do bem.

Ao orientador, André Felipe Hess, pela orientação, disponibilidade e paciência durante todo o período do mestrado.

Ao co-orientador, Veraldo Liesenberg, pelos novos ensinamentos adquiridos.

A família, sobretudo, meu pai e meu noivo pela compreensão e incentivos.

A oportunidade em ter amigos que além de auxiliarem no desenvolvimento desse projeto, tornaram a caminhada mais leve e feliz, em especial, Sandra, Aline, Mari, Mushue, Felipe, Tásilla e Ju.

A proprietária e ao Colégio Agrícola de São José do Cerrito pela disponibilidade dos sítios amostrais, para o desenvolvimento dessa pesquisa.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade em realizar o mestrado.

Aos órgãos de fomento à pesquisa PROMOP e Capes, pela disponibilização da bolsa.

RESUMO

KLEIN, Danieli Regina. **Morfometria e Crescimento Diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Planalto Sul Catarinense**. 2017. 111 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal- Área de concentração: Produção Florestal e Tecnologia da Madeira – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2017.

Através dos índices da morfometria pode-se inferir sobre o espaço necessário que determinada espécie necessita para se desenvolver, manter suas taxas de crescimento e produção. Aliado a isso, informações de crescimento diamétrico conseguem retratar quadro de competição em um povoamento, indicando a necessidade de práticas de manejo. O objetivo do estudo proposto foi analisar a morfometria e o comportamento do desenvolvimento e incremento diamétrico de *Araucaria angustifolia* através da dendrocronologia. Além disso, foram comparados dados coletados em campo com informações geradas pela nuvem de pontos captada pelo equipamento *Laser scanner* terrestre. Para a análise da morfometria foram coletados dados de 121 árvores individuais, para incremento foram utilizadas 127 árvores e para avaliar as informações *Laser* 18 indivíduos amostrados. As araucárias pertenciam a dois sítios no município de São José do Cerrito, em Santa Catarina. Foram mensuradas as variáveis: diâmetro a altura do peito (Dap), altura (h), altura de início de copa (hic), raio de copa (Rc), comprimento de copa (Cc), diâmetro de copa (Dc), índice de abrangência (IA), índice de saliência (IS), grau de esbeltez (GE), formal de copa (Fc), proporção de copa (Pc%), área de copa (Ac) e a posição sociológica (s) de cada indivíduo, além da retirada de rolos de incremento. Para as relações morfométricas obteve-se 11 correlações significativas e para as 5 maiores correlações (Dap, hic, Cc, Dc, Pc%, IA e GE) foram ajustados modelos para sua determinação, sendo caracterizados com distribuição gama e normal, e funções identidade e logarítmica. A análise de covariância demonstrou existir diferenças nas relações morfométricas avaliadas para cada sítio amostrado. Para a análise do incremento periódico anual em diâmetro (IPAd), o sítio 1, em árvores dominantes (PS1) teve média de 0,235 m², codominantes (PS2) 0,223 m² e dominadas (PS3) 0,356 m². Para o sítio 2, PS1 teve média de 0,381 m², PS2 0,360 m² e PS3 0,300 m². O estudo mostrou que IPAd está correlacionado com as características da copa, sendo elas, a hic, Cc, Pc(%) e o GE. A comparação entre as médias das variáveis dendrométricas e morfométricas, pelos métodos de mensuração, tradicional e captado pela estação *Laser*, não apresentaram diferença significativa entre si. Porém, as metodologias propostas em literatura estão suscetíveis a falhas, principalmente, pela influência de pontos que não correspondem a superfície da árvore. Já para o formato da copa para cada classe de Dap mostrou que a espécie possui diferentes contornos ao longo do seu estágio de desenvolvimento, caracterizando uma copa cônica na fase juvenil, e com a maturidade o formato tende a configurar-se de maneira plana, ou então identificando uma forma de umbela. Para que as metodologias sejam abrangentes a espécie, são necessários estudos que incluam diferentes sítios amostrais, bem como, uma amplitude diamétrica maior para gerar inferências, além de avaliar a viabilidade do uso de imagens geradas pela varredura *Laser scanner* terrestre na mensuração florestal.

Palavras-chave: Manejo florestal. Varredura *laser* terrestre. Araucária.

ABSTRACT

KLEIN, Danieli Regina. **Morphometry and Diametric Growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in the Santa Catarina South Plateau.** 2017. 111 leaves. Dissertation (Masters in Forestry - Concentration Area: Forest Production and Wood Technology - University of the State of Santa Catarina Graduate Program in Forestry, Lages, 2017).

Through the morphometric indices one can infer about the necessary space that the species needs to develop, maintain its growth and production rates. Allied to this, diametric growth information can portray competition in a stand, indicating the need for management practices. Objective of the proposed study to analyze the morphometry and behavior of the development and diametric increase of *Araucária angustifolia* through dendrochronology. In addition, data collected in the field were compared with information generated by cloud of points captured by the terrestrial Laser scanner equipment. For an analysis of the morphometry data were collected from 121 individual trees, for the purpose 127 samples and how to evaluate the information Laser 18 individuals sampled. *Araucarias* belong to two sites in the municipality of São José do Cerrito, in Santa Catarina. (Dc), height (h), crown height (Hc), crown radius (Rc), crown length (Cc), crown diameter (IS), the degree of slenderness (GE), the formal crown (Fc), crown ratio (Pc%), crown area (Ac) and sociological position (s) In addition to removal of increment rolls. For the morphometric relationships, 11 significant correlations were obtained and as 5 higher correlations (Dap, hic, Cc, Dc, Pc%, IA and GE) were adjusted for their determination, logarithmic E. A covariance analysis was found to exist in the morphometric relationships evaluated for each case sampled. (PS2) 0.223 m² and dominated (PS3) 0.356 m². For site 2, PS1 had a mean of 0.381 m², PS2 0.360 m² and PS3 0.300 m². The study showed that IPAd is correlated with canopy characteristics, being a hic, Cc, Pc (%) and GE. A means of communication between variable, dendrometric and morphological means, by traditional methods of measurement and captured by Laser station, did not present significant difference between them. However, the methodologies proposed in literature are susceptible to failures, mainly, by the influence of points that do not correspond to the surface of the tree. However, the shape of the crown for each class of Dap showed that the species has different contours throughout its development stage, characterizing a conical cup in the juvenile phase, and with a maturity or shape tend to be configured in a flat way, or Then identifying a shape of umbel. For the methodologies to be comprehensive for a species, the case studies are as follows, the analyzes are welcome, the diametral amplitude is greater for the inferences, besides evaluating the viability of the images generated by the Scanning terrestrial laser scanner in the Forest mensuration.

Keywords: Forest management. Terrestrial laser scanning. *Araucaria*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).....	30
Figura 2 - Distribuição diamétrica por posição sociológica de <i>Araucaria angustifolia</i> em São José do Cerrito: P1 (Dominante); P2 (Codominante); P3 (Dominada).....	34
Figura 3 - Distribuição dos resíduos para o MLG das relações de <i>Araucaria angustifolia</i>	44
Figura 4 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações de <i>Araucaria angustifolia</i>	46
Figura 5 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).....	57
Figura 6 - Demonstração da retirada dos rolos de incremento e demarcação dos anéis de crescimento para <i>Araucaria angustifolia</i>	60
Figura 7 - Distribuição dos resíduos para o MLG das relações entre o IPA _d e as variáveis morfométricas de <i>Araucaria angustifolia</i>	65
Figura 8 - Incremento anual acumulado em diâmetro nos dois sítios amostrados para <i>Araucaria angustifolia</i>	66
Figura 9- Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).....	77
Figura 10 - Representação da visada de campo do <i>Laser scanner</i> terrestre.....	79
Figura 11 - Identificação dos alvos utilizados a campo para varredura <i>Laser</i>	79
Figura 12 - Representação da varredura múltipla com <i>Laser</i>	80
Figura 13 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação <i>Laser</i>	81
Figura 14 - Procedimento para o recorte das árvores e realização da mensuração.....	81
Figura 15 - (A) Resíduos e valores estimados para altura das árvores (B) Ajuste da linha de regressão da altura total (h) em função do diâmetro à altura do peito (Dap) do modelo selecionado para <i>Araucaria angustifolia</i> , mensurados pelo método tradicional (1) e amostrados pela estação <i>Laser</i> (2).....	87
Figura 16 - (A) Resíduos e valores estimados para o diâmetro de copa (B); Ajuste da linha de regressão do diâmetro de copa (Dc) em função do diâmetro à altura do peito (Dap) do	

modelo selecionado para <i>Araucaria angustifolia</i> mensuradas pelo método tradicional (1) e amostradas pela estação <i>Laser</i> (2).....	89
Figura 17 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).....	98
Figura 18 - Representação da visada de campo do <i>Laser scanner</i> terrestre.....	99
Figura 19 - Identificação dos alvos utilizados a campo para varredura <i>Laser</i>	100
Figura 20 - Representação da varredura múltipla com <i>Laser</i>	100
Figura 21 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação <i>Laser</i>	101
Figura 22 - Procedimento para o recorte das árvores e realização da mensuração	102
Figura 23 - Formato da copa para <i>Araucaria angustifolia</i> em cada classe diamétrica amostrada em Santa Catarina.....	104
Figura 24 - Representação do formato da copa de <i>Araucaria angustifolia</i> amostradas nas diferentes classes diamétricas em Santa Catarina.....	105
Figura 25 - Representações das diferentes formas de copa de <i>Araucaria angustifolia</i>	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis dendrométricas e morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> para o sítio 1 de estudo no Planalto Catarinense.....	35
Tabela 2 - Variáveis dendrométricas e morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> para o sítio 2 de estudo no Planalto Catarinense.....	36
Tabela 3 - Correlação de Pearson e probabilidades para as variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Catarinense.....	39
Tabela 4 - Análise de covariância para diâmetro de copa, percentual de copa e grau de esbeltez em função de variáveis dendrométricas e morfométricas correlacionadas.....	42
Tabela 5 - Valores dos ajustes de MLG para as relações morfométricas estabelecidas para <i>Araucaria angustifolia</i>	43
Tabela 6 - Valores mínimos, máximos, médios IPAd de <i>Araucaria angustifolia</i> nos sítios amostrados e nas diferentes posições sociais.....	62
Tabela 7 - Correlação de Pearson e probabilidades para a relação do IPAd com as variáveis dendrométricas e morfométricas de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Catarinense.....	64
Tabela 8 - Valores dos ajustes de MLG para as relações entre o IPAd e as variáveis morfométricas de <i>Araucaria angustifolia</i>	65
Tabela 9 - Modelos testados para estimar a altura total em função do diâmetro à altura do peito para <i>Araucaria angustifolia</i>	82
Tabela 10 - Modelos ajustados para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para <i>Araucaria angustifolia</i>	82
Tabela 11 - Comparação entre as mensurações a campo e com dados TLS das variáveis dendrométricas e morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i>	83
Tabela 12 - Ajuste de modelos hipsômetros amostrados em campo para <i>Araucaria angustifolia</i>	85
Tabela 13 - Ajuste de modelos hipsômetros amostrados com estação <i>Laser</i> para <i>Araucaria angustifolia</i>	85
Tabela 14 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa amostrados em campo para <i>Araucaria angustifolia</i>	87
Tabela 15 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa em função do Dap amostrados pela estação <i>Laser</i> para <i>Araucaria angustifolia</i>	88

Tabela 16 - Área e comprimento de copa correspondente a cada classe diamétrica amostrada para <i>Araucaria angustifolia</i> em Santa Catarina.....	104
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
Cc ou cc	Comprimento de copa
cm	Centímetros
D	Função desvio
DAP ou d	Diâmetro à altura do peito
Dc ou dc	Diâmetro de copa
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
Est.	Valores estimados
Fc ou fc	Formal de copa
FOM	Floresta Ombrófila Mista
GE	Grau de Esbeltez
h	Altura total
ha	Hectare
HIC ou hic	Altura de inserção de copa
IA	Índice de Abrangência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPAd	Incremento periódico anual diamétrico
IS	Índice de Saliência
L	Leste
m	Metros
MLG	Modelos Lineares Generalizados
N	Norte
O	Oeste
Obs.	Valores observados
Pc% ou pc	Porcentagem de copa
PS1	Posição sociológica dominante
PS2	Posição sociológica codominante
PS3	Posição sociológica dominada
Rc ou rc	Raio de copa

S	Sul
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SC	Santa Catarina
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanner</i>
SJC	São José do Cerrito
t ou T	Idade
TSAP	<i>Time Series Analysis Program</i>
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SANTA CATARINA.....	36
RESUMO.....	36
1.2 INTRODUÇÃO	38
1.3 MATERIAL E MÉTODOS	39
1.3.1 Área de Estudo	39
1.3.2 Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos de <i>Araucaria angustifolia</i>	41
1.3.3 Análise de dados.....	42
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
1.4.1 Características dendrométricas e relações morfométricas de <i>Araucaria angustifolia</i>	44
1.4.2 Correlações entre forma e dimensão	49
1.4.3 Ajustes de equações para as relações interdimensionais.....	50
1.5 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
RELAÇÕES ENTRE O INCREMENTO E VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SANTA CATARINA.....	62
RESUMO.....	62
2.2 INTRODUÇÃO	64
2.3 MATERIAL E MÉTODOS	66
2.3.1 Área de Estudo	66
2.3.2 Coleta dos dados dendrométricos, morfométricos e de crescimento para <i>Araucaria angustifolia</i>	67
2.3.3 Análise de dados.....	69
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
2.4.1 Incremento periódico anual diamétrico de <i>Araucaria angustifolia</i>	70
2.4.2 Incremento acumulado em diâmetro	75

2.5	CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		78
COMPARAÇÃO ENTRE MENSURAÇÃO A CAMPO E COM DADOS TLS DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS PARA <i>Araucaria angustifolia</i> EM SANTA CATARINA		82
RESUMO.....		82
3.1	INTRODUÇÃO	84
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	86
3.2.1	Área de Estudo	86
3.2.2	Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos	87
3.2.3	Aquisição de dados por Varredura <i>Laser</i> Terrestre (TLS).....	88
3.2.4	Ajuste de modelos hipsométricos e para diâmetro de copa (Dc)	91
3.2.5	Análise dos dados	92
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
3.3.1	Comparação entre variáveis dendrométricas e morfométricas mensuradas em campo e amostradas pela estação <i>Laser</i>	92
3.3.2	Ajuste de modelos hipsométricos e de diâmetro de copa (Dc) para variáveis dendrométricas e morfométricas mensuradas em campo e pela estação <i>Laser</i>	94
3.4	CONCLUSÕES	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		100
FORMATO DA COPA DE <i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze APARTIR DE DADOS TLS PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO EM SANTA CATARINA.....		104
RESUMO.....		104
4.2	INTRODUÇÃO	106
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	108
4.3.1	Área de Estudo	108
4.3.2	Aquisição dos dados de copa por Varredura <i>Laser</i> Terrestre (TLS).....	109
4.3.3	Modelagem da copa e análise dos dados	113
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	113

4.5	CONCLUSÕES	118
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122

INTRODUÇÃO GERAL

No inventário florístico florestal, realizado em Santa Catarina, coordenado por Vibrans et al. (2013), mostrou que a Floresta Ombrófila Mista compreende 24,4% (13.741,3 km²) do total de área que ocupava no passado (42.851,56 km²).

Hess et al. (2014), comentaram que os remanescentes existentes localizam-se em áreas de difícil acesso, em propriedades particulares ou em Unidades de Conservação. Assim, a preservação desse sistema florestal, constitui-se um dos maiores desafios para os programas de conservação.

Esse ecossistema possui grande diversidade e importância ecológica, econômica e social. Deste modo, estudos são realizados, a fim de, obter informações sobre as espécies da Floresta Ombrófila Mista. Os quais possibilitem propor estratégias para a utilização sustentável, manutenção e conservação destes remanescentes.

Pesquisas realizadas em fragmentos naturais apresentam um nível de dificuldade maior, quando comparado a florestas plantadas, sobretudo, em nível de árvore individual. Entretanto, estudos que avaliam o crescimento em florestas tropicais e subtropicais alcançaram resultados satisfatórios, como por exemplo, *Araucaria angustifolia* na Floresta Ombrófila Mista (COSTA, 2011); *Cedrela odorata* L., *Amburana cearenses* (Allemão) A. C. Sm., *Copaifera paupera* (Herzog) Dwyer e *Swietenia macrophylla* King na Floresta Amazônica (CUNHA, 2013) e em árvores de *Ocotea porosa* (WEBER, 2013).

Moscovich (2006) afirmou que a competição, incidência de luz, sucessão e as condições do sítio natural consistem em fatores ecológicos determinantes no desenvolvimento de florestas naturais. Além disso, as relações que implicam no crescimento de uma árvore podem variar dependendo das condições em que estão submetidas, assim como as atividades relativas ao processo de controle e à condição ambiental oferecida.

Para Fritts (1976), o desenvolvimento e crescimento de uma espécie são limitados por fatores que variam de forma significativa ao longo do tempo, sobretudo, variáveis como altura, diâmetro e condições da copa.

Sendo assim, os modelos que descrevem o crescimento de uma árvore são baseados no diâmetro e o comprimento de copa e suas interações com as variáveis dendrométricas, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura da árvore (h), com destaque para alguns

índices, como a relação h/DAP proporção de copa, índice de saliência e o formal de copa (CAVALLI, 2013).

As pesquisas sobre o crescimento e incremento das espécies arbóreas individuais destacam-se na identificação dos anéis de crescimento, a fim de conhecer o ritmo de desenvolvimento de uma espécie. Nesse sentido, Tonini et al. (2003) afirmaram que, a análise de tronco em árvores nativas com anéis visíveis é uma opção rápida e eficaz de avaliar as dimensões alcançadas pelas árvores no passado, e assim conhecer os características biométricas, como o DAP, h e volume (v) que influenciam no desenvolvimento de uma determinada espécie.

A técnica que possibilita determinar a idade e o ritmo de crescimento das espécies arbóreas é conhecida como dendrocronologia. A partir dessa metodologia, obtêm-se informações que permitem reconhecer o comportamento do incremento em diferentes condições a que estão submetidas, como a maior disponibilidade de luz e o crescimento em razão da competição atual em que as árvores encontram-se (CUBAS, 2015).

Com a formação de anéis de crescimento nítidos, a *A. angustifolia* constitui uma espécie com potencial para estudos dendrocronológicos, caracterizados pela diferenciação do xilema em lenho inicial e tardio (SILVA, 2009).

No lenho inicial, os traqueídes são alongados radialmente e com parede celular delgada, caracterizando o xilema com uma coloração clara. Já no lenho tardio, os traqueídes são menores, achatados radialmente e com parede celular espessa, definindo ao xilema uma cor escura (OLIVEIRA et al., 2009; SANTAROSA, 2007).

Segundo Durlo et al. (2004), conhecer o desempenho do crescimento de uma espécie ao longo do tempo, favorece o manejo das florestas e de povoamentos florestais, com base na sustentabilidade da produção. Além disso, outro fator importante é considerar o desenvolvimento das árvores a partir das modificações na forma da copa.

A forma e dimensão da copa das árvores auxilia na determinação de intervenções silviculturais para a floresta ou para determinada espécie. Observa-se, que em algumas espécies as formas das copas podem sofrer modificações com o passar do tempo. Deste modo, realizar interferências ou determinar técnicas de manejo, é importante para o progresso do incremento das árvores, considerando o conhecimento das exigências de espaço vital das diferentes espécies ao longo do seu ciclo de vida (DURLO et al., 2004).

Portanto, é importante conhecer as características e particularidades de cada espécie que compõe um fragmento ou povoamento, e deste modo determinar a melhor condição de

desenvolvimento e manutenção da floresta. Tendo em vista novas pesquisas para aperfeiçoar os procedimentos em identificar, monitorar e quantificar as características de uma árvore, novas tecnologias são propostas no âmbito florestal, com objetivo de facilitar o trabalho que englobam as etapas fundamentais do inventário e manejo florestal.

A introdução de diferentes equipamentos para obter diâmetros, alturas, volume e características de árvores em pé, foi apresentada por Lichti et al., (2002), destacando a tecnologia do sistema *Laser scanner* terrestre, o qual apresentou resultados promissores para mensuração de árvores, a partir de imagens digitais geradas pela nuvem de pontos capturadas em campo.

Os equipamentos *Laser scanner* terrestre (LST ou TLS) baseiam-se na obtenção de distâncias com altíssima precisão em relação a objetos, e gera como resultado uma nuvem tridimensional com milhões de pontos coletados em alguns minutos de coleta. Essa característica permite explorar dados extremamente detalhados, ampliando as aplicações no setor florestal (LICHTI et al., 2008).

Essa tecnologia se apresenta como uma ferramenta promissora, conforme comentaram Bienert et al. (2006) e Maas et al. (2008), pois a reconstrução através das imagens permitem reestabelecer a geometria das árvores de maneira rápida e precisa, além de possibilitar a modelagem e determinação de variáveis dendrométricas, como diâmetros em alturas parciais, altura total e volume, sem a derrubada da árvore. Estudos realizados com dados TLS tem sido aplicado no país desde 2003 (DASSOT et al., 2011).

Além disso, Martins Neto et al. (2013), apontaram que os estudos com uso da tecnologia *Laser*, devem considerar as particularidades do ambiente florestal para o planejamento da coleta de dados, bem como, a melhor posição do equipamento laser, para evitar distorções e inferências equivocadas das informações geradas pela nuvem de pontos.

Deste modo, o estudo proposto teve como objetivo principal, avaliar a morfometria e correlacioná-la com o incremento diamétrico de *A. angustifolia*. Ainda, verificar a utilização de dados TLS na caracterização da espécie. Para assim, fornecer informações ao manejo sustentado da espécie e preservação desse ecossistema.

Como objetivos específicos o trabalho propôs identificar a correlação existente entre as variáveis morfométricas e descrever o comportamento do seu desenvolvimento através do ajuste de modelos, para as relações em cada sítio. Além de avaliar a correlação do incremento periódico anual diamétrico com as características morfométricas, identificando as taxas de crescimento. Por fim, analisou-se a viabilidade do uso da

tecnologia *Laser scanner* terrestre na mensuração de variáveis dendrométricas e morfométricas, bem como, na identificação a forma da copa de araucária em suas diferentes fases ontogenéticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial LASER scanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. **In:** Workshop on 3D Remote Sensing in Forest, 14-15. Vienna, 2006.
- CAVALLI, J. P. **Caracterização e modelagem do crescimento da copa e do incremento de árvores isoladas de *Cedrela fissilis* Vell.** 2013. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas no incremento diamétrico de *Araucária Angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). 148f. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- CUBAS, R. **Reestabelecimento de *Araucária Angustifolia* e *Ocotea porosa* após sete décadas da exploração florestal.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 120f. Universidade Federal de Santa Maria, 2015.
- CUNHA, T. A. **Crescimento de espécies florestais madeiráveis como subsídio para o manejo florestal na Amazônia Ocidental.** 2013. 107 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- DASSOT, M.; CONSTANT, T.; FOURNIER, M. The use of terrestrial *LIDAR* technology in forest science: application fields, benefits and challenges. **In:** Annals of Forest Science. 2011.
- DURLO, M.A.; SUTILI, F.J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p 79-89, 2004.
- FRITTS, H. C. **Tree Rings and Climate.** New Jersey, 1976, 567 p.
- HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de Liocourt, Município de Paineiras, SC. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014.
- LICHTI, D. D.; GORDON, S. J.; STEWART, M. P. Ground-based laser scanners: operation, systems applications. **Geomatica**, v. 56, p. 21-33, 2002.

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008.

MAAS, H.-G.; BIENERT, A.; SCHELLER, S.; KEANE, E. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial LASER scanner data. **International Journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 1579–1593, 2008.

MARTINS NETO, R. P.; BUCK, A. L. B.; SILVA, M. N.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; PESCK, V. A. Avaliação da varredura *LASER* terrestre em diferentes distâncias da árvore para mensurar variáveis dendrométricas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n° 3, p. 420 – 433, 2013.

MOSCOVICH, F. A. **Estudo da dinâmica de crescimento em uma Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS**. 2006. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

OLIVEIRA, J. M. SANTAROSA, E.; PILLAR, V. D. P.; ROIG, F. A. Seasonal cambium activity in the subtropical rain forest tree *Araucaria angustifolia*. **Trees**, v. 23, p.107–115, 2009.

SANTAROSA, E.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. P. Crescimento sazonal em *Araucaria angustifolia*: evidências anatômicas. Nota científica. **Revista Brasileira de Biociências**, nota científica, v. 5, p. 618-620, 2007.

SILVA, A. S. da. **Dinâmica de colonização de *Araucaria angustifolia* em campos e sua influência na expansão florestal no Sul do Brasil**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento de *Nectandra megapotamica* Mez. em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n. 1, p.85-90, 2003.

VIBRANS, A. C. et al. **Floresta Ombrófila Mista: Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**, v. 3. 1. ed. Blumenau: Edifurb, 2013. 440 f.

WEBER, V. P. **Relação morfométrica e de competição no crescimento de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa**

Catarina. 2013. 91 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CAPÍTULO 1

RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia* EM SANTA CATARINA

RESUMO

Conhecer a morfometria de uma espécie e descrever suas relações auxilia no planejamento florestal e no uso sustentável da floresta. Assim, o objetivo do trabalho foi analisar relações morfométricas, a fim de ajustar modelos que melhor representem o conjunto de 121 árvores amostradas em dois sítios no município de São José do Cerrito, localizado no Planalto Catarinense. Foram mensuradas: diâmetro à altura do peito (Dap), altura (h), altura de inserção de copa (hic), raio de copa (Rc), comprimento de copa (Cc), diâmetro de copa (Dc), índice de abrangência (IA), índice de saliência (IS), grau de esbeltez (GE), formal de copa (Fc), proporção de copa (Pc%) e a posição sociológica (s) de cada indivíduo. As relações entre variáveis morfométricas foram avaliadas utilizando-se correlação de Person. A análise de covariância foi empregada para verificar as hipóteses de diferença de nível e inclinação nos ajustes de modelos morfométricos para os sítios. O ajuste dos modelos foi realizado com o emprego dos modelos lineares generalizados (MLG) nos campos de distribuição gama, normal, função de ligação identidade e logarítmica para as variáveis com correlação $\geq 0,7$. A análise de covariância demonstrou existir diferenças nas relações morfométricas para cada sítio, sendo necessário o ajuste de equações para cada um. Os resultados demonstram que a forma da copa se modifica conforme a posição social de cada árvore no ambiente da floresta, competição e de acordo com o sítio. As equações foram capazes de demonstrar as variações nas relações morfométricas de acordo com a mudança em dimensão e espaço ocupado por cada árvore, sendo essas relações importantes para explicar a dinâmica de crescimento da espécie na floresta e a aplicação de intervenções silviculturais.

Palavras-chave: morfometria, modelagem, manejo florestal.

CHAPTER 1

MORPHOMETRIC RELATIONS FOR *Araucaria angustifolia* IN SANTA CATARINA

ABSTRACT

Knowing the morphometry of a species and describing its relationships helps in the forest planning and the sustainable use of the forest. Thus, the goal of this work was to analyze morphometric relationships to fit models that best represent the set of 121 trees sampled in two sites in the São José do Cerrito city, at Planalto Catarinense. The measures were: diameter at breast height (Dbh), height (h), crown base height (cbh), crown radius (Cr), crown length (Cl), crown diameter (Cd), slenderness index (SI), index of salience (IS), crown form (Cf), crown ratio (Cr%) and sociological position (s) of each individual. The relationships between morphometric variables were evaluated using Person's correlation. The covariance analysis used to verify the hypothesis of difference of level and inclination in the adjustments of morphometric models for the sites. The fit of the models was performed using the generalized linear models (MLGs) in the range distribution fields, normal, identity and logarithmic function for the variables with correlation ≥ 0.7 . The covariance analysis showed that there were differences in the morphometric relationships for each site, and it was necessary to adjust the equations for each one. The results show that the shape of the canopy changes according to the social position of each tree in the forest environment, competition and according to the site. The equations were able to demonstrate the variations in the morphometric relationships according to the change in size and space occupied by each tree. The equations were able to demonstrate the variations in the morphometric relationships according to the change in size and space occupied by each tree, being these relationships important to explain the growth dynamics of the species in the forest and the application of silvicultural interventions.

Keywords: morphometry, modeling, forest management.

1.2 INTRODUÇÃO

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze constitui-se em uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista. No Estado de Santa Catarina, Klein (1960) afirmou que essa formação florestal possui ampla importância, além de compor a maior área no Estado, estendendo-se aproximadamente por todo o planalto, em altitudes entre 500 a 1500m.

Os fragmentos de ocorrência natural da espécie no Estado foram reduzidos devido à intensa atividade exploratória de sua madeira. Sendo esses, influenciados por fatores degradantes como a pecuária, plantio florestal com espécies exóticas, principalmente do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, e também pela expansão agrícola (Sevegnani et al., 2013).

A partir disso, o interesse em manejar estas florestas naturais, com propósitos econômicos diminuiu, principalmente, devido à legislação restritiva. Assim, estudos feitos para avaliar as formas de manejo, que considerem a espécie, tanto em âmbito econômico, quanto a conservação de sua vegetação original, são necessários para compor o uso adequado da espécie (NUTTO, 2001).

Um aspecto importante no manejo de espécies florestais é conhecer a morfometria das árvores, a qual é obtida através de informações coletadas a partir de variáveis como diâmetro à altura do peito (Dap), altura (h) e dados relacionados a copa. As relações morfométricas, de acordo com Costa et al. (2016), possibilitam retratar as dimensões das árvores sem necessidade de identificar sua idade, além disso, contribuem para propor intervenções silviculturais e o planejamento florestal, sobretudo, quando se visa o uso sustentável das florestas.

Para Roman et al. (2009), compreender a morfometria, as relações morfométricas e a dinâmica das formas das árvores, é necessário para aperfeiçoar as técnicas de silvicultura e manejo, para viabilizar a produção no cenário atual das práticas de manejo em espécies florestais nativas.

Os estudos relacionados à morfometria, conforme Durlo e Denardi (1998) buscam reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, avaliar o grau de concorrência na floresta, identificando ainda, informações sobre estabilidade, vitalidade e a produtividade de cada indivíduo arbóreo.

As diferentes formas e dimensões das árvores e sua modificação ao longo do tempo, possibilitam a utilização de modelos matemáticos/estatísticos de concorrência e de

crescimento a partir destas informações, permitindo inferências para planos de manejo de espécies florestais (HASENAUER, 1994; HASENAUER et al., 1995).

No ambiente florestal as variáveis mais conhecidas, segundo Sterba (1992) e Asmann (1961), são o Dap, área basal, altura total, dominante e comercial, área de projeção de copa e o volume de copa. Porém, pouco se conhece sobre forma de copa, grau de esbeltez, índice de saliência, abrangência e de espaço vital, sendo estas variáveis de ampla importância na avaliação da potencialidade do crescimento das espécies, principalmente, em estudos de árvores individuais.

Além disso, Costa (2011) afirmou que, a importância em obter informações sobre a morfometria da copa de *A. angustifolia* está relacionada às técnicas adequadas de intervenções silviculturais e do manejo florestal, de acordo com as características e necessidades da espécie.

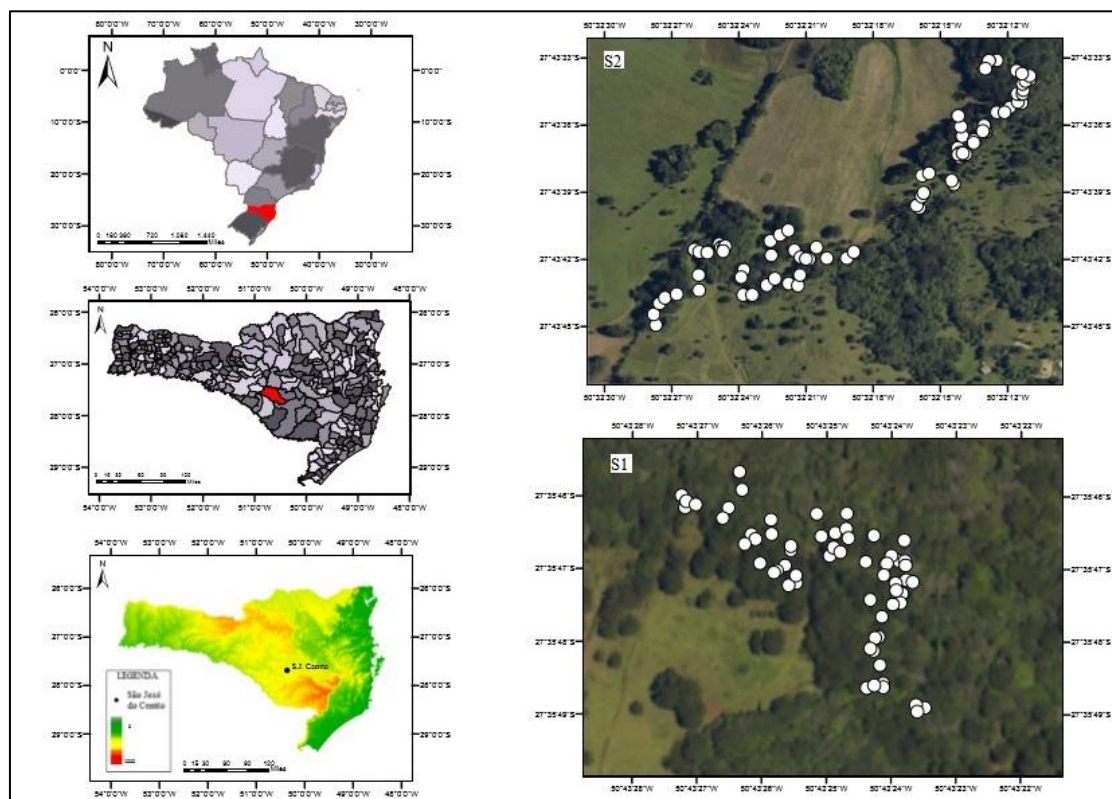
Assim, o trabalho teve como objetivo conhecer a correlação entre as variáveis morfométricas e ajustar modelos para as relações interdimensionais de *A. angustifolia* no Planalto Catarinense, como ferramenta de auxílio para intervenções e manejo sustentável da espécie.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Área de Estudo

Os dados foram coletados no município de São José do Cerrito em dois sítios amostrais de remanescentes da Floresta Ombrófila Mista Montana, com ocorrência natural de *A. angustifolia*, no planalto serrano do estado de Santa Catarina (Figura 1), aos 880m de altitude. Os solos da região são pouco profundos e caracterizados como Neossolos Litólicos e Cambissolos (IBGE, 2012).

Figura 1 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O clima característico do município, conforme Köppen é tipo Cfb, mesotérmico úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano, com precipitação média anual entre 1.300 e 1.500mm na região. O município pertence à Bacia do Rio Canoas e do Rio Pelotas, de topografia, em sua maioria, suave-ondulada a forte ondulada (IBGE, 2012).

As florestas, de acordo com Hess et al. (2010; 2014), são nativas de características irregular inequidânea, identificadas sem manejo e intervenções silviculturais a cerca de 40 anos, sendo observada pouca regeneração natural.

O primeiro sítio amostral localizava-se em uma propriedade particular, próximo a pastagens, com terreno pouco ondulado e as árvores amostradas encontravam-se no interior da floresta. Já o segundo sítio, trata-se de uma propriedade pertencente ao Centro de Educação Profissional (Cedup) Caetano Costa, localizado no município de São José do Cerrito, com terreno declivoso e a presença, em alguns pontos, com rochas expostas. Os indivíduos ocupam áreas adjacentes à floresta, enquanto que os demais foram coletados no interior da floresta.

Para avaliar a suficiência amostral selecionou-se a variável Dap como base para a determinação do número mínimo de amostras (árvores), as quais seriam necessárias para abranger a variabilidade dimensional da floresta, conforme equação proposta por Péllico Netto e Brena (1997):

$$n = \frac{t^2 S_x^2}{E^2}$$

Em que: n= número de unidades amostrais a ser medido; t= valor de t de student tabelado; S_x^2 = variância; E = (LE * x), LE= limite do erro de amostragem admitido, x =média aritmética dos valores observados.

1.3.2 Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos de *Araucaria angustifolia*

Para o estudo foram amostradas 121 árvores individuais, distribuídas aleatoriamente, com intuito de abranger a amplitude diamétrica da floresta. De cada árvore foram mensuradas as diferentes variáveis:

- Diâmetro à altura do peito (Dap), onde primeiramente foi mensurado a Circunferência a altura do peito (Cap) com uma fita métrica, após foi obtido o Dap pela equação:

$$Dap = \frac{Cap}{\pi}$$

- Altura total (h), obtida através do hipsômetro TruPulse;
- Altura de inserção de copa (hic), medida em metros, da base do tronco até a altura do primeiro galho vivo, obtida com o hipsômetro TruPulse;
- Raio de copa (Rc), para obter o raio médio de copa foram considerados quatro raios nas posições cardeais: N, S, L, O, com o uso da bússola e posteriormente, para a mensuração dos quatro raios foi utilizado o hipsômetro TruPulse;
- Comprimento de copa (Cc), calculado em metros pela diferença entre a altura total e a altura de início de copa:

$$Cc = h - hic$$

- Diâmetro de copa (Dc), calculado em metros utilizando o raio médio de copa (Rm), obtido a partir dos quatro raios:

$$Dc = Rm \times 2$$

- Índice de abrangência (IA), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e a altura da árvore:

$$IA = \frac{Dc}{h}$$

- Índice de saliência (IS), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito da árvore:

$$IS = \frac{Dc}{Dap}$$

- Grau de esbeltez (GE), calculado pela razão entre a altura total das árvores e o diâmetro à altura do peito:

$$GE = \frac{h}{Dap}$$

- Formal de copa (Fc), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa:

$$Fc = \frac{Dc}{Cc}$$

- Posição sociológica (PS): avaliada visualmente classificando: PS1 para árvores dominantes, PS2 para codominantes e PS3 para dominadas.

- Percentual de copa (Pc%): adquirida pela razão entre comprimento de copa e a altura total das árvores, e posteriormente multiplicado por 100, obtendo o valor percentual:

$$Pc\% = \frac{Cc}{h} \times 100$$

1.3.3 Análise de dados

Para avaliar a correlação existente entre as variáveis morfométricas, foi utilizada a correlação linear de Pearson, considerando-se nível de significância a 1% probabilidade de erro. Além disso, resíduos do ajuste dos modelos lineares, foram submetidos à análise das condicionantes da regressão, para verificar a acurácia do ajuste de equações da relação entre a forma e dimensão.

A análise de covariância foi utilizada para verificar a diferença existente de nível e inclinação das equações de regressões das relações interdimensionais de *A. angustifolia* que se apresentaram correlacionadas entre si. A partir disso, foi possível avaliar a necessidade ou não de diferentes equações para as áreas amostradas (SCHNEIDER, 1998).

Foi adotado o modelo linear simples para a análise de covariância, para evitar a diminuição dos graus de liberdade do resíduo de uma unidade e a perda do poder de ajuste do modelo. Assim, o modelo com o efeito de grupo e a regressão linear simples foi:

$$y_{ij} = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 x_{ij} + \sum_i \beta_{2i}(\tau^*x)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Onde: $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, n$; y_{ij} = observação j no grupo i ; τ_i = o efeito do grupo i ; β_0 , β_1 e β_{2i} = parâmetros da regressão; x_{ij} = valor da variável independente contínua para observação j no grupo i ; $(\tau^*x)_{ij}$ = interação do grupo x covariante; ε_{ij} = erro aleatório (KAPS & LAMBERSON, 2004).

Quando o ajuste das equações não atendeu às condicionantes de regressão, foi utilizado a técnica dos modelos lineares generalizados (MLGs). Na avaliação dos MLG, testaram-se os campos aleatórios, Normal e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Os critérios de ajuste para MLGs são avaliados através do desvio e critério de informação de Akaike (AIC) conforme Paula (2010), sendo que quanto menor esses valores, melhor o ajuste do modelo.

O AIC seleciona o melhor modelo entre os modelos paramétricos alternativos. Segundo Turkman e Silva (2000), esse critério é fundamentado na função log-verossimilhança, com a admissão de um fator de correção como modelo de penalização da complexidade do modelo. Menores valores de AIC são considerados representativos para um melhor ajuste. Na comparação dos modelos também foi empregado o Critério de Informação Bayesiano (BIC), o qual consiste na seleção do modelo que exibir o menor valor de BIC.

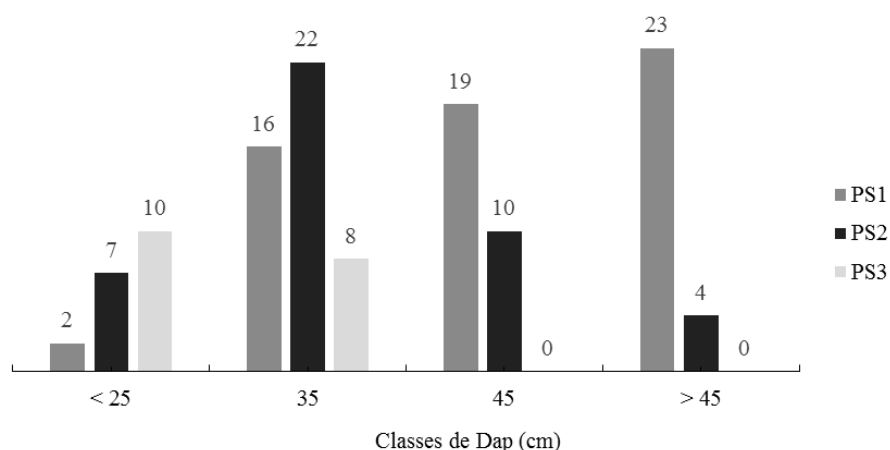
Além disso, a análise gráfica dos resíduos também foi utilizada como critério de seleção, pois, nos MLG, conforme Cordeiro e Lima Neto (2006), os resíduos são empregados para explorar a adequação do modelo ajustado conforme a escolha da função de variância, e da função de ligação. Do mesmo modo, eles também são úteis para identificar pontos irregulares, além de medir o impacto dessas perturbações nas estimativas dos parâmetros, sendo que, os resíduos também avaliam discrepâncias entre os valores observados e seus valores ajustados. As análises estatísticas foram processadas no pacote estatístico SAS 9.3.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.4.1 Características dendrométricas e relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*

A caracterização dos estratos sociais para os remanescentes de *A. angustifolia* indicou a seguinte estrutura diamétrica para as 121 árvores amostradas nos dois sítios amostrados (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição diamétrica por posição sociológica de *Araucaria angustifolia* em São José do Cerrito: PS1 (Dominante); PS2 (Codominante); PS3 (Dominada).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Os resultados mostraram uma distribuição com maior número de indivíduos nas maiores classes de diâmetro. Sendo que a classe abaixo de 25 cm apresentou menor quantidade de indivíduos. Lamprecht (1962) afirmou que uma distribuição diamétrica regular, ou seja, quando há um número maior de indivíduos em classes menores, favorece a existência e sobrevivência das espécies regenerantes, porém, uma composição diamétrica irregular, há tendência de as espécies desaparecerem com o tempo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Chassot et al. (2011) e Costa (2011) com *A. angustifolia*, e constataram que árvores com copas vigorosas e diâmetros maiores ocupam o estrato superior dentre os demais indivíduos, sendo que, a maior incidência de luz favorece seu desenvolvimento. Assim, a copa se modifica conforme o espaço ocupado pela árvore na estrutura dimensional da floresta, beneficiando indivíduos do estrato dominante, demonstrando sua capacidade de competição pelos recursos.

As características dendrométricas, morfométricas e a estatística descritiva para as árvores amostradas em cada sítio, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1- Variáveis dendrométricas e morfométricas para *Araucaria angustifolia* para o sítio 1 de estudo no Planalto Catarinense.

Variável	PS	Média	s	Valor mínimo	Valor máximo
Dap (cm)	1	38,92	7,77	25,78	54,43
	2	28,88	6,29	18,14	45,52
	3	22,28	6,53	15,92	31,83
h (m)	1	17,95	1,86	14,00	21,10
	2	17,29	1,98	14,70	21,90
	3	15,54	1,72	13,20	18,10
hic (m)	1	10,70	1,78	7,30	13,50
	2	11,28	1,56	8,20	14,40
	3	10,47	1,28	8,40	12,10
Cc (m)	1	7,25	2,30	3,50	12,50
	2	6,01	2,46	1,80	12,40
	3	5,07	1,22	3,50	6,80
Pc%	1	39,96	10,62	20,59	59,38
	2	34,04	10,97	11,84	56,62
	3	32,48	6,05	26,22	41,21
Dc (m)	1	7,63	1,36	5,45	10,85
	2	5,78	1,86	3,30	12,65
	3	5,53	2,28	3,55	10,35
IA	1	0,43	0,09	0,28	0,63
	2	0,34	0,12	0,21	0,83
	3	0,35	0,11	0,23	0,57
IS	1	19,82	2,45	16,77	26,23
	2	20,07	4,58	15,55	34,86
	3	25,28	7,52	14,48	34,96
GE	1	47,68	9,59	30,46	73,69
	2	62,06	12,28	37,65	82,67
	3	73,36	15,35	51,84	93,68
Fc	1	1,16	0,44	0,64	2,51
	2	1,24	1,28	0,52	7,03
	3	1,08	0,28	0,79	1,57

Onde: PS: Posição sociológica; s: desvio padrão; Dap: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hic: altura de inserção de copa (m); Dc: diâmetro de copa (m); Cc: comprimento de copa (m); Pc%: percentual de copa (%); GE: grau de esbeltez; Fc: formal de copa. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Tabela 2 - Variáveis dendrométricas e morfométricas para *Araucaria angustifolia* para o sítio 2 de estudo no Planalto Catarinense.

Variável	PS	Média	s	Valor mínimo	Valor máximo
Dap (cm)	1	53,69	20,40	23,24	97,08
	2	38,72	8,23	24,83	57,36
	3	25,80	4,00	19,74	32,15
h (m)	1	16,11	3,29	8,90	22,10
	2	15,74	2,55	10,30	19,90
	3	14,65	2,20	11,00	18,20
hic (m)	1	8,15	3,36	3,20	12,80
	2	9,15	2,81	4,60	13,00
	3	9,33	3,58	3,60	16,80
Cc (m)	1	7,96	2,49	3,60	12,50
	2	6,59	1,75	3,00	11,30
	3	5,33	2,27	0,90	8,30
Pc%	1	50,42	16,26	23,53	79,11
	2	42,60	12,02	20,69	67,83
	3	37,78	17,83	5,08	67,27
Dc (m)	1	11,13	4,23	4,80	20,50
	2	9,12	2,35	5,75	14,90
	3	6,82	1,51	5,20	10,10
IA	1	0,71	0,30	0,31	1,60
	2	0,59	0,14	0,29	0,79
	3	0,47	0,12	0,29	0,66
IS	1	20,97	3,51	14,20	27,93
	2	23,67	4,00	17,71	30,52
	3	26,49	4,08	20,17	34,87
GE	1	33,55	11,78	13,55	63,55
	2	42,06	10,55	30,67	69,28
	3	57,52	9,46	45,10	73,98
Fc	1	1,64	1,07	0,60	4,80
	2	1,50	0,69	0,83	3,75
	3	1,88	1,98	0,64	7,67

Onde: PS: Posição sociológica; s: desvio padrão; Dap: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hic: altura de inserção de copa (m); Dc: diâmetro de copa (m); Cc: comprimento de copa (m); Pc%: percentual de copa (%); GE: grau de esbeltez; Fc: formal de copa. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

As médias para o Dap e altura do sítio 1, nas diferentes posições sociais, foi menor que as médias do sítio 2. Devido à capacidade de sobressair da competição no passado, os maiores valores de Dap e h foram de árvores classificadas como dominantes (PS1).

A altura de inserção de copa (hic) para o sítio 1 foi maior na PS2, já para o sítio 2, o maior valor de hic foi na PS3. As árvores dominantes com baixo hic indicam, conforme retrataram Costa et al. (2016), que a redução do crescimento em altura revela que a mortalidade dos ramos na base da copa é maior que o aumento do comprimento da copa e hic.

Além disso, a variação dos dados de hic entre 3,2 e 16,8 m, possibilita o seccionamento para toras comerciáveis de 3 m, gerando de uma a 5 toras. Resultados de Loiola (2016) e Minatti (2015) se aproximaram dos dados amostrados, sendo que os autores encontraram valores médios de três a cinco toras e duas a quatro toras, respectivamente.

Para o comprimento de copa (Cc), os valores variaram de 0,9 a 12,5 m, com maiores valores na PS1 e menores em PS3. Dados de Cc menores indicam indivíduos que possuem maior fuste aproveitável, isso aponta a ocorrência de desrama nestes indivíduos, sendo que, copas menores indicam redução de fotossíntese o que pode comprometer as taxas de incremento e o crescimento. Um maior comprimento de copa indica indivíduos de menor diâmetro, jovens, com maior proporção de copa e copas arredondadas.

A proporção de copa foi menor para os indivíduos do sítio 1, os quais compõem árvores de menores dimensões de copa. A variação média sugere que entre 32 e 50% da altura total das árvores são ocupados pela copa, além disso, essa variável é um indicador de vitalidade, e quanto maior o percentual maior será a produtividade do indivíduo. O valor máximo encontrado para Pc% foi de 79,11% e o mínimo de 5,08%, o que para Roman et al. (2009), essa amplitude é decorrente da diferença da intensidade de competição a que cada árvore é submetida, além de estar associada também às dimensões e densidade de indivíduos na floresta.

O diâmetro de copa (Dc) para as araucárias do sítio 2 foram maiores, sendo que, as árvores de PS1 apresentaram dimensões de copas superiores, pois, maiores valores de Dc sugerem maior espaço lateral para o crescimento e desenvolvimento das árvores, e que estas atingiram o dossel superior, demonstrando sua capacidade de competição por luz e recursos.

O índice de abrangência (IA) foi maior para árvores do estrato PS1 e menor para PS3, sendo este índice maior no sítio 2. Como esse índice constitui-se da razão entre o Dc e a h, valores mais altos indicam que a h das árvores do sítio 2 são, em média, menores que as do sítio 1. Isso se deve pelas condições dos indivíduos do sítio 1, pois, são jovens e

investem no crescimento em altura, bem como indica maior densidade de indivíduos e, possivelmente, competição.

Roveda et al. (2012) afirmaram que em um povoamento onde o manejo é baseado na altura das árvores, o IA torna-se um critério para tomada de decisão em um plano de desbaste. Deste modo, conforme o aumento da altura há necessidade de um espaço maior entre as árvores para desenvolvimento em diâmetro.

O IS retratou uma situação semelhante para ambos os sítios de estudo, no entanto, apresentaram valores maiores para níveis sociais inferiores, situação que caracteriza a competição a qual esses indivíduos estão submetidos.

Além disso, esse índice representa que, em média, as árvores têm um diâmetro de copa, aproximadamente, de 19 a 26 vezes maior que o Dap. O IS pode ser usado como parâmetro indicador do espaço necessário para cada árvore ao ser atingido determinado diâmetro, ou pode-se indicar o número de árvores adequado por ha, ou de acordo com um diâmetro de interesse estabelecido.

O GE em cada posição social foi maior para o sítio 1 em comparação com o sítio 2, com variação média de 73,5 a 33,5, e também apresentou uma situação em que indivíduos pertencentes as posições inferiores obtiveram maiores valores de GE, refletindo a competição exercida pelas árvores de posições superiores, que interferem no desenvolvimento de indivíduos menores.

Este índice caracteriza a estabilidade das árvores, ou seja, quanto mais alto o grau de esbeltez, mais instável é a árvore. Assim, maiores valores de GE apontam que as árvores estão crescendo mais em altura que em diâmetro. Loiola (2016) e Minatti (2015) encontraram valores médios de 40,6 e 50, respectivamente, o que aponta maior competição por espaço-recurso, árvores ocupando estratos de codominante e dominada, resultando em baixa vitalidade e eficiência em espaço de crescimento.

O Fc, revelou valores maiores para árvores PS2 no sítio 1 e para árvores PS3 no sítio 2, com amplitude de 0,52 a 7,67. Esse gradiente, conforme citaram Roveda et al. (2012), indica que na população há árvores com copas esbeltas e também com copas mais achatadas, com Dc superior a cinco vezes o seu comprimento. Portanto, entre árvores com mesmo diâmetro, alcançará maior produtividade aquela que apresentar menor valor de Fc, assim, é possível utilizar esse índice na seleção de árvores para desbaste, onde serão retirados indivíduos de maior Fc.

1.4.2 Correlações entre forma e dimensão

A análise de correlação de Pearson (Tabela 3) mostrou que o aumento no Dap, proporciona um maior valor de Dc e Fc, devido ao espaço de crescimento, e também menor IA e GE. A correlação entre o Dap e o Dc apresentou alto valor (0,87) e o Dap com GE apresentou correlação negativa, isso indica que quanto maior o valor desse índice menor o Dap dos indivíduos.

A hic apresentou correlação positiva com a altura, indicando árvores com menor manto de copa, maior dimensão, maior idade, e posição social dominante, consequentemente, menor proporção de copa e menores taxas de crescimento, como demonstra a relação negativa entre Pc% com hic. Isso demonstra que as árvores já atingiram sua capacidade de crescimento e redução nas taxas de incremento (estagnação).

Tabela 3 - Correlação de Pearson e probabilidades para as relações interdimensionais de *Araucaria angustifolia* no Planalto Catarinense.

	DAP	h	hic	Cc	Pc%	Dc	IA	IS	GE
DAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h	0,18 ^{ns}	-	-	-	-	-	-	-	-
hic	-0,02 ^{ns}	0,60*	-	-	-	-	-	-	-
Cc	0,21 ^{ns}	0,40*	-0,50*	-	-	-	-	-	-
Pc%	0,12 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,86*	0,85*	-	-	-	-	-
Dc	0,87*	0,04 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-	-	-	-
IA	0,75*	-0,34 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,91*	-	-	-
IS	-0,23 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-	-
GE	-0,82*	0,17 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	-0,28 ^{ns}	-0,77*	-0,77*	0,14 ^{ns}	-
Fc	0,37 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,55*	-0,51*	0,52*	0,57*	0,30 ^{ns}	-0,35 ^{ns}

Onde: Dap: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hic: altura de início de copa (m); Cc: comprimento de copa (m); Pc%: Percentual de copa (%); Dc: diâmetro de copa (m); IA: Índice de abrangência; IS: Índice de saliência; GE: Grau de esbeltez; Fc: Formal de copa; *: Significativo a 1% de probabilidade de erro; ^{ns}: não significativo. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Para o ajuste de equações de regressão foram selecionadas as relações interdimensionais que alcançaram valores de correlação maiores que 0,8, tanto positivas quanto negativas.

Trabalhos realizados por Nutto (2001), Koehler (2009) Zechini (2012) e Curto (2015) com araucária na região Sul do Brasil, apresentaram resultados que corroboram com os resultados deste estudo.

O percentual de copa (Pc%) apresentou correlação negativa com a altura de inserção de copa e positiva com o comprimento de copa. Curto (2015), em um estudo realizado com araucária na Floresta Nacional (FLONA) de Açungui (PR), encontrou correlação -0,47 para relação Pc% e hic, e 0,90 para Pc% e Cc.

Conforme Clark e Clark (2001), as variáveis relacionadas com a copa refletem o efeito da competição ocorrida no passado, uma vez que, corresponde as dimensões exibidas pelas copas atualmente. Isso ocasiona alterações no tamanho das árvores, tanto em diâmetro quanto em altura e, conseqüentemente, geram modificações na captação de recursos para o desenvolvimento, o que representa a dinâmica da floresta.

1.4.3 Ajustes de equações para as relações interdimensionais

A análise de covariância foi realizada para constatar a diferença de nível e inclinação do ajuste de regressão entre o Dc e o GE em função do Dap. Assim como, do Pc% em função da hic e do Cc, e o IA pelo Dc, para os dois sítios amostrados.

Tais relações propõem avaliar se existe diferença nestas variáveis para os sítios de estudo, bem como conhecer o comportamento das variáveis de acordo com mudanças na estrutura dimensional da floresta e assim subsidiar futuras intervenções silviculturais.

As relações avaliadas pela análise de covariância são apresentadas na Tabela 4, a qual comprovou existir diferença entre os níveis e inclinação das linhas de regressão para Dc, Pc% e GE para sítio e interação dap*sítio com Prob.< 0,0001.

Portanto, a análise de covariância demonstrou que há necessidade de regressões distintas para as relações avaliadas, sendo que o coeficiente de determinação (R^2) explica entre 74 a 80% da variação e erro padrão da estimativa entre 1,53 a 7,32.

Tabela 4 - Análise de covariância para diâmetro de copa, percentual de copa, grau de esbeltez e índice de saliência em função de variáveis dendrométricas e morfométricas com maiores valores de correlação (Continua).

	R² 0.785				S _{xy} : 1.534	
	FV	gl	SQ	QM	F	Pr>F
Dc	Modelo	3	1003.149418	334.383139	142.05	<.0001
	Sítio	1	276.3795019	276.3795019	117.41	<.0001
	<i>Dap</i> *Sítio	3	726.7699161	363.3849580	154.38	<.0001
	Erro	117	275.407111	2.353907	-	-
	Total	120	1278.556529	-	-	-
	R² 0.746				S _{xy} : 7.266	
	FV	gl	SQ	QM	F	Pr>F
Pc%	Modelo	3	17908.99441	5969.66480	114.34	<.0001
	Sítio	1	2346.98490	2346.98490	44.95	<.0001
	<i>hic</i> *Sítio	2	15562.00950	7781.00475	149.03	<.0001
	Erro	117	6108.60748	52.21032	-	-
	Total	120	24017.60189	-	-	-
	R² 0.784				S _{xy} : 6.658	
	FV	gl	SQ	QM	F	Pr>F
Pc%	Modelo	3	18830.87695	6276.95898	141.59	<.0001
	Sítio	1	2346.98490	2346.98490	52.94	<.0001
	<i>Cc</i> *Sítio	2	16483.89205	8241.94602	185.92	<.0001
	Erro	117	5186.72494	44.33098	-	-
	Total	120	24017.60189	-	-	-
	R² 0.801				S _{xy} : 7.320	
	FV	gl	SQ	QM	F	Pr>F
GE	Modelo	3	25242.1350	8414.0450	157.02	<.0001
	Sítio	1	7258.3090	7258.3090	135.45	<.0001
	<i>Dap</i> *Sítio	2	17983.8261	8991.9130	167.80	<.0001
	Erro	117	6269.6014	53.5863	-	-
	Total	120	31511.7364	-	-	-

Tabela 4 - Análise de covariância para diâmetro de copa, percentual de copa, grau de esbeltez e índice de saliência em função de variáveis dendrométricas e morfométricas com maiores valores de correlação (Conclusão).

R ² 0.853		S _{xy} : 7.172				
	FV	gl	SQ	QM	F	Pr>F
IA	Modelo	3	5.11260194	1.70420065	227.01	<.0001
	Sítio	1	1.76212933	1.76212933	234.72	<.0001
	Dc*Sítio	2	3.35047261	1.67523630	223.15	<.0001
	Erro	117	0.87835557	0.00750731	-	-
	Total	120	5.99095751	-	-	-

Onde: Dap: Diâmetro a altura do peito (cm); Dc: diâmetro de copa (m); Pc%: percentual de copa (%); hic: altura de inserção de copa (m); Cc: comprimento de copa (m); GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência; R²: coeficiente de determinação; S_{yx}: erro padrão da estimativa; FV: fonte de variação; gl: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: probabilidade de F. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A diferença existente entre nível e inclinação para as regressões demonstra que as curvas não apresentam características de paralelismo, pois, há distinção entre o nível e inclinação para as variáveis de estudo, demonstrando que existem diferenças na forma e dinâmica das copas conforme a posição sociológica, dimensão e sítio para a espécie.

Com base na análise de covariância, foram ajustados os modelos separadamente para cada local com o uso dos modelos lineares generalizados (MLG), pois, os dados não atenderam aos condicionantes de regressão para normalidade, homogeneidade da variância e independência do erro.

Após testar os MLGs nos campos aleatórios, Normal e Gama, e nas funções de ligação identidade e logarítmica, obtiveram-se as equações que representam as relações estudadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Coeficiente e critérios de ajuste para os MLGs entre as relações morfométricas estabelecidas para *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina.

Modelo	Sítio	Parâmetros Φ_0 Φ_1		Distribuição	Função de ligação	AIC	BIC	Desvio
Dc/Dap	1	1,0791	0,0240	Gama	Logarítmica	200,86	204,95	2,03
	2	1,8087	0,1804	Gama	Identidade	218,74	222,64	1,66
Pc%/hic	1	91,063	-4,976	Gama	Identidade	431,758	435,844	0,04
	2	87,743	-4,788	Gama	Identidade	418,784	422,870	0,04
Pc%/Cc	1	5,9419	4,7626	Gama	Identidade	328,017	332,103	0,01
	2	0,2717	6,5413	Gama	Identidade	410,509	414,595	0,04
GE/Dap	1	1,0266	-0,014	Normal	Identidade	-166,22	-162,13	0,25
	2	-0,1064	-0,019	Normal	Logarítmica	-133,36	-129,46	0,32
IA/Dc	1	-1,8442	0,1287	Normal	Logarítmica	-166,22	-162,13	0,1189
	2	-1,312	0,0819	Normal	Logarítmica	-133,36	-129,46	0,6356

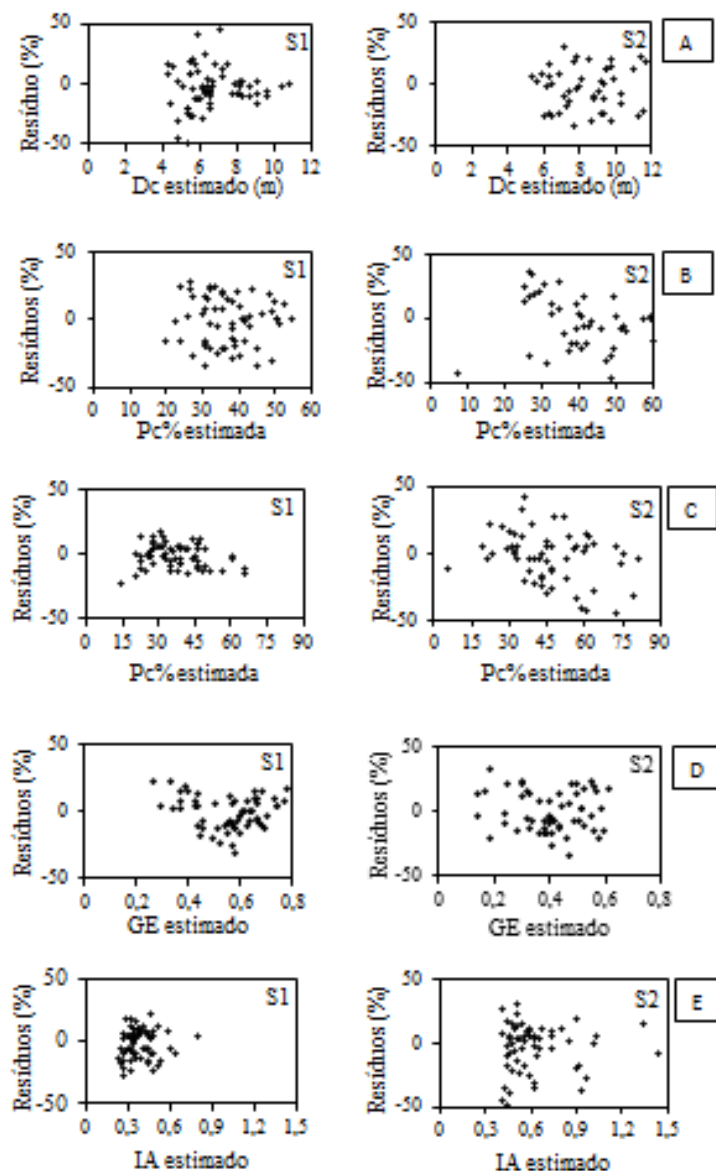
Onde: Dap: diâmetro a altura do peito; Dc: diâmetro de copa; Pc%: percentual de copa; hic: altura de início de copa; Cc: comprimento de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência; Φ_0 : coeficiente linear; Φ_1 : coeficiente angular; BIC: critério bayesiano; AIC: critério de Akaike. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Com base nos critérios, para relação do Dc com Dap, no sítio 1, o melhor modelo foi Gama-logarítmico, e para o sítio 2, foi Gama-identidade os quais apresentaram menor valor de Desvio, BIC e AIC. Para a relação da Pc% com hic, o modelo Gama-identidade foi o melhor modelo para os dois locais, com menores valores de Desvio, BIC e AIC

Na relação do Pc% com o Cc, para os dois locais, o melhor modelo foi Gama-identidade, com os melhores parâmetros. Para avaliar a relação entre o GE e o Dap, o melhor modelo para o local 1 foi Normal-identidade e para o local 2 foi Normal-logarítmica.

O ajuste para as variáveis não apresentou tendenciosidade, conforme é observado na Figura 3.

Figura 3 - Distribuição dos resíduos para o MLG das relações de *Araucaria angustifolia*



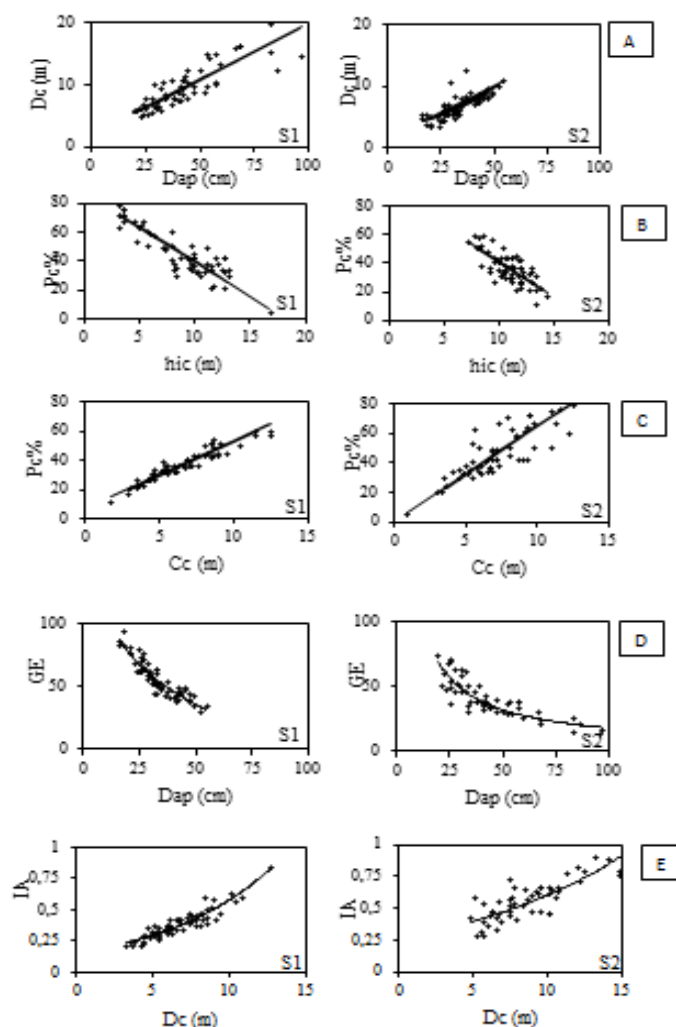
Onde: A: Dispersão dos resíduos da relação Dc com Dap; B: Dispersão dos resíduos da relação Pc% com hic; C: Dispersão dos resíduos da relação Pc% com Cc; D: Dispersão dos resíduos da relação GE com Dap; S1: sítio 1; S2: sítio 2; Dc: diâmetro de copa; Pc%: Percentual de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A dispersão dos modelos para as relações avaliadas apresentou homogeneidade da variância, entretanto, alguns modelos exibiram *outliers* indicando que pode existir tendenciosidade para gerar super e subestimadas. A variação está relacionada com

características ontogenéticas da espécie, ou seja, o desenvolvimento que ocorre na forma das árvores de araucária, dependente do sítio e competição.

Para avaliar o comportamento dos dados traçou-se a linha estimativa da variável dependente, juntamente com os pontos observados para cada relação avaliada, as distribuições são apresentadas na Figura 4.

Figura 4 - Dispersão dos valores observados sobre a reta ajustada pelo modelo das relações de *Araucaria angustifolia*.



Onde: A: Dispersão da relação Dc com Dap; B: Dispersão da relação Pc% com hic; C: Dispersão da relação Pc% com Cc; D: Dispersão da relação GE com Dap; E: Dispersão da relação IA com Dc; S1: sítio 1; S2: sítio 2; Dap: diâmetro a altura do peito; hic: altura de início de copa; Cc: comprimento de copa; Dc: diâmetro de copa; Pc%: Percentual de copa; GE: grau de esbeltez; IA: índice de abrangência. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O comportamento das linhas dos valores observados apresentou resultados sem tendência discrepantes. Deste modo, verifica-se uma forte relação linear entre as variáveis analisadas, sendo positiva para a relação entre Dc com Dap e Pc% com Cc, e negativa para Pc% com hic e GE com Dap.

A relação entre Dc e Dap indica que à medida que a árvore aumenta em diâmetro há acréscimo no diâmetro de copa, enquanto que maior valor de Cc indica uma proporção de copa superior, característico de árvores de menor diâmetro. Assim, a dinâmica de desenvolvimento da forma da árvore indica que a medida que aumenta a hic diminui a proporção de copa e aumenta sua dimensão, indicando árvores de estratos superiores, e copas em forma de umbela, ou que estão em intensa competição.

Da mesa forma, à medida que aumenta o Dap diminui o grau de esbeltez, indicando que a árvore cresceu em altura, atingindo o dossel e pode assim desenvolver em diâmetro.

Autores como Costa et al. (2014); Sanquetta et al. (2013) e Nascimento et al. (2010), também observaram forte relação entre o Dap o diâmetro de copa e o grau de esbeltez, pois, à medida que as árvores crescem em diâmetro a dimensão de suas copas aumenta e, diminui o grau de esbeltez da árvore, ou seja, seu desenvolvimento é favorecido, garantindo sua posição no estrato dominante da floresta.

Na área amostrada, bem como os resultados de estudos realizados por Minatti (2015) e Loiola (2016) em regiões adjacentes do estudo em questão, demonstraram a estrutura das florestas de araucária com árvores adultas, sendo que, algumas apresentam idade avançada, alta densidade e competição. Deste modo, há necessidade de intervenções que viabilizem a manutenção do desenvolvimento de indivíduos jovens, assim como propiciar a regeneração da espécie. Sendo que as relações avaliadas indicam o momento de intervenção silvicultural na floresta.

1.5 CONCLUSÕES

As relações morfométricas avaliadas demonstraram que, as características de copa da espécie são influenciadas pelo diâmetro e pelo espaço ocupado por cada árvore no ambiente dimensional da floresta. Além disso, o diâmetro a altura do peito foi uma variável fortemente relacionada com a dimensão da copa das árvores.

Com os resultados da análise de covariância os indivíduos apresentam características de crescimento de forma e dimensão diferente em cada sítio amostrado. Isso demonstra a limitação de recurso pelo espaço.

No ajuste dos modelos pode-se observar a forte influência da competição nos indivíduos amostrados, sendo que a variação entre eles se refere as características de desenvolvimento na floresta, como o espaço e as condições do sítio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, E. **Waldertragskunde**. Bayr. Landw. Verlag. München. 1961. 490 p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, v. 82: p. 1460-1472, 2001.
- CORDEIRO, G.M.; LIMA NETO, E.A. **Modelos Paramétricos**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, 94p. 2006.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas no incremento diamétrico de *Araucária Angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC**. Dissertação (Mestrado). 148f. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; MARANGON G. P.; CUBAS, R.; LONGHI, R. V. Relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. **In...** Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais. Recife-PE, p. 696-700, 2014.
- CURTO, R. de A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 251f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2015.
- HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. **Fostliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, TU Wien. Band 8, 152 p. 1994.
- HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung** 4: 216-218. 1995.

HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de Liocourt, Município de Paineira, SC. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2014. **Cidades**. 13 p. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: maio de 2016.

KAPS, M.; LAMBERSON, W. R. **Biostatistics for Animal Science**. CABI Publishing, London, UK, 2004.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., em Tijucas do Sul, estado do Paraná**. Tese de Doutorado. 130f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2009.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre unos métodos para el Análisis Estructural de los bosques tropicales. **Acta Científica Venezolana**, 13 (2): 57-65, 1962.

LOIOLA, T. M. **Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no sul do Brasil com base no incremento diamétrico**. Dissertação de Mestrado. 136f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2016.

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

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Serrano, SC.** Dissertação de Mestrado. 129f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2015.

NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. do M.; FIGUEIREDO, D. J. AUGUSTYNCZIK, A.L.D.; CAVALHEIRO, R. Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*. **Nota científica**. Colombo, v.30, n.64, p.369-374, 2010.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2001, p. 9-25.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf. Acesso em: maio de 2016.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Edição do autor, 1997. 316 p.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, n. 114, p. 188-209, 1995.

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

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. S.. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS. **In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012**

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 103-114, 2013.

SCHMITZ, P.I.; NOVASCO, R. V. Arqueologia no planalto: o uso do SIG na aplicação de análises espaciais dos sítios arqueológicos da localidade Boa Parada, Município de São José do Cerrito, SC. **R. Museu Arq. Etn.**, São Paulo, n. 21, p. 167-183, 2011.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998. 236 p.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. TU Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160p.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados – da teoria à prática**. Universidade de Lisboa, 2000 Disponível em: <http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf>. Acesso em maio de 2016.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. Dissertação (mestrado). 191f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2012.

CAPÍTULO 2

RELAÇÕES ENTRE O INCREMENTO E VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia* EM SANTA CATARINA

RESUMO

Conhecer o ritmo de crescimento de espécies florestais é de fundamental importância para conciliar a produção e conservação. Assim, o objetivo do estudo foi modelar o incremento periódico anual em diâmetro (IPAd), em função das variáveis morfométricas de *Araucaria angustifolia* em dois sítios amostrados no município de São José do Cerrito, utilizando a dendrocronologia e a técnica dos modelos lineares generalizados. Foram mensuradas as variáveis de 127 árvores individuais, e retirados rolos de incremento a altura do Dap. Para avaliar a correlação entre as variáveis e o IPAd utilizou-se a correlação de Pearson (1% probabilidade de erro). Para o sítio 1, PS1 teve média do IPAd de 0,235 m, PS2 0,223 m, PS3 0,356 m. Para o sítio 2, PS1 teve média do IPAd de 0,381 m, PS2 0,360 m, PS3 0,300 m. Observou-se que alguns indivíduos cresceram pouco mais de 10 cm em um período de 40 anos, caracterizando baixa capacidade de incremento da espécie. A característica das curvas do crescimento em diâmetro das araucárias do sítio 1 identifica que alguns indivíduos de diâmetros inferiores destacam em crescimento inicial. Além disso, o incremento de 0,245 cm/ano para o sítio 1 pode indicar maior competição entre os indivíduos deste local, pois, a incidência de luz solar influencia no pleno desenvolvimento destes indivíduos. Para o sítio 2, observa-se um maior incremento em relação ao sítio 1, porém, esse valor tende a ser superior, principalmente, com a retirada de indivíduos com crescimento estagnado. Além disso, o estudo mostrou que IPAd está correlacionado com as características da copa, sendo elas, a altura de início de copa, comprimento de copa, percentual de copa e o grau de esbeltez.

Palavras-chave: Crescimento. Correlação. Manejo florestal.

CHAPTER 2
RELATIONSHIPS BETWEEN INCREASE AND MORPHOMETRIC VARIABLES
OF *Araucaria angustifolia* IN SANTA CATARINA

ABSTRACT

Know the rhythm of growth of forest species is of fundamental importance to reconcile production and conservation. The aim of the study was to model the annual increment in diameter (IPAd), as a function of the morphometric variables of *Araucaria angustifolia* at two sites sampled in the municipality of Sao José do Cerrito, using the dendrochronology and generalized linear models technique. The variables of 127 individual trees were measured, and rolls were added to increase the height of the Dap. Pearson's correlation (1% probability of error) was used to evaluate the correlation between variables and IPAd. For site 1, PS1 had mean IPAd of 0.235 m, PS2 0.223 m, PS3 0.356 m. For site 2, PS1 had IPAd media of 0.381 m, PS2 0.360 m, PS3 0.300 m. It was observed that some individuals grew little more than 10 cm in a period of 40 years, characterizing low capacity of increment of the species. The characteristic of the growth curves in diameter of the araucarias of site 1 identifies that some individuals of inferior diameters stand out in initial growth. Besides, the increase of 0.245 cm / year for site 1 may indicate greater competition among the individuals of this site, since the incidence of sunlight influences the full development of these individuals. For site 2, a greater increase is observed in relation to site 1, however, this value tends to be higher, mainly, with the withdrawal of individuals with stagnant growth. Besides, the study showed that IPAd is correlated with crown characteristics, being crown height, crown length, crown percentage and degree of slenderness.

Keywords: Growth. Correlation. Forest. Management.

2.2 INTRODUÇÃO

Avaliar o crescimento de espécies florestais é uma etapa importante para manejar a floresta visando à sustentabilidade do ecossistema. O crescimento das árvores, de acordo com Finger (2006), tem influência de características genéticas da espécie e da interação com as condições ambientais, como fatores climáticos, sendo estes: temperatura, precipitação, iluminação e nutrientes; aspectos do solo, ou seja, suas propriedades físicas, químicas e biológicas; atributos topográficos, inclinação, altitude e exposição; e também de competição exercida por outras espécies. Esses fatores podem influenciar a árvore de maneira isolada ou então o crescimento da floresta como um todo.

Além disso, Husch et al. (1982) afirmou que, a interação de todos esses fatores no crescimento das árvores retrata a qualidade do sítio. Dessa forma, um crescimento adequado e crescente, sugere um sítio de desenvolvimento apropriado, enquanto que um local onde o crescimento é afetado e possui índices menores, o sítio é considerado de menor qualidade.

O ritmo do crescimento, segundo Encinas et al. (2005), tem influência tanto de fatores ecológicos quanto fisiológicos, sendo o tempo um fator de maior efeito no crescimento, demonstrando assim a importância dos estudos para conhecer a idade das árvores, e o incremento.

A posição sociológica em que uma árvore pertence, conforme descreveu Assmann (1970), também influencia no seu crescimento e desenvolvimento. Em árvores dominantes, as quais sofrem pouca ou nenhuma concorrência, os valores de incremento, geralmente, são mais altos. Já para árvores em condição codominada ou dominada, expostas a intensa competição, há uma tendência em demonstrar índices menores de desenvolvimento e incremento.

Para Scolforo (2006), há distintas formas de expressar o crescimento, dentre elas: pelo incremento médio anual (IMA), que é a razão entre a produção a partir do ano zero e a idade de uma árvore ou da floresta; pelo incremento corrente anual (ICA), crescimento de determinada variável considerada dentro do período de um ano; incremento periódico (IP), que é o crescimento considerado durante um determinado período no tempo, podendo ser incremento periódico médio (IPM), diário (IPD), semanal (IPS), mensal (IPM), ou anual (IPA), sendo o último a média do crescimento da árvore ou da florestal numa escala temporal medida em anos.

Uma das técnicas utilizadas para conhecer as taxas de crescimento de espécies florestais é a dendrocronologia. Tem característica de ser precisa e rápida, a qual baseia-se no estudo dos anéis de crescimento das árvores, e recupera informações de crescimento. Além do mais, permite conhecer precisamente o comportamento do crescimento passado em função das mudanças ambientais que ocorreram, bem como, realizar uma análise do efeito que a idade propicia no crescimento florestal das espécies.

A análise de tronco (Anatro) é uma técnica que permite o registro do crescimento passado de uma árvore por meio da medição dos seus anéis de crescimento, além de possibilitar a realização de inferências sobre a produção futura da floresta (HUSCH et al., 1982; ENCINAS et al., 2005). Nesse contexto, há duas técnicas utilizadas para definir a idade das árvores utilizando a mensuração dos anéis de crescimento, através da Anatro completa (método destrutivo) ou Anatro incompleta (método não destrutivo).

O método destrutivo consiste na derrubada das árvores e no seccionamento dos troncos, obtendo-se discos (cubagem). Já o método não destrutivo, baseia-se na retirada de amostras do lenho (rolos), sem a necessidade da derrubada da árvore. Nesse último método citado, para retirar as amostras é utilizado um equipamento do tipo broca oca com extremidade afiada, conhecido como trado (CHAGAS, 2009; SILVA & PAULA NETO, 1979).

Silva e Paula Neto (1979) com a realização de vários estudos comprovaram que o método de análise dos anéis de crescimento prevê com precisão a idade das árvores. Além de ser importante no planejamento da produção florestal, pois a partir destes se pode prever o crescimento e rendimento de sítios locais para criar uma condição prévia de planejamento à administração de florestas em qualquer nível.

O desenvolvimento de um sistema de manejo adequado para *A. angustifolia*, aliado à identificação dos fatores que limitam o crescimento e produção, podem contribuir para o aumento do seu interesse econômico, assegurando a sustentabilidade por meio de equilíbrio entre a produção e conservação desse ecossistema.

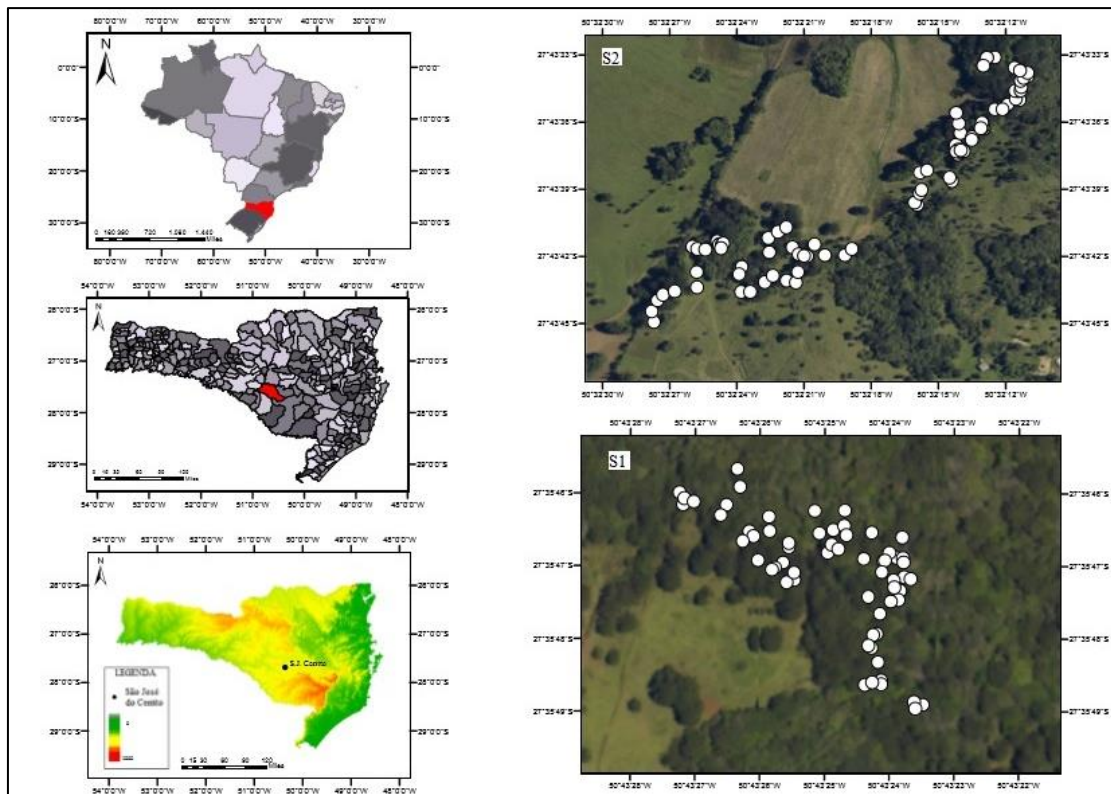
Deste modo, a hipótese baseia-se em que há influencia das variáveis morfométricas nas taxas de crescimento e no incremento periódico anual diamétrico de araucária. Portanto, o objetivo do estudo foi avaliar e correlacionar o IPAd de *A. angustifolia* com suas características morfométricas, identificando as taxas de crescimento dos indivíduos amostrados.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

2.3.1 Área de Estudo

Os dados foram coletados no município de São José do Cerrito em dois sítios amostrais de remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *A. angustifolia*, no planalto serrano do estado de Santa Catarina (Figura 5). Os solos da região são pouco profundos e caracterizados como Neossolos Litólicos e Cambissolos (IBGE, 2012).

Figura 5 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O clima característico do município, conforme Köppen é tipo Cfb, mesotérmico úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano, de precipitação média anual entre 1.300 e 1.500 mm na região, o município pertence à Bacia do Rio Canoas e do Rio Pelotas, de topografia, em sua maioria, suave-ondulada a forte ondulada (IBGE, 2012).

As florestas, de acordo com Hess et al. (2010; 2014), são nativas de características irregular inequidiana, identificadas sem manejo e intervenções silviculturais a cerca de 40 anos, sendo observada pouca regeneração natural.

O primeiro sítio amostral localizava-se em uma propriedade particular, próximo a pastagens, com terreno pouco ondulado e as árvores amostradas encontravam-se no interior da floresta.

Já o segundo sítio, tratava-se de uma propriedade pertencente ao Centro de Educação Profissional (Cedup) Caetano Costa, no município de São José do Cerrito, com terreno declivoso e a presença, em alguns pontos, de rochas expostas, parte dos indivíduos avaliados estavam em área adjacente a floresta, enquanto que os demais foram coletados no interior da floresta.

Para avaliar a suficiência amostral selecionou-se a variável diâmetro à altura do peito como base para a determinação do número mínimo de amostras (árvores), as quais seriam necessárias para abranger a variabilidade dimensional da floresta, conforme equação proposta por Péllico Netto e Brena (1997).

$$n = \frac{t^2 s_x^2}{E^2}$$

Em que: n= número de unidades amostrais a ser medido; t= valor de t de student tabelado; S_x^2 = variância; E = (LE * x), LE= limite do erro de amostragem admitido, x =média aritmética dos valores observados.

2.3.2 Coleta dos dados dendrométricos, morfométricos e de crescimento para *Araucaria angustifolia*

Para a análise do incremento de *Araucaria angustifolia* foram amostradas 127 árvores, distribuídas aleatoriamente, seguindo o parâmetro de estudo de árvores individuais, com intuito de abranger a amplitude diamétrica da floresta. De cada árvore foram mensuradas as seguintes variáveis:

- Diâmetro à altura do peito (Dap), primeiramente foi mensurado a Circunferência a altura do peito (Cap) com uma fita métrica, após foi obtido o Dap pela equação:

$$Dap = \frac{Cap}{\pi}$$

- Altura total (h), obtida através do hipsômetro TruPulse;
- Altura de inserção de copa (hic), medida em metros, da base do tronco até a altura do primeiro galho vivo, obtida com o hipsômetro TruPulse;

- Raio de copa (Rc), para obter o raio médio de copa foram considerados quatro raios nas posições cardeais: N, S, L, O, com o uso da bússola e posteriormente, para a mensuração dos quatro raios foi utilizado o hipsômetro TruPulse;
- Comprimento de copa (Cc), calculado em metros pela diferença entre a altura total e a altura de início de copa:

$$Cc = h - h_{ic}$$

- Diâmetro de copa (Dc), calculado em metros utilizando o raio médio de copa (Rm), obtido a partir dos quatro raios:

$$Dc = Rm \times 2$$

- Índice de abrangência (IA), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e a altura da árvore:

$$IA = \frac{Dc}{h}$$

- Índice de saliência (IS), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito da árvore:

$$IS = \frac{Dc}{D_{ap}}$$

- Grau de esbeltez (GE), calculado pela razão entre a altura total das árvores e o diâmetro à altura do peito:

$$GE = \frac{h}{D_{ap}}$$

- Formal de copa (Fc), calculado pela razão entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa:

$$Fc = \frac{Dc}{Cc}$$

- Posição sociológica (PS): avaliada visualmente classificando: P1 para árvores dominantes, P2 para codominantes e P3 para dominadas.

- Percentual de copa (Pc%): adquirida pela razão entre comprimento de copa e a altura total das árvores, e posteriormente multiplicado por 100, obtendo o valor percentual:

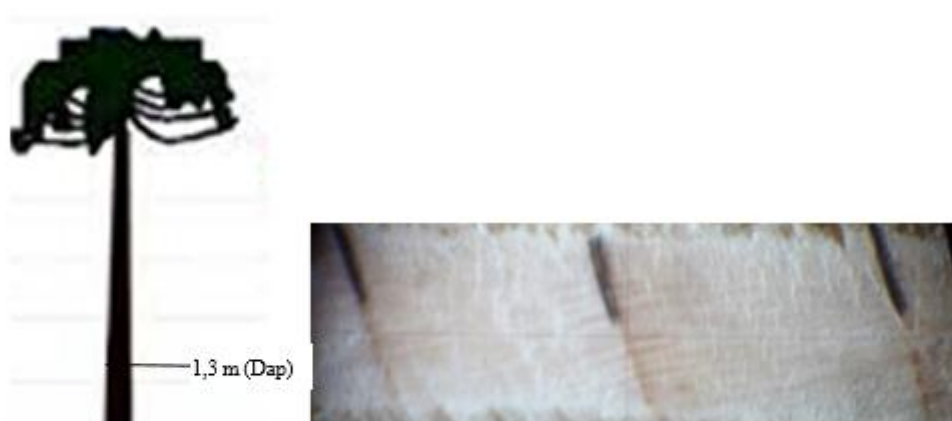
$$Pc\% = \frac{Cc}{h} \times 100$$

Para definir o incremento diamétrico da *A. angustifolia* foi empregado a análise parcial de tronco pelo método não destrutivo, no qual foram coletados rolos de incremento de cada indivíduo, utilizando o trado de Pressler. Para cada indivíduo amostrado, foram

retiradas duas amostras perpendiculares entre si na altura de 1,3 m do nível do solo, obtendo com isso a média dos anéis de crescimento em cada ano, facilitando assim a identificação da presença de anéis falsos.

Posterior à retirada dos rolos de incremento das árvores, estes foram alocados em suportes de madeira identificados e fixados com cola apropriada, para impedir defeitos no momento da secagem, como por exemplo, o empenamento. Para a secagem, as amostras ficaram expostas ao ar livre, por aproximadamente uma semana. Após, foram lixadas com uma lixadeira elétrica, para possibilitar a melhor visualização e demarcação do limite dos anéis de crescimento (Figura 6).

Figura 6 - Demonstração do ponto de retirada dos rolos de incremento e demarcação dos anéis de crescimento para *Araucaria angustifolia*.



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

As larguras dos anéis de cada amostra foram medidas com o aparelho de medição de anéis de crescimento *Lintab 6*, com precisão de 0,0001 mm. As medidas obtidas foram registradas no programa *Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. A datação dos anéis de crescimento foi realizada no *software Microsoft Excel*, através da análise visual dos gráficos, os quais relacionam a largura do anel com o ano correspondente.

Assim, foi calculada a média aritmética entre as larguras dos anéis de crescimento dos dois rolos de incremento amostrados para cada árvore, obtendo o valor do incremento absoluto em diâmetro.

2.3.3 Análise de dados

Para a análise dos dados foi utilizado ambos os *softwares MS Excel e Statistical Analysis System* (SAS, 1999). Entre o Incremento Periódico Anual diamétrico (IPAd) e variáveis dendrométricas e morfométricas foi estabelecida a correlação linear simples de Pearson, considerando-se significância a 1% de probabilidade de erro.

Para obtenção do IPAd, foram considerados apenas os últimos dez anos de crescimento, para este cálculo foi utilizada a seguinte expressão:

$$\text{IPAd} = (\text{DAP}_{2014} - \text{DAP}_{2004})/10 \quad (1)$$

Onde: IPAd = Incremento Periódico Anual diamétrico em centímetros; DAP_{2004} = diâmetro à altura do peito no ano de 2004 em centímetros; DAP_{2014} = diâmetro à altura do peito no ano de 2014 em centímetros.

Foram ajustadas equações pela técnica de modelos lineares generalizados (MLG), pois, o conjunto de dados não atendeu as condicionantes de regressão, sendo elas normalidade, independência do erro e homogeneidade da variância. Para os MLGs, testaram-se os campos aleatórios, Normal e Gama, utilizando-se as funções de ligação identidade e logarítmica.

Os critérios de ajuste para MLGs são avaliados através do desvio e critério de Akaike (AIC) conforme Paula (2010), sendo que quanto menor esses valores, melhor o ajuste do modelo. Na comparação dos modelos também foi empregado o Critério de Informação Bayesiano (BIC), o qual consiste na seleção do modelo que exibir o menor valor de BIC. Além disso, a análise gráfica dos resíduos também foi utilizada como critério de seleção.

A partir da análise de correlação de Pearson das variáveis dendrométricas e morfométricas com o IPAd, o modelo para o ajuste das equações foi determinado conforme a expressão:

$$Y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + b_3.x_3 + b_4.x_4 \quad (2)$$

Em que: Y: Incremento Periódico Anual diamétrico (cm/ano); x_1 : altura de início de copa (m); x_2 : comprimento de copa (m); x_3 : percentual de copa (%); x_4 : grau de esbeltez; b_0, b_1, b_2, b_3 e b_4 : coeficientes.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1 Incremento periódico anual diamétrico de *Araucaria angustifolia*

A Tabela 6 apresenta as informações referente ao IPAd em cada posição social amostradas nos dois sítios.

Tabela 6 - Valores mínimos, máximos e médios para IPAd de *Araucaria angustifolia* nos sítios amostrados e nas diferentes posições sociais

Sítio	Posição Sociológica	Mínimo	Máximo	Média
S1	PS1	0,070	0,487	0,235
	PS2	0,073	0,460	0,223
	PS3	0,183	0,515	0,356
S2	PS1	0,115	0,766	0,381
	PS2	0,169	0,609	0,360
	PS3	0,193	0,452	0,300

Onde: IPAd: Incremento Periódico Anual diamétrico (cm/ano); PS1: árvores dominantes; PS2: árvores codominantes; PS3: árvores dominadas; S1: sítio 1; S2: sítio 2. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Para o sítio 1 observa-se que a média do IPAd foi maior em árvores PS3, indicando que mesmo sofrendo competição dos indivíduos maiores, ainda há um ritmo de crescimento acelerado, pois caracterizam-se em árvores jovens, sendo que, a futura abertura de espaço poderá favorecer seu desenvolvimento. As árvores que estão em PS1, demonstram um ritmo de crescimento mais lento, ou seja, seu crescimento pode estar estagnado, devido a fatores limitantes do sítio e também por atingir a capacidade máxima de desenvolvimento.

Já para o sítio 2, as maiores médias de IPAd foram para as árvores PS1, e menores para árvores PS3, onde a competição de indivíduos maiores, afetou seu crescimento. Árvores PS1 apresentaram incrementos maiores, porém, quando se compara com pesquisas já realizadas com a espécie, verifica-se que esse incremento foi inferior, sendo que as condições de sítio e a menor disponibilidade de recursos influenciam na menor taxa de incremento.

Mattos et al. (2007), analisaram o potencial de seis espécies da Floresta Ombrófila Mista em Candói (PR). Para *A. angustifolia* considerando IPAd dos últimos dez anos, encontraram valor médio de 0,9 cm/ano, valor máximo de 1,3 cm/ano e o mínimo de 0,5 cm/ano. Assim, observa-se que o comportamento do incremento de *A. angustifolia*

apresenta maiores taxas nos primeiros anos de idade e após apresenta valores menores de incremento.

Do mesmo modo, Loiola (2016), avaliou o crescimento em diâmetro para *A. angustifolia* em três municípios do planalto catarinense e determinou um período de inflexão no crescimento, isso indica que a espécie possui rápido desenvolvimento inicial. Entretanto, a partir de determinada idade alguns indivíduos atingem sua capacidade máxima de suporte em crescimento. Assim, esse seria o momento de intervir na floresta, ou seja, submeter a retirada de alguns indivíduos.

Ricken (2014) encontrou um valor médio de IPAd de 0,458 (cm/ano). Assim, baixos incrementos são influenciados, além das condições do sítio, por situações de competição que podem estar submetidos. A autora ainda destaca que o IPAd teve uma correlação negativa com os índices de competição avaliados. Isso demonstra que quanto maior for a competição entre os indivíduos, menor será o incremento da árvore.

Estudos revelam uma amplitude de idade técnica de rotação para a espécie entre 20 a 50 anos, levando em consideração as altas taxas de crescimento inicial e a estabilização do crescimento em idades mais avançadas, assim, seriam necessárias intervenções que assegurem a implantação de planos de manejo florestal sustentável para a espécie (HESS, 2009; MATTOS, 2011; MINATTI, 2015).

Para avaliar a correlação do IPAd com as variáveis dendrométricas e morfométricas, foi realizada a Correlação de Pearson (1%) (Tabela 7). O IPAd apresentou correlação significativa com a *hic*, *Cc*, *Pc%* e *GE*.

Tabela 7 - Correlação de Pearson e probabilidades para a relação do IPAd com as variáveis dendrométricas e morfométricas de *Araucaria angustifolia* no Planalto Catarinense.

	IPAd	Dap	h	hic	Cc	Pc%	Dc	IA	IS	GE
IPAd	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dap	0,08 ^{ns}	1	-	-	-	-	-	-	-	-
h	-0,16 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1	-	-	-	-	-	-	-
hic	-0,43*	0,04 ^{ns}	0,61*	1	-	-	-	-	-	-
Cc	0,32*	0,20 ^{ns}	0,41*	-0,47*	1	-	-	-	-	-
Pc%	0,46*	0,08 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,84*	0,85*	1	-	-	-	-
Dc	0,06 ^{ns}	0,88*	0,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1	-	-	-
IA	0,11 ^{ns}	0,77*	-0,28*	-0,22 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,91*	1	-	-
IS	-0,05 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,28*	-0,10 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,27*	0,33*	1	-
GE	-0,28*	-0,82*	0,15 ^{ns}	0,27*	-0,15 ^{ns}	-0,24*	-0,77*	-0,79*	0,10 ^{ns}	1
Fc	-0,03 ^{ns}	0,39*	-0,16 ^{ns}	0,32*	-0,55*	-0,52*	0,54*	0,59*	0,32*	-0,39*

Onde: IPAd: incremento periódico anual diamétrico; Dap: diâmetro à altura do peito (cm); h: altura total (m); hic: altura de início de copa (m); Cc: comprimento de copa (m); Pc%: Percentual de copa (%); Dc: diâmetro de copa (m); IA: Índice de abrangência; IS: Índice de saliência; GE: Grau de esbeltez; Fc: Formal de copa; *: Significativo a 1% de probabilidade de erro; ^{ns}: não significativo. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

As variáveis correlacionadas com o IPAd, são influenciadas pelas características das copas dos indivíduos amostrados, ou seja, copas amplas, com um comprimento de copa maior, bem como um maior percentual de copa, proporcionam um acréscimo no IPAd para a espécie.

Correlações significativas entre o IPAd e variáveis de copa também foram encontradas por Vuaden (2013) para *Cordia trichotoma*. Loiola (2016) e Costa (2015) apresentaram em ambos os estudos que o percentual de copa influenciou no incremento periódico anual em área basal (IPAg) de *A. angustifolia*.

Na modelagem do IPAg de *Cedrela odorata*, Cunha et al. (2013), também utilizaram variáveis de copa, sendo que, as alterações foram melhor descritas pelas características da copa. Os autores ressaltam que as variáveis de copa são eficientes para a predição do crescimento com precisão e confiança da modelagem.

Ao estudar o IPAg de araucária na região de Lages (SC), Costa et al., (2015), obteve correlação positiva entre as variáveis e empregou na modelagem a porcentagem de copa como variável de dimensão da copa em árvores dominantes e como variável de tamanho o Dap.

Assim, o desempenho do crescimento para a espécie é explicado pelas variações morfológicas da copa, pois, conforme Klein (1965), essas modificações na copa são influenciadas pela competição.

Os coeficientes e as estatísticas do Ipad com as variáveis morfométricas obtidas do ajuste através dos Modelos Lineares Generalizados são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores dos ajustes de MLG para as relações entre o Ipad e as variáveis morfométricas de *Araucaria angustifolia*

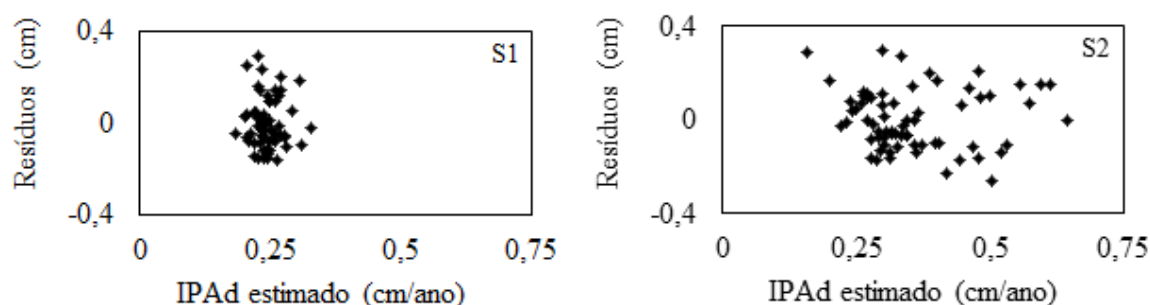
	Parâmetros	Distribuição	Função de ligação	AIC	BIC	Desvio
Sítio 1	b_0	0,2876				
	b_1	-0,0762* <i>hic</i>				
	b_2	0,2002* <i>Cc</i>	Normal	Logarítmica	-83,5255	-74,2699
	b_3	-0,0518* <i>Pc%</i>				
	b_4	-0,0048* <i>GE</i>				
Sítio 2	b_0	-1,7274				
	b_1	0,0031* <i>hic</i>				
	b_2	0,009* <i>Cc</i>	Normal	Logarítmica	-77,2911	-67,1613
	b_3	0,0169* <i>Pc%</i>				
	b_4	-0,0044* <i>GE</i>				

Onde: Ipad: incremento periódico anual diamétrico; hic: altura de início de copa; Cc: comprimento de copa; Pc%: percentual de copa; GE: grau de esbeltez; BIC: critério bayesiano; AIC: critério de Akaike. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O ajuste de Ipad com as variáveis morfométricas através do MLG tanto para o sítio 1 quanto para o sítio 2, mostrou que a distribuição normal com função de ligação logarítmica foi a que melhor representou o conjunto de dados, representado pelos menores valores de Desvio, AIC e BIC.

A Figura 7 apresenta a distribuição dos resíduos para o valor estimado de Ipad, conforme o modelo gerado pelo MLG, onde observa-se que os modelos apresentaram bom ajuste para os dados.

Figura 7 - Distribuição dos resíduos para o MLG das relações entre o IPAd e as variáveis morfológicas de *Araucaria angustifolia*



Onde: IPAd: incremento periódico anual diamétrico; S1: sítio 1; S2: sítio 2. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A morfometria da copa no IPAd dos indivíduos amostrados é influenciada pelo desenvolvimento da copa e quanto maior o espaço ocupado, o incremento também é favorecido.

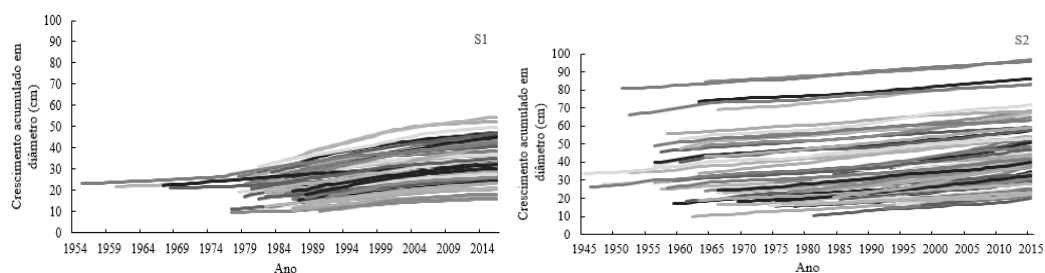
Costa (2011) em estudo com *A. angustifolia* no município de Lages (SC), obteve correlação entre o IPAg e mais onze variáveis, sendo, dentre elas, o comprimento de copa, percentual de copa e grau de esbeltez. Para o autor quando a morfometria da árvore está relacionada às características da copa, estas podem ser utilizadas para estimar o crescimento com maior precisão e confiabilidade.

Durlo (1996) mostrou que as características de copa influenciam diretamente no crescimento de uma espécie, o autor retrata ainda que o percentual de copa de uma árvore também indica a situação de competição em que está submetida, sendo que o desenvolvimento de um indivíduo é influenciado, principalmente, por características do sítio e a competição imposta na floresta. Para Curto (2015), a taxa de crescimento em diâmetro é determinada pelo espaço de crescimento de que a árvore possui, sendo este espaço limitado pelas árvores vizinhas.

2.4.2 Incremento acumulado em diâmetro

A Figura 8 apresenta os dados de incremento anual acumulado em diâmetro sem ajuste de modelo matemático. As linhas indicam os valores de incremento, os quais foram traçados individualmente para cada sítio e árvore amostradas.

Figura 8 - Incremento anual acumulado em diâmetro nos dois sítios amostrados para *Araucaria angustifolia*



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A característica das curvas do crescimento em Dap das araucárias do sítio 1 identificam que alguns indivíduos de diâmetros inferiores destacam em crescimento inicial, os quais atingem de 20 a 30 cm em um período de 30 anos, caracterizando um crescimento aproximadamente de 1 cm/ano.

Entretanto, observa-se que algumas árvores cresceram pouco mais de 10 cm em um período de 40 anos, caracterizando baixa capacidade de incremento da espécie. A retirada de alguns indivíduos, como árvores mais velhas que já estagnaram seu crescimento, pode favorecer o potencial de desenvolvimento em indivíduos que estão sofrendo com competição de outras árvores.

Além disso, o incremento de 0,245 cm/ano para o sítio 1 pode indicar maior competição entre os indivíduos deste local, pois, a incidência de luz solar influencia no pleno desenvolvimento destes indivíduos. Para o sítio 2, observa-se um maior incremento em relação ao sítio 1, porém, esse valor tende a ser superior, principalmente, com a retirada de indivíduos com crescimento estagnado.

A araucária, conforme Hess et al. (2009), caracteriza-se, com uma idade técnica de rotação de 30 a 35 anos, sendo esse o período apropriado para realizar intervenções na floresta, visando manejo adequado para a densidade dessa espécie. Já em estudos realizados por Minatti (2015), o ápice do crescimento da araucária culmina em uma idade que varia entre 35 a 50 anos, sendo que, o período inicial de desenvolvimento exhibe maiores taxas de crescimento com rápida inflexão da curva de crescimento.

Assim, Loiola (2016) afirma que árvores maiores e com acréscimo na idade influencia na diminuição do incremento em diâmetro, sendo necessárias intervenções para manejo adequado da espécie, para que assim, a produção e o crescimento das árvores que

se encontram na fase juvenil de desenvolvimento sejam favorecidos, além de beneficiar a regeneração da espécie na floresta.

2.5 CONCLUSÕES

Os valores de IPAd encontrados para *A. angustifolia* ficaram abaixo da média de outros estudos realizados com a espécie no estado. Essa característica está interligada a fatores como competição imposta na floresta por indivíduos de maiores dimensões, e também pela menor taxa de incremento em indivíduos de maior idade.

Além disso, o estudo mostrou que o incremento periódico anual diamétrico está correlacionado com as características da copa, sendo elas, a altura de início de copa, comprimento de copa, percentual de copa e o grau de esbeltez.

A partir destas variáveis morfométricas que caracterizam as dimensões da copa, foi possível descrever um modelo que estima o IPAd para *A. angustifolia* nos sítios amostrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSMANN, E. **Waldertragskunde**. Bayr. Landw. Verlag. München. 1961. 490 p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506p.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.
- CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, v. 82: p. 1460-1472, 2001.
- CORDEIRO, G.M.; LIMA NETO, E.A. **Modelos Paramétricos**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Estatística e Informática, 94p. 2006.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas no incremento diamétrico de *Araucária Angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC**. Dissertação (Mestrado). 148f. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; MARANGON G. P.; CUBAS, R.; LONGHI, R. V. Relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. **In...** Simpósio Brasileiro de Pós-graduação em Ciências Florestais. Recife-PE, p. 696-700, 2014.
- CURTO, R. de A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 251f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2015.
- HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. **Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, TU Wien. Band 8, 152 p. 1994.
- HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung** 4: 216-218. 1995.
- HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de Liocourt, Município de Painel, SC. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014.

HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIÁK, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2014. **Cidades**. 13 p. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: maio de 2016.

KAPS, M.; LAMBERSON, W. R. **Biostatistics for Animal Science**. CABI Publishing, London, UK, 2004.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze., em Tijucas do Sul, estado do Paraná**. Tese de Doutorado. 130f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 2009.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre unos métodos para el Análisis Estructural de los bosques tropicales. **Acta Científica Venezolana**, 13 (2): 57-65, 1962.

LOIOLA, T. M. **Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no sul do Brasil com base no incremento diamétrico**. Dissertação de Mestrado. 136f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2016.

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

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 105f. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto**

Serrano, SC. Dissertação de Mestrado. 129f. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages – SC. 2015.

NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. do M.; FIGUEIREDO, D. J. AUGUSTYNCZIK, A.L.D.; CAVALHEIRO, R. Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*. **Nota científica**. Colombo, v.30, n.64, p.369-374, 2010.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2001, p. 9-25.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf. Acesso em: maio de 2016.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Edição do autor, 1997. 316 p.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung. **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, n. 114, p. 188-209, 1995.

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

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. S.. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula - RS. **In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012**

SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGLIN, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 103-114, 2013.

SCHMITZ, P.I.; NOVASCO, R. V. Arqueologia no planalto: o uso do SIG na aplicação de análises espaciais dos sítios arqueológicos da localidade Boa Parada, Município de São José do Cerrito, SC. **R. Museu Arq. Etn.**, São Paulo, n. 21, p. 167-183, 2011.

SCHNEIDER, P.R.. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: UFSM,CEPEF, 1998. 236 p.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. TU Wien: Universität für Bodenkultur, 1992. 160p.

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados – da teoria à prática**. Universidade de Lisboa, 2000 Disponível em: <http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf>. Acesso em maio de 2016.

ZECHINI, A. A. **Morfometria, produção, fenologia e diversidade genética: subsídios para conservação da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze e coleta sustentável do pinhão no planalto catarinense**. Dissertação (mestrado). 191f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2012.

CAPÍTULO 3

COMPARAÇÃO ENTRE MENSURAÇÃO A CAMPO E COM DADOS TLS DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS PARA *Araucaria angustifolia* EM SANTA CATARINA

RESUMO

Novas tecnologias na área florestal são importantes, pois favorecem o uso de ferramentas que auxiliam e aprimoram métodos de análise e quantificação da floresta e também de determinadas espécies. Assim, o objetivo do estudo foi comparar as medições realizadas com a tecnologia Varredura Laser Terrestre (TLS) e os dados obtidos através da mensuração pelos métodos tradicionais para *Araucaria angustifolia*, em 18 indivíduos da espécie em um sítio amostral no município de São José do Cerrito, localizado no Planalto Sul Catarinense. Foram amostradas variáveis como diâmetro a altura do peito (Dap), altura total (h) e diâmetro de copa (Dc), obtido através da média da medição de quatro raios de copa, pelo método tradicional, utilizando fita métrica e aparelho hipsômetro. Em campo também foram coletadas as nuvens de pontos correspondentes as árvores pelo equipamento *Laser scanner* terrestre, o registro e processamento dessas informações foram realizadas com auxílio do programa Faro Scene e CloudCompare. Foram ajustadas seis equações hipsométrica e quatro modelos de Dc em função do Dap para o conjunto de dados e as médias das variáveis foram submetidas ao teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade executadas no software Assistat 7.7. A comparação entre as médias das variáveis dendrométricas e morfométricas, pelos métodos de mensuração, não apresentaram diferença significativa entre si. O modelo hipsométrico selecionado foi de Stoffels e para o Dc foram selecionadas as equações de Durlo (2001) e Orellana e Koehler (2008). Os resultados amostrados pela tecnologia *Laser scanner* terrestre são promissores para o setor florestal, porém, as metodologias propostas em literatura estão suscetíveis a falhas, principalmente, pela influência de pontos que não correspondem a superfície da árvore, caracterizando uma das principais dificuldades para aplicação desse método na área florestal, demonstrando assim, a necessidade de estudos que viabilizem a técnica para diferentes espécies e tipologias florestais.

Palavras-chave: Varredura laser terrestre. Morfometria. Manejo florestal.

CHAPTER 3

COMPARISON BETWEEN FIELD MEASUREMENT AND TLS DATA OF DENDROMETRIC AND MORPHOMETRIC VARIABLES FOR *Araucaria* *angustifolia* IN SANTA CATARINA

ABSTRACT

New technologies in the forest area are important because they favor the use of tools that help and improve methods of analysis and quantification of the forest and also of certain species. Thus, the objective of the study was to compare the measurements performed with the Terrestrial Laser Scanner (TLS) technology and the data obtained by measuring the traditional methods for *Araucaria angustifolia*, in 18 individuals of the species in two sites in the municipality of São José do Cerrito, located in the Planalto Catarinense. Variables such as diameter of chest height (Dap), total height (h) and cup diameter (Dc), obtained through the average of four canopy rays, were measured using the traditional method using a measuring tape and a hypsometer apparatus. In the field were also collected the clouds of points corresponding to the trees by the equipment Laser scanner terrestrial, the registration and processing of this information were realized with the help of the program Faro Scene and CloudCompare, for the measurements was used manual form in the program CloudCompare. Six hypsometric equations and four Dc models were adjusted as a function of the Dap for the data set and the means of the variables were submitted to the Tukey test at the 5% probability level performed in the Assistat 7.7 software. The comparison between the means of the dendrometric and morphometric variables, by the methods of measurement, did not present a significant difference between them. The hypsometric model selected was from Stoffels and for Dc the equations of Durlo (2001) and Orellana and Koehler (2008) were selected. The results obtained by the laser scanner are promising for the forest sector, but the methodologies proposed in literature are susceptible to failures, mainly due to the influence of points that do not correspond to the surface of the tree, characterizing one of the main difficulties to apply this method In the forest area, thus demonstrating the need for studies that make feasible the technique for different species and forest typology.

Keywords: Terrestrial laser scanner. Morphometry. Forest management.

3.1 INTRODUÇÃO

Terrestrial Laser Scanner ou Varredura *Laser* Terrestre (TLS) é uma tecnologia usada para determinar distâncias de alta precisão em relação a objetos. O resultado dessas varreduras, consiste uma densa nuvem tridimensional de pontos (LICHTI; PFEIFER e MAAS, 2008).

Os dados obtidos a partir dos sistemas de varreduras, segundo Leonardo da Vinci (2008), são fundamentados no processo em que a superfície é varrida empregando a tecnologia *Laser*. A partir dessa técnica é possível analisar o ambiente para a coleta de dados, onde são observados os aspectos dos objetos e sua geometria.

Conforme Silva et al. (2013), após à coleta de dados com *Laser* têm-se as referências espaciais de cada ponto (coordenadas X, Y, Z), a intensidade do sinal e um valor de cor (RGB), apesar de serem dados brutos é possível a extração de informações importantes dependendo do objetivo do estudo. Com a varredura *Laser* é possível obter em reduzido período de tempo, um amplo número de pontos com precisão milimétrica.

Novas tecnologias para o setor florestal são importantes para aprimorar métodos de análise e quantificação de uma floresta ou determinada espécie. Martins Neto (2016) destacou que, a técnica *Laser* permite obter informações tridimensionais das florestas. Além disso, o processamento da nuvem de pontos reconhece a estrutura da floresta com a extração precisa das variáveis dendrométricas e morfométricas, relacionando com os procedimentos tradicionais de mensuração florestal.

O uso da varredura *Laser* tem-se mostrado uma importante ferramenta para a área florestal, pois, conforme citaram Lichti et al. (2002), este equipamento apresenta grande potencial na determinação de parâmetros dendrométricos (diâmetros em diferentes alturas e altura total).

Conforme estudos realizados com essa tecnologia, a região do tronco das árvores é melhor caracterizada pela nuvem de pontos na amostragem das imagens obtidas pelo *Laser*, assim é possível obter estimativas de variáveis morfométricas a partir de informações do diâmetro. Pois, segundo Orellana e Koehler (2008), variáveis como altura total, altura de copa e diâmetro de copa podem ser correlacionadas com o diâmetro das árvores.

Os dados obtidos a partir do *Laser* terrestre permitem a visualização do dossel em 3D, bem como, sintetizar e quantificar a distribuição espacial dos componentes da árvore,

além de minimizar a exigência de métodos destrutivos para a análise de fatores na ecologia florestal e gestão de recursos (COTÊ et al., 2011).

Além disso, os resultados referentes a arquitetura da árvore, para Cotê et al (2011), apresentaram-se satisfatórios, extraíndo de forma exata os dados de diâmetro à altura do peito, a quantidade de biomassa de copa e a distribuição vertical dos componentes das árvores. Porém, o mesmo ressalta que a qualidade da coleta de dados e o tipo de vegetação influenciam nos resultados, sendo que, o *Laser* possui uma abrangência geral e não específica da estrutura.

Assim, a identificação dos dados TLS devem ser manuseados de maneira cautelosa, pois, retratam a totalidade de pontos que se encontram no campo de visada do equipamento, ou seja, a varredura de uma árvore apresentará outras informações como galhos, pontos de solo e vegetação de sub-bosque. Entretanto, Lingnau et al. (2009) afirmaram que é possível realizar manualmente a identificação e isolamento, através de softwares de visualização da nuvem de pontos, sobretudo, quando se trabalha com indivíduos e não com parcelas.

A fim de avaliar a qualidade dos resultados dendrométricos obtidos com o processamento da nuvem de pontos realizados pela varredura múltipla de um indivíduo de araucária, Silva et al. (2011) encontraram valores superestimados para altura total e diâmetro. No entanto, o Dap da árvore mostrou-se próximo a aquele obtido pela aferição com fita métrica. Deste modo, o autor comenta a dificuldade da coleta em indivíduos/povoamentos com alta densidade e entre posição de copas, atentando-se também ao posicionamento do aparelho para resultados mais precisos.

Em um estudo realizado por Martins Neto et al. (2013), com o objetivo de realizar varredura com *Laser* terrestre para mensurar as variáveis dendrométricas de uma árvore de *Eucalyptus grandis*, verificou-se a eficiência na estimativa do Dap e altura total, além de outras características dendrológicas como hábito, porte, aspectos de copa, fuste e ritidoma. Porém, o autor cita que a ramificação e a identificação das folhas foram comprometidas pela falta de dados na parte superior do tronco e também pela tecnologia não fornecer esses dados de maneira específica.

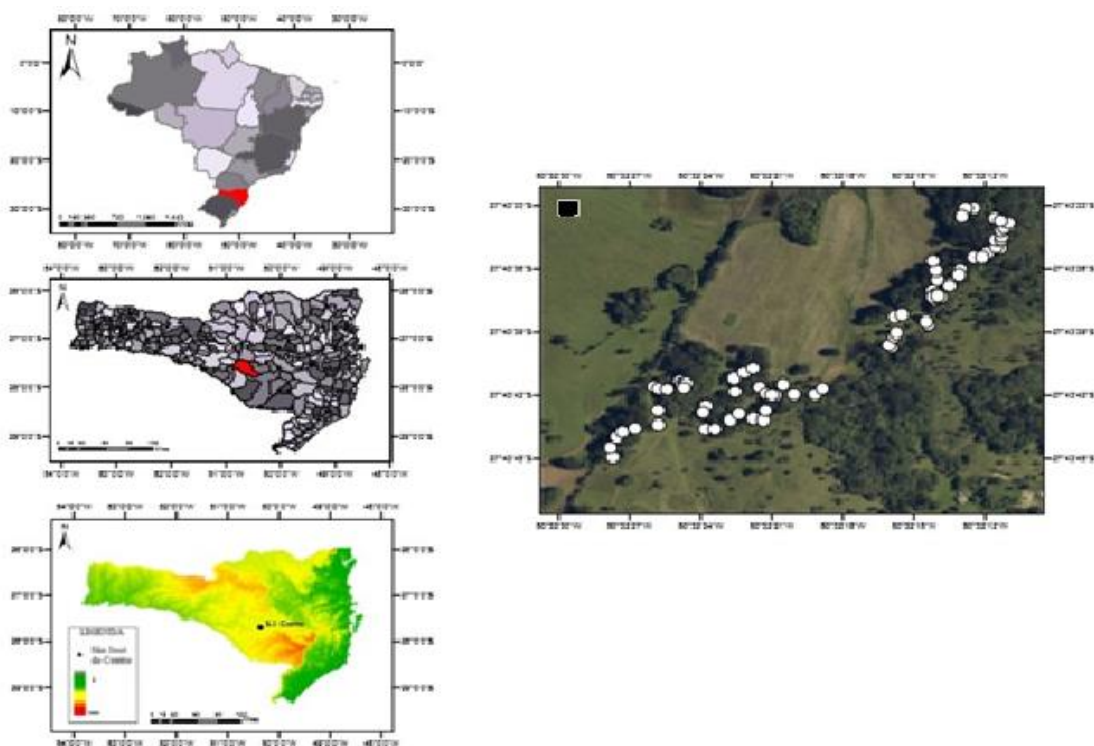
O trabalho fundamenta-se na hipótese que há possibilidade em realizar medições de variáveis morfométricas em imagens geradas pelo *Laser Scanner*. Assim, o estudo tem por objetivo comparar as medições realizadas com a tecnologia Varredura *Laser* Terrestre (TLS) com as medidas dendrométricas tradicionais, utilizando fita métrica e hipsômetro.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de Estudo

Os dados foram coletados no município de São José do Cerrito, em um sítio pertencente a remanescente de Floresta Ombrófila Mista Montana, com ocorrência natural de *A. angustifolia*, no planalto serrano do estado de Santa Catarina (Figura 10). Os solos da região são pouco profundos e caracterizados como Neossolos Litólicos e Cambissolos (IBGE, 2012).

Figura 9 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O clima característico do município, conforme Köppen é tipo Cfb, mesotérmico úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano, com precipitação média anual entre

1.300 e 1.500 mm na região. O município pertence à Bacia do Rio Canoas e do Rio Pelotas, de topografia, em sua maioria, suave-ondulada a forte ondulada (IBGE, 2012).

As florestas, de acordo com Hess et al. (2010; 2014), são nativas de características irregular inequidante, identificadas sem manejo e intervenções silviculturais a cerca de 40 anos, sendo observada pouca regeneração natural.

O sítio amostral onde se coletou os dados com a estação *Laser*, tratava-se de uma propriedade pertencente ao Centro de Educação Profissional (Cedup) Caetano Costa, do município de São José do Cerrito, com terreno declivoso e a presença, em alguns pontos, de pedregosidade, parte dos indivíduos avaliados estavam em área adjacente à floresta, enquanto que os demais foram coletados no interior da floresta.

3.2.2 Coleta dos dados dendrométricos e morfométricos

As variáveis de *A. angustifolia* coletados em campo, através dos métodos tradicionais de mensuração foram:

- Diâmetro à altura do peito (Dap), primeiramente foi mensurado a Circunferência a altura do peito (Cap) com uma fita métrica, após foi obtido o Dap pela equação:

$$Dap = \frac{Cap}{\pi}$$

- Altura total (h), obtida através do hipsômetro TruPulse;
- Altura de inserção de copa (hic), medida em metros, da base do tronco até a altura do primeiro galho vivo, obtida com o hipsômetro TruPulse;
- Raio de copa (Rc), para obter o raio médio de copa foram considerados quatro raios nas posições cardeais: N, S, L, O, com o uso da bússola e posteriormente, para a mensuração dos quatro raios foi utilizado o hipsômetro TruPulse;
- Comprimento de copa (Cc), calculado em metros pela diferença entre a altura total e a altura de início de copa:

$$Cc = h - hic$$

- Diâmetro de copa (Dc), calculado em metros utilizando o raio médio de copa (Rm), obtido a partir dos quatro raios:

$$Dc = Rm \times 2$$

- Área de copa (Ac): calculado em metros utilizando diâmetro de copa (Dc):

$$Ac = (\pi \times Dc^2)/4$$

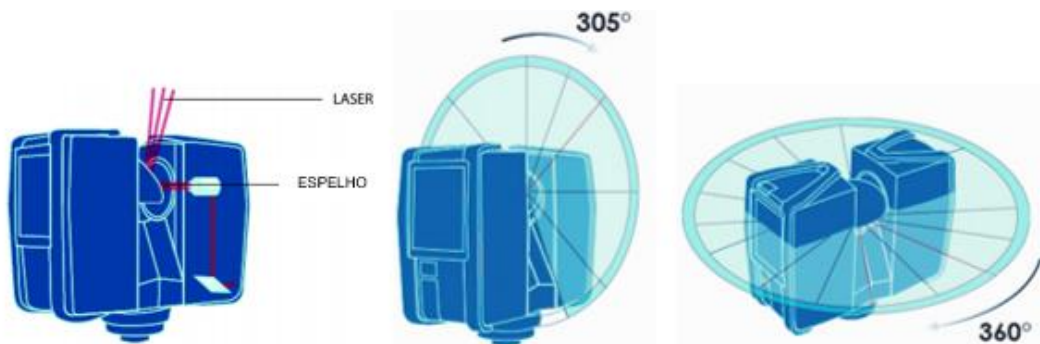
3.2.3 Aquisição de dados por Varredura *Laser* Terrestre (TLS)

Foram coletadas informações de 18 árvores de *A. angustifolia*, utilizando o equipamento *Laser scanner* terrestre FARO FOCUS 3D S120.

Este equipamento realiza captura de objetos em uma gama de 0,6 m a 120 m, e com alta velocidade de medição com um máximo de 976.000 pontos de medição por segundo. As nuvens de pontos capturados e imagens são armazenadas em cartão de memória, sendo facilmente transferidos para um computador, sua fonte de alimentação é através de uma bateria interna ou uma fonte de energia externa (Laser scanning Europe, 2016).

O *Laser scanner* terrestre possui um sistema de varredura estática, suas medições consistem em intervalos de tempo transcorrido desde o momento da emissão do pulso *Laser* até o retorno do mesmo. Através do espelho de varredura estes pulsos são gerados e emitidos, direcionando o *Laser* pelas janelas de abertura situadas na parte frontal e superior do equipamento (Figura 10).

Figura 10 - Representação da visada de campo do *Laser scanner* terrestre



Fonte: FARO, 2011

Nas medições a campo, o equipamento *Laser scanner* é instalado sob um tripé topográfico, o controle e armazenamento ocorrem diretamente no aparelho. Para garantir a junção das nuvens de pontos, em varreduras múltiplas, em um mesmo sistema de coordenadas, e também para recobrir o objeto de interesse, são instalados alvos, os quais

caracterizam-se como acessórios que atuam em conjunto com a estação *Laser*, no estudo utilizaram-se alvos do tipo esferas e tabuleiros, conforme destacado na Figura 11.

Figura 11 - Identificação dos alvos utilizados a campo para varredura *Laser*

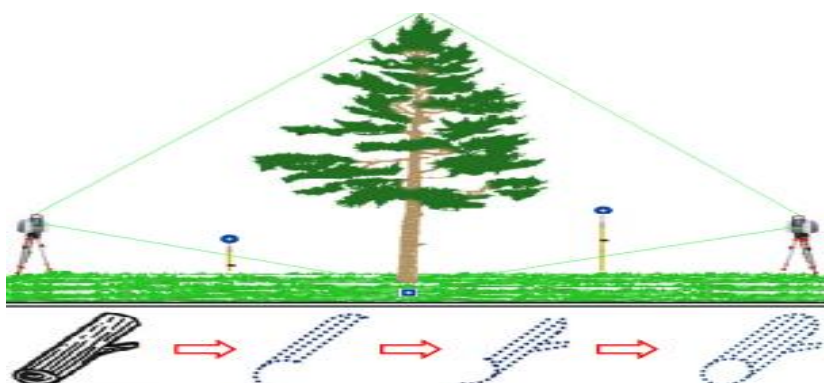


Onde: As elipses indicam os alvos utilizados para o registro das observações.

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Os dados obtidos com o *Laser* foram amostrados através de varredura múltipla, a qual, segundo Thies & Spiecker (2004), consiste em uma coleta com mais de um ponto de varredura *Laser* para um mesmo objeto, possibilitando um maior recobrimento das faces da árvore (Figura 12). Em campo foi realizada de duas a três diferentes posições afim de garantir o recobrimento total das árvores e evitar zonas de sombra.

Figura 12 - Representação da varredura múltipla com *Laser*



Fonte: Buck, 2012.

Os dados *Laser* coletados foram processados no *software* Faro Scene. Essa etapa consistiu em identificar cada objeto na nuvem de pontos. Assim, para a junção das varreduras múltiplas em um único sistema de coordenadas foi realizado o registro dessa nuvem, a qual gerou a imagem em 3D como demonstra a Figura 13. Para o processamento dos dados nas nuvens geradas foi utilizada a extensão .e57 compatível com o *software* CloudCompare.

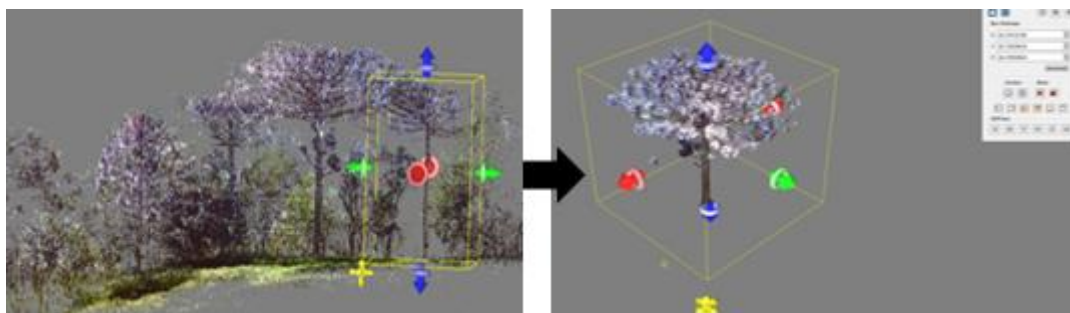
Figura 13 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação *Laser*



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Posterior ao registro foi realizado o recorte e isolamento de cada objeto de estudo, ou seja, cada árvore observada na nuvem de pontos, a fim de obter a mensuração das variáveis dendrométricas e morfométricas (Figura 14). Para realizar esse procedimento foi utilizado o *software* CloudCompare.

Figura 14 - Procedimento para o recorte das árvores e realização da mensuração



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

3.2.4 Ajuste de modelos hipsométricos e para diâmetro de copa (Dc)

Para comparar o ajuste de modelos entre os valores coletados a campo e pela estação *Laser* foi utilizado o diâmetro à altura do peito (Dap), altura total (h) e dados de raios de copa para obtenção do diâmetro de copa (Dc).

Para estimar a altura total em função do diâmetro à altura do peito foi utilizado o ajuste de seis equações, expostas na tabela 9.

Tabela 9 - Modelos testados para estimar a altura total em função do diâmetro à altura do peito para *Araucaria angustifolia*.

Equação	Modelo	Autor
1	$h_i = b_0 + b_1.Dap_i + \varepsilon$	Campos e Leite (2002)
2	$h_i = b_0 + b_1.Dap_i^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
3	$h_i = b_0 + b_1. \ln (Dap_i) + \varepsilon$	Henricksen
4	$\ln (h_i) = b_0 + b_1.1/Dap_i + \varepsilon$	Curtis
5	$\ln h_i = b_0 + b_1.Dap_i^2 + \varepsilon$	Azevedo et al. (1999)
6	$\ln h_i = b_0 + b_1.\ln Dap_i + \varepsilon$	Stoffels

Onde: b_0 e b_1 : parâmetros dos modelos; \ln : logaritmo natural; h_i : altura total da i-ésima árvore; Dap_i : diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A estimativa do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito foi realizada através do ajuste de quatro equações, apresentadas na tabela 10.

Tabela 10 - Modelos ajustados para estimar o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito para *Araucaria angustifolia*.

Equação	Modelo	Autor
1	$Dc_i = b_0 + b_1.Dap_i + \varepsilon$	Longhi (1980)
2	$\ln (Dc_i) = b_0 + b_1. \ln (Dap_i) + \varepsilon$	Durlo (2001)
3	$Dc_i = b_0 + b_1.Dap_i^2 + \varepsilon$	Nutto <i>et al.</i> (2001)
4	$\ln (Dc_i) = b_0 + b_1.Dap_i + \varepsilon$	Orellana e Koehler (2008)

Onde: b_0 e b_1 : parâmetros dos modelos; \ln : logaritmo natural; Dc_i : diâmetro de copa da i-ésima árvore; Dap_i : diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

3.2.5 Análise dos dados

As médias para os valores obtidos em campo e pela estação *Laser* foram submetidas ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software Assistat 7.7, avaliando assim a existência de diferença estatística entre as médias para cada variável mensurada.

As análises foram avaliadas no pacote estatístico Statistical Analysis System (SAS), para o ajuste dos modelos hipsométricos e de diâmetro de copa foi utilizado o diâmetro à altura do peito como variável independente.

A seleção dos melhores modelos foi definida pelos critérios: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor coeficiente de variação (CV%), maior valor de F e análise da distribuição dos resíduos com o intuito de verificar se o modelo selecionado apresentava alguma tendência na estimativa da variável dependente.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Comparação entre variáveis dendrométricas e morfométricas mensuradas em campo e amostradas pela estação *Laser*

As informações coletadas a campo pelo método tradicional e pela mensuração através dos dados TLS demonstrou não haver diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as variáveis coletadas a campo e pela estação *Laser* (Tabela 11).

Tabela 11 - Comparação entre as mensurações a campo e com dados TLS das variáveis dendrométricas e morfométricas para *Araucaria angustifolia*

	Dap(cm)		h(m)		hic(m)		Cc (m)		Dc (m)		Ac(m ²)	
	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L	C	L
Mín.	10,3	10,3	5,9	5,7	1,5	2,1	4,3	2,3	2,4	2,6	4,7	5,4
Máx.	86,3	87,1	19,10	19,4	12,1	11,7	11,6	11,2	19,9	18,7	313,5	274,5
Méd.	46,6a	47,6a	13,8a	13,5a	7,4a	7,1a	6,4a	6,4a	10,8a	9,2a	113,4a	87,2a

Onde: Dap: diâmetro a altura do peito; h: altura; hic: altura de início de copa; Cc: comprimento de copa; Dc: diâmetro de copa; Ac: Área de copa; C: Dados coletados a Campo; L: Dados coletados com o *Laser*. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Assim, a tecnologia *Laser scanner* terrestre mostrou-se eficiente em determinar variáveis dendrométricas e morfométricas para o conjunto de árvores amostradas, indicando a precisão do equipamento com confiabilidade para obtenção de variáveis dendrométricas e morfométricas das árvores.

Silva et al. (2011) realizaram um estudo para determinar variáveis dendrométricas de *A. angustifolia* a partir de varredura com *Laser* terrestre. Para os dados de altura total houve diferença de 23 cm entre as medições a campo e com a estação, sendo menor para o *Laser*. Ao observar a média das alturas na Tabela 3, verifica-se uma diferença de 0,29 m entre a comparação dos métodos, com valor inferior para os dados TLS.

Li et al. (2014), observaram que a diferença encontrada entre os métodos de mensuração para a altura total está relacionada com a grande presença de galhos, alta densidade das copas, o que impede obtenção de pontos nas partes mais altas das árvores.

A variável altura, conforme estudos realizados, aferida através de dados *Laser* possui tendência de subestimativa, isso se deve a erros como a posição inadequada na instalação da estação em campo, alta densidade das copas, o que influencia na intensidade amostral de pontos no dossel, o qual também pode ser afetado pela presença de pequenos galhos que não são precisamente identificados pela varredura *Laser* (HOPKINSON et al., 2004; WEZYK et al., 2007; LINGNAU et al., 2010).

Para a variável Dap as médias apresentadas na Tabela 1 indica que o valor amostrado pelo método tradicional foi menor que o coletado pelo *Laser scanner* terrestre, apresentando uma diferença de 0,8 cm. Li et al. (2014) compararam dados *Laser* com inventário de campo, e encontraram erros para o diâmetro entre 0,52 e 0,95 cm, comparando os dois métodos de mensuração.

No estudo de Bienert et al. (2006) a estimativa de diâmetros em povoamentos de floresta mista, obtiveram erros médios que variaram entre + 0,93 e - 0,96 cm, quando comparado com dados amostrados pela suta.

A superestimativa dos valores de Dap no estudo realizado por Martins Neto (2016), conforme relatou o autor, relacionou-se com a presença de pontos de ruído na região do Dap, como também por imperfeições no tronco das árvores que não são possíveis de serem identificar pela mensuração tradicional.

Os resultados encontrados em inventários florestais, para a variável diâmetro, através do processamento de dados *Laser*, tem-se apresentado satisfatórios quando se compara a medição tradicional. Wezyk et al. (2007) obtiveram coeficiente de determinação

de 0,94 para o diâmetro quando comparado a mensuração com suta, já Hopkinson et al. (2004) atingiram um coeficiente de determinação de 0,85.

Ainda que os resultados amostrados pela tecnologia *Laser scanner* terrestre, para obtenção de variáveis como o diâmetro e altura das árvores, tenham alta correlação com os dados obtidos pelo método tradicional de mensuração, as metodologias propostas em literatura estão suscetíveis a falhas, principalmente pela influência de pontos que não correspondem a superfície do tronco da árvore, caracterizando uma das principais dificuldades para aplicação desse método na área florestal.

As médias para os valores de diâmetro de copa (Dc), apresentaram uma diferença de 1,65m entre os métodos. Esse contraste está relacionado as principais falhas citadas em literatura que dificultam a coleta de dados nas partes superiores das árvores, principalmente devido, a densidade e presença de galhos, que interferem na identificação na nuvem de pontos.

Entretanto, o teste de média aplicado demonstrou não haver estatisticamente diferença significativa entre os métodos, apresentando resultados satisfatórios na aplicação da tecnologia *Laser* para as variáveis de copa.

Assim, os resultados demonstram a necessidade de mais estudos para viabilizar as melhores metodologias para cada espécie, principalmente no processamento dos dados *Laser*, filtragem e mensuração das variáveis de interesse.

3.3.2 Ajuste de modelos hipsométricos e de diâmetro de copa (Dc) para variáveis dendrométricas e morfométricas mensuradas em campo e pela estação *Laser*

As Tabelas 12 e 13 mostram as estatísticas para os modelos hipsométricos testados para os dados mensurados pelo método tradicional e pela estação *Laser*, respectivamente.

Tabela 12 - Ajuste de modelos hipsométricos amostrados em campo para *Araucaria angustifolia*

Equação	Coeficientes		R^2_{aj}	CV(%)	F
	b_0	b_1			
1	6,32366	0,16026	0,81	12,7	67,01
2	9,79416	0,00153	0,67	16,1	32,3
3	-9,6782	6,32569	0,87	10,3	108,63
4	2,99839	-14,3961	0,85	5,1	89,42
5	2,25547	0,000124	0,61	8,1	25,3
6	0,57406	0,54032	0,89	4,3	130,94

Onde: b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F calculado. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Tabela 13 - Ajuste de modelos hipsométricos amostrados com estação *Laser* para *Araucaria angustifolia*

Equação	Coeficientes		R^2_{aj}	CV(%)	F
	b_0	b_1			
1	5,67619	0,16445	0,85	11,2	91,8
2	9,31913	0,00155	0,75	14,5	48,29
3	-10,81305	6,49675	0,87	10,5	106,03
4	2,96563	-14,5898	0,83	5,3	78,49
5	2,22632	0,000123	0,66	7,6	30,82
6	0,45090	0,56308	0,91	3,5	157,65

Onde: b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F calculado. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O modelo que obteve melhor desempenho para estimar a altura em função do Dap para o conjunto de árvores amostradas foi o proposto por Stoffels, tanto para as variáveis coletadas em campo quanto pela estação *Laser*, o qual apresentou R^2_{aj} de 0,89 e 0,91, respectivamente.

Martins Neto (2016) ressaltou que os dados TLS recuperam de maneira mais precisa as características dos troncos das árvores, assim a obtenção da variável Dap a partir do processamento de dados *Laser* para estimar a altura através do modelo hipsométrico, apresenta resultados satisfatórios e muito próximos aos obtidos pelo método tradicional de mensuração.

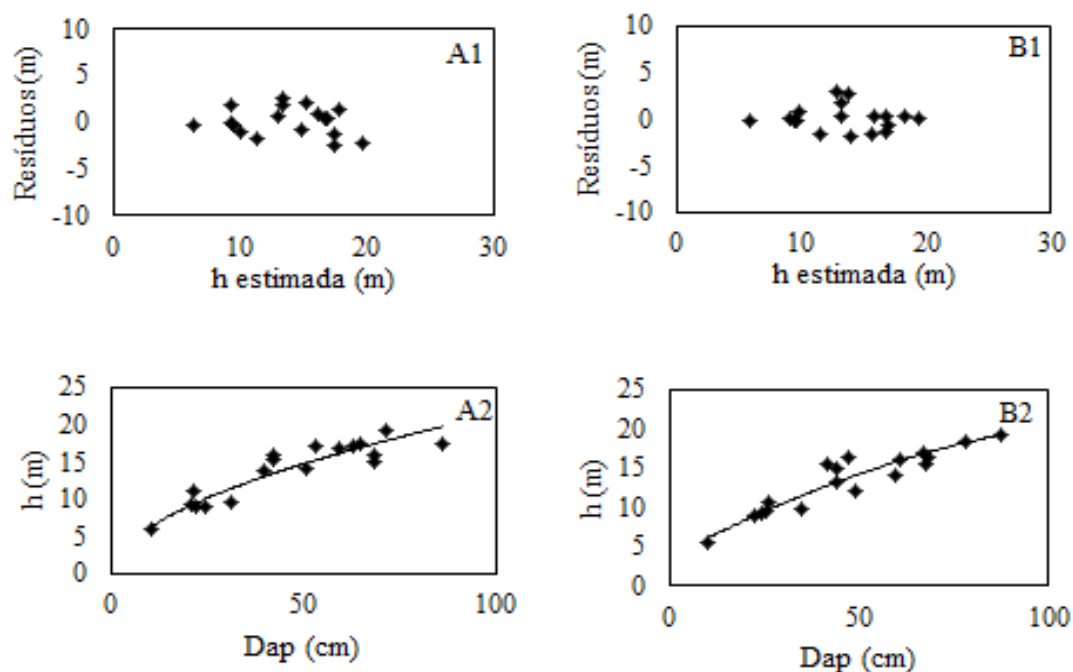
A Figura 15 (A1 e A2) mostra a dispersão dos resíduos gerados pelo modelo selecionado para os dados amostrados em campo e pela estação *Laser*, nela observa-se que os resíduos estão distribuídos de maneira homogênea e sem apresentar tendenciosidade.

O modelo 6, proposta por Stoffels, foi a que melhor descreveu o comportamento dos dados para as árvores amostradas, (Figura 15 B1 e B2), pois, seguiu a inclinação de tendência natural dos valores observados.

A estrutura do modelo para estimar a *h* de *Araucaria angustifolia* foi $\ln h = 0,57406 + 0,56308 \cdot \ln \text{Dap}$ para as variáveis mensuradas em campo e $\ln h = 0,45090 + 0,56308 \cdot \ln \text{Dap}$ para os dados TLS.

O modelo de Stoffels, conforme estudos realizados por Machado et al. (2008) e Koehler et al. (2010), tem-se mostrado eficiente para estimar a altura em função do Dap para *A. angustifolia*. Barros et al. (2002) e Soares et al. (2004) também confirmaram a eficiência desse modelo.

Figura 15 - (A) Resíduos e valores estimados para altura das árvores (B) Ajuste da linha de regressão da altura total (*h*) em função do diâmetro à altura do peito (Dap) do modelo selecionado para *Araucaria angustifolia*, mensurados pelo método tradicional (1) e amostrados pela estação *Laser* (2).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Os parâmetros estatísticos para a seleção da melhor equação a fim de estimar o Dc em função do Dap para os dados de campo e da estação *Laser* são apresentadas nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa amostrados em campo para *Araucaria angustifolia*

Equação	Coeficientes		R^2_{aj}	CV(%)	F
	b_0	b_1			
1	0,57178	0,21947	0,77	26,5	54,92
2	-1,6666	1,04715	0,87	10,6	110,38
3	5,31104	0,00210	0,64	30,7	29,03
4	1,00562	0,02603	0,78	13,9	56,29

Onde: b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F calculado. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Tabela 15 - Ajuste de modelos para diâmetro de copa em função do Dap amostrados pela estação *Laser* para *Araucaria angustifolia*

Equação	Coeficientes		R^2_{aj}	CV(%)	F
	b_0	b_1			
1	-0,78018	0,20874	0,85	20,9	91,47
2	-1,62511	0,98644	0,86	10,9	96,17
3	3,53008	0,00209	0,84	21,6	85,31
4	0,86349	0,02528	0,86	10,78	99,69

Onde: b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado; CV (%) = coeficiente de variação em porcentagem; F = valor de F calculado. Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

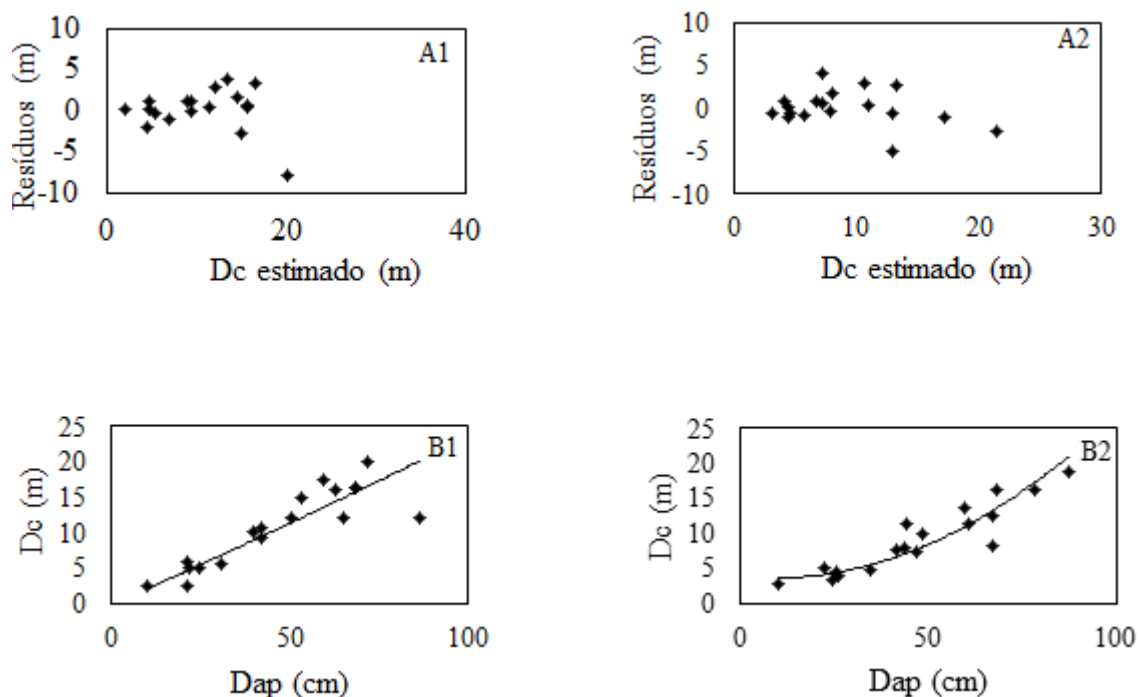
A equação 2, proposta por Durlo (2001), foi a que representou melhor os dados de Dc amostrados pelo método tradicional, enquanto que, para as informações coletadas pelo *Laser* a equação 4 foi a que obteve melhor acurácia, indicada por Orellana e Koehler (2008), pois apresentou menor CV% e maior valor de F, além da melhor distribuição dos resíduos.

Os resíduos exibidos pela Figura 16 (A1 e A2) mostra uma variação proporcional dos dados, no entanto, observa-se a presença de *outliers*, o que se relaciona, principalmente, pela nuvem de pontos gerada na região superior, caracterizada pela copa das árvores. Gatzliolis et al. (2010), afirmaram que mesmo os resultados do uso da

tecnologia *Laser* sejam promissores, há dificuldades encontradas para medições nas partes superiores das árvores, devido as copas.

A Figura 16 (B1 e B2) mostra que os valores amostrados em campo e pela estação *Laser* ficaram próximos à linha de regressão dos valores estimados pela equação selecionada. Os modelos para estimar o Dc a partir do Dap apresentam-se como $\ln Dc = -1,6666 + 1,04715 \cdot \ln Dap$ para os dados de campo e $\ln Dc = -0,86349 + 0,02528 \cdot Dap$ para informações TLS.

Figura 16 - (A) Resíduos e valores estimados para o diâmetro de copa (B); Ajuste da linha de regressão do diâmetro de copa (Dc) em função do diâmetro à altura do peito (Dap) do modelo selecionado para *Araucaria angustifolia* mensuradas pelo método tradicional (1) e amostradas pela estação *Laser* (2)



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

3.4 CONCLUSÕES

Os valores médios para as variáveis dendrométricas e morfométricas de *A. angustifolia*, coletados em campo por métodos tradicionais e amostrados pela estação

Laser, não apresentaram diferença significativa entre a comparação dos métodos. Isso demonstra a eficiência das informações TLS para o conjunto das árvores amostradas no estudo.

A partir dos dados de diâmetro a altura do peito (Dap), os quais são melhor identificados na nuvem de pontos gerada pelo *Laser scanner* terrestre, é possível estimar variáveis morfométricas como a altura total e o diâmetro de copa (Dc).

A obtenção das variáveis dendrométricas e morfométricas pelas informações TLS a partir de métodos manuais estão passíveis a erros de maior frequência que os métodos automatizados. Assim, é importante realizar procedimentos semi-automatizados de filtragem, os quais auxiliam na eliminação de pontos que visualmente não pertencem a árvore, com o objetivo de limpar a superfície que será mensurada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, D.A.; MACHADO, S.A.; ACERBI JÚNIOR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para o ajuste de plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.45, p.3–28, 2002.
- BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial LASER scanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. **In:** Workshop on 3D Remote Sensing in Forest, 14-15. Vienna, 2006.
- BUCK, A. L. B. **Análise de métodos de filtragem em dados laser scanner terrestre aplicados à modelagem tridimensional do tronco de *Pinus* spp.** 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2012.
- CÔTE, J. F.; FOURNIER, R. A.; EGLI, R.. An architectural model of trees to estimate forest structural attributes using terrestrial LiDAR. **Environmental Modelling & Software**, n. 26, p. 761-777.
- DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**. Santa Maria (RS), v.11, p.141-149, 2001.
- FARO Technologies. Manual: **FARO Laser Scanner Focus3D**. 186 p. 2011. Disponível: https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf. Acesso em: novembro de 2016.
- GATZIOLIS, D.; POPESCU, S.; SHERIDAN, R.; KU, N. Evaluation of terrestrial LIDAR technology for the development of local tree volume equations. **In:** SILVILASER 10°. Freiburg. Proceedings... Freiburg, 2010.
- HOPKINSON, C.; CHASMER, L., YOUNG-POW, C., TREITZ, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning LIDAR. **Canadian Journal of Forest Research**, 34, pp. 573-583, 2004.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

KOEHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; S. P., NETTO. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Sciencia Forestales**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 53-62, 2010.

LASER SCANNING EUROPE. **FARO Foco 3D 120**. Disponível em: <http://www.laserscanning-europe.com/en/glossary/faro-focus-3d-120>. Acesso em: novembro de 2016.

LEONARDO DA VINCI, EDUCATION AND CULTURE. **Theory and practice on Terrestrial LASER Scanning**. 3D RiskMapping, 2008. Disponível em: <https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/leonardo_tutorial_final_vers5_english.pdf>. Acesso em 30 ago. 2015.

LI, Y.; HESS, C.; WEHRDEN, H. von.; HÄRDTKE, W.; OHEIMB, G. von. Assessing tree dendrometrics in young regenerating plantations using terrestrial LASER scanning. **Annals of Forest Science**. France, 2014.

LICHTI, D. D.; GORDON, S. J.; STEWART, M. P. Ground-based laser scanners: operation, systems applications. **Geomatica**, v. 56, p. 21-33, 2002.

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008.

LINGNAU, C.; MURIEL, A.; MACHADO, L.; COLLA, F. L. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE 2009. p. 5031 – 5038.

LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; BAVARESCO JÚNIOR, A.; COLLA, F. L. et al. Modelagem do fuste em povoamentos de *Pinus taeda* a partir da varredura LASER terrestre. In: IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, 2010, Curitiba. **Anais...** v. 1. p. 111-118, 2010.

LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, no sul do Brasil**. 1980, 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

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

MÁRQUEZ, A.. **Un tratado sobre el escaner terrestre TLS**. Mecinca, 2010.

MARTINS NETO, R. P. **Extração de variáveis dendrométricas em árvores de *Pinus taeda* l. a partir de dados TLS e ALS**. 187f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC, Lages - SC, 2016.

MARTINS NETO, R. P. Eficiência de diferentes métodos de filtragem da nuvem de pontos na varredura Laser Terrestre para a obtenção de dados dendrométricos. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013, p. 6185-6192.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, 2001, p. 9-25.

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

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário florestal**. Curitiba: Edição do autor, 1997. 316 p.

SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MIRANDA, B. P. Varredura Laser terrestre para determinação das variáveis dendrométricas da *Araucaria angustifolia*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...**Curitiba: INPE, 2011.

SILVA, M. N.; SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MARTINS NETO, R. P.; PESK, V. A. Laser scanner terrestre para medições florestais – princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 1143-1152, 2013.

SOARES, T.S.; SCOLFORO, J.R.S.; FERREIRA, S.O.; MELLO, J.M. Uso de diferentes alternativas para viabilizar a relação hipsométrica no povoamento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.6 , p.845854, 2004.

THIES, M.; SPIECKER, H. **Evaluation and future prospects of terrestrial LASER scanning for standardized forest inventories.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. xxxvi – 8/w2. Freiburg, 2004.

WEZYK, P.; KOZIOL, K.; GLISTA, M.; PIERZCHALSKI, M. Terrestrial LASER scanning versus traditional forest inventory first results from the polish forests. **In:** ISPRS Workshop on LASER Scanning 2007 and SilviLASER 2007, Espoo, September 12-14, Finland, pp. 424-42, 2007.

CAPÍTULO 4

FORMATO DA COPA DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze APARTIR DE DADOS TLS PARA DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO EM SANTA CATARINA

RESUMO

O formato da copa de araucária é responsável pelo desenvolvimento de seu estágio ontogenético. Assim, o estudo teve por objetivo analisar a área e formato das copas de *Araucaria angustifolia* amostradas pelo *Laser scanner* terrestre, de diferentes classes de diâmetro, visando gerar um modelo para sua representação. Foram amostrados 18 indivíduos da espécie em um sítio amostral no município de São José do Cerrito, no estado de Santa Catarina. Após a varredura em campo da estação *Laser* foi realizado o registro e processamento dessas informações, com auxílio do programa Faro Scene e CloudCompare. As variáveis mensuradas nas imagens geradas pela nuvem de pontos foram: o raio de copa, em quatro eixos, a cada 0,5 m ao longo da altura que compreendia a extensão da copa. Ainda foram mensurados a altura total e o diâmetro a altura do peito (Dap). Para análise, os dados foram divididos em quatro classes diamétricas, Dap até 20 cm, classe 1, entre 20 a 40 cm, classe 2, de 40 a 60 cm, classe 3 e acima de 60 cm de Dap, classe 4. O formato da copa para cada classe de Dap mostrou que a espécie possui diferentes contornos ao longo do seu desenvolvimento, caracterizando uma copa cônica na fase juvenil, com a maturidade, passa para a forma de umbela. Além disso, as árvores acima de 60 cm de Dap possuíam uma área de copa 30 vezes maiores, quando comparado a indivíduos de até 20 cm de Dap. Entretanto, os comprimentos de copa das árvores de maiores dimensões tendem a diminuir, justamente por seu formato obter uma característica mais plana, ao longo do seu desenvolvimento. O modelo gerado para estimar os raios de copa em função da altura e Dap foi $R_c = -0,04026 - 0,08970 * h + 0,10056 * Dap$, com R^2_{aj} de 0,73, CV(%) de 32,3 e um valor de F de 76,6. Os resultados da aplicação com *Laser scanner* permitem a identificação da forma da copa, sua variação ao longo do crescimento da árvore, sendo importante para otimizar planejamento de espaço e intervenção silvicultural.

Palavras-chave: *Laser scanner* terrestre. Forma de copa. Manejo florestal.

CHAPTER 4:

FORMAT OF THE CUP OF *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze BY OF DATA TLS FOR DIFFERENT DIAMETER CLASSES IN SANTA CATARINA

ABSTRACT

The format of the araucaria crown is responsible for the development of its ontogenetic stage. Thus, the objective of this study was to analyze data from *Araucaria angustifolia* canopies sampled by the terrestrial laser scanner, to establish its shape in different diameter classes, and to generate a model that represents this format. Eighteen individuals of the species were sampled at a sampling site in the municipality of São José do Cerrito, in the state of Santa Catarina. After field scanning of the Laser station, the recording and processing of this information with the help of the program Faro Scene and CloudCompare were carried out, the measurements were carried out manually in the CloudCompare program. The variables measured in the images generated by the cloud of points were: the crown radius, in four positions, every 0.5 m along the height that comprised the crown extension, height and diameter the height of the chest (Dap). For analysis, the data were divided into four diametric classes, Dap up to 20 cm, class 1, between 20 and 40 cm class 2, between 40 and 60 cm, class 3 and above 60 cm Dap, class 4. The crown shape for each class of Dap showed that the species has different contours throughout its development stage, characterizing a conical crown in the juvenile phase, in which its branches grow laterally. With advancing age, this shape tends to be flat, identifying a shape of umbel, with the growth of the branches facing upward. Besides that, trees above 60 cm Dap had a crown area 30 times greater when compared to individuals up to 20 cm Dap. However, the canopy lengths of larger trees tend to decrease, precisely because of their shape, to obtain a more flat feature throughout their development. The model generated to estimate crown rays as a function of height and Dap was $R_c = -0.04026 - 0.08970 * h + 0.10056 * Dap$, with R^2_{aj} of 0.73, CV (%) of 32.3 and an F value of 76.6. It is necessary studies that cover different sample sites, as well as a larger diametric amplitude to generate inferences for the species, besides evaluating the feasibility of the use of images generated by the Scanning terrestrial scanner.

Keywords: Terrestrial laser scanner. Crown form. Forest management.

4.2 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma das espécies florestais brasileiras representativas da região Sul do Brasil, situando-se em regiões de clima temperado, acima de 500 metros de altitude. Além disso, a araucária é uma espécie promissora tanto em termos silviculturais, pois agrega alta capacidade produtiva de madeira, quanto sua importância ecológica nas áreas de ocorrência natural.

O formato da copa de araucária prescreve seu estágio ontogenético (REITZ et al. (1978). Conforme o autor, as árvores desta espécie que encontram-se na fase juvenil demonstram uma forma cônica. No entanto, quando adultas e em processo de senescência apresentam copas no formato de taça ou umbela.

Nogueira (1989) afirmou que, essas modificações ocorrem pela idade e também devido ao grau de concorrência em que os indivíduos estão submetidos, pois na fase juvenil as árvores se destacam pelo crescimento em altura e seus galhos laterais crescem em menor proporção. Já na maturidade, o incremento em altura diminuiu e segundo Reitz e Klein (1966), a gema apical caracteriza-se por permanecer em um nível mais baixo que os galhos da extremidade, sendo que estes tendem a crescer para os lados na direção superior, configurando a forma de taça.

Os estudos com o objetivo de delinear o perímetro de copa das árvores começaram a ter impulso nas décadas de 1950 a 1970, com trabalhos no intuito de obter dados do diâmetro, área de copa e densidade por hectare. Com base nisso, já se almejava utilizar regressão estatística para definir o Dap das árvores em função do diâmetro de copa, e deste modo propor a elaboração de tabelas de volume (OLIVEIRA, 1980; STELLINGWERF, 1973).

Partindo do pressuposto apresentado, evidencia-se também que as características da copa influenciam no crescimento das árvores, e também no espaço vital necessário para sua melhor produtividade, assim os estudos que relacionam os parâmetros de copa com a qualidade do seu desenvolvimento são importantes para identificar novas metodologias de trabalho e de manejo para a espécie.

Com a finalidade de aperfeiçoar os processos de identificação, monitoramento e quantificação realizados a campo, novas tecnologias estão sendo testadas para o setor florestal, as quais buscam tornar o trabalho mais ágil e menos oneroso em etapas fundamentais do inventário e manejo florestal.

Hopkinson et al. (2004) ressaltou que, o processo da coleta de dados em campo de forma convencional demanda tempo, além de gerar erros que podem ocorrer por falhas humanas, operação inadequada de equipamentos ou até mesmo pelas características da vegetação e da equipe de trabalho. Assim, Pál (2008) sugeriu que essas dificuldades podem ser superadas pelo uso de informações coletadas pela tecnologia *Laser scanner* terrestre.

Apesar dos estudos que utilizam dados provenientes de varredura *Laser* serem recentes no Brasil, essa tecnologia apresenta-se como uma ferramenta promissora, pois para Bienert et al. (2006), com o processamento da nuvem de pontos de uma árvore é possível reconstituir sua geometria com precisão e agilidade.

Os resultados gerados pela coleta de informações com a estação *Laser* origina uma densa nuvem tridimensional de pontos que ultrapassa milhões de pontos com apenas alguns minutos de coleta. Essa habilidade em capturar de forma rápida e precisa dados detalhados, apresenta uma extensa variedade de aplicações em florestas, e também no estudo de determinadas espécies (LICHTI et al., 2008).

Lingnau et al., (2009) comentaram que o grande diferencial do uso dessa tecnologia está na precisão dos dados da medição com o equipamento *Laser* e o número de variáveis dendrométricas que podem ser obtidas de forma automatizada. Nesse sentido, a nuvem de pontos pode ser trabalhada para as mais diversas áreas, como no acompanhamento de tratamentos silviculturais, em simulações de podas e desbastes, e também para dados de inventário florestal.

Esse nível de detalhamento das superfícies originadas pela varredura *Laser*, conforme ressaltaram Silva et al. (2013), permitiu que pesquisadores da área florestal considerassem a possibilidade de estudos para a aplicação dessa tecnologia em levantamentos de inventário.

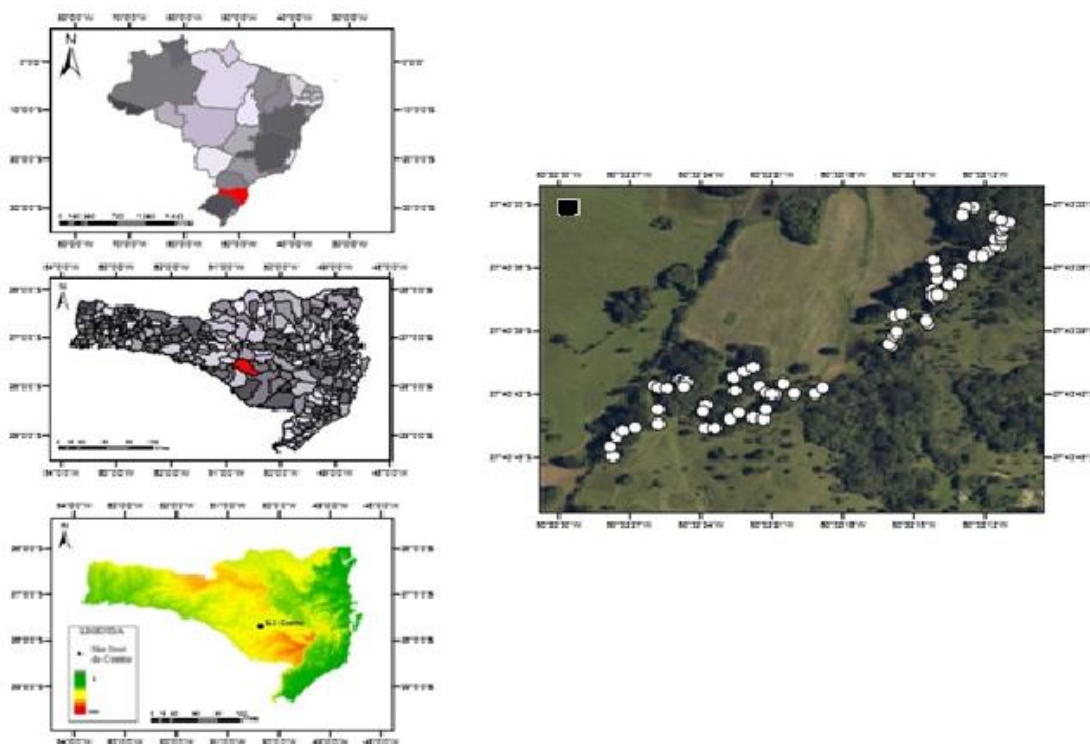
Nesse aspecto, o estudo baseia-se que há diferentes formas de copa nas diferentes fases de desenvolvimento de araucária. Assim, o objetivo foi utilizar dados de mensuração das copas de *A. angustifolia* coletados pela estação *Laser*, para estabelecer sua forma em diferentes classes de diâmetro correlacionando com suas fases de desenvolvimento, e também gerar um modelo que represente esse formato.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Área de Estudo

Os dados foram coletados no município de São José do Cerrito, em um sítio pertencente a remanescente de Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *A. angustifolia*, no planalto serrano do estado de Santa Catarina (Figura 17). Os solos da região são pouco profundos e caracterizados como Neossolos Litólicos e Cambissolos (IBGE, 2012).

Figura 17 - Localização das áreas amostradas em São José do Cerrito (SC).



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

O clima característico do município, conforme Köppen é tipo Cfb, mesotérmico úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano, de precipitação média anual entre 1.300 e 1.500 mm na região. O município pertence à Bacia do Rio Canoas e do Rio Pelotas, de topografia, em sua maioria, suave-ondulada a forte ondulada (IBGE, 2012).

As florestas, de acordo com Hess et al. (2010; 2014), são nativas de características irregular inequidânea, identificadas sem manejo e intervenções silviculturais a cerca de 40 anos, sendo observada pouca regeneração natural.

O sítio amostral onde se coletou os dados com a estação *Laser*, trata-se de uma propriedade pertencente ao Centro de Educação Profissional (Cedup) Caetano Costa, localizado no município de São José do Cerrito, com terreno declivoso e a presença, em alguns pontos, de rochas expostas, parte dos indivíduos avaliados estavam em área adjacente à floresta, enquanto que os demais foram coletados no interior da floresta.

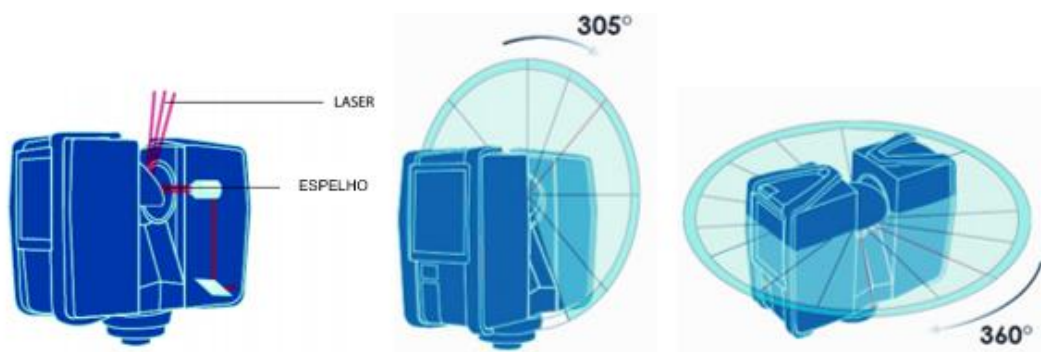
4.3.2 Aquisição dos dados de copa por Varredura *Laser* Terrestre (TLS)

Foram coletadas informações de 18 árvores de *A. angustifolia*, utilizando o equipamento *Laser scanner* terrestre FARO FOCUS 3D S120.

O equipamento realiza captura de objetos em uma gama de 0,6 m a 120 m, e com alta velocidade de medição com um máximo de 976.000 pontos de medição por segundo. As nuvens de pontos capturados e imagens são armazenadas em cartão de memória, após são transferidas para um computador, sua fonte de alimentação é através de uma bateria interna ou uma fonte de energia externa, sendo que o *Laser* possui um sistema de varredura estática (*Laser scanning Europe*, 2016).

Em campo, o *Laser scanner* terrestre foi instalado sobre um tripé ou plataforma estável, que explora, através do laser, os elementos do espaço ao seu redor. O equipamento movimentou-se horizontalmente no sentido horário deslocando-se em pequenos intervalos angulares. A cada intervalo angular a estação permanece estática, e por meio de um espelho giratório disparava o laser verticalmente em intervalos angulares determinados, calculando as coordenadas dos pontos que refletiam o sinal (Figura 18) (MARQUEZ, 2010).

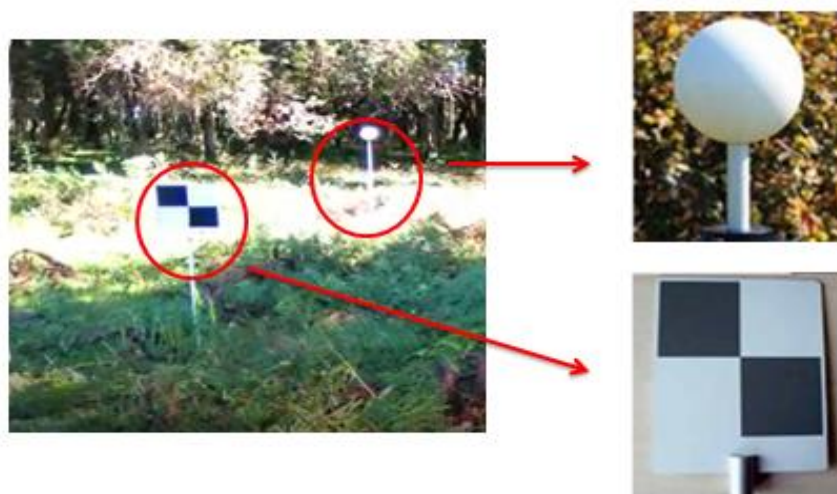
Figura 18 - Representação da visada de campo do *Laser scanner* terrestre



Fonte: FARO, 2011

Para garantir a junção das nuvens de pontos, em varreduras múltiplas, em um mesmo sistema de coordenadas, e também para recobrir o objeto de interesse, foram instalados alvos, os quais se caracterizam como acessórios que atuam em conjunto com a estação *Laser*, no estudo utilizaram-se alvos do tipo esferas e tabuleiros, conforme destacado na Figura 19.

Figura 19 - Identificação dos alvos utilizados a campo para varredura *Laser*

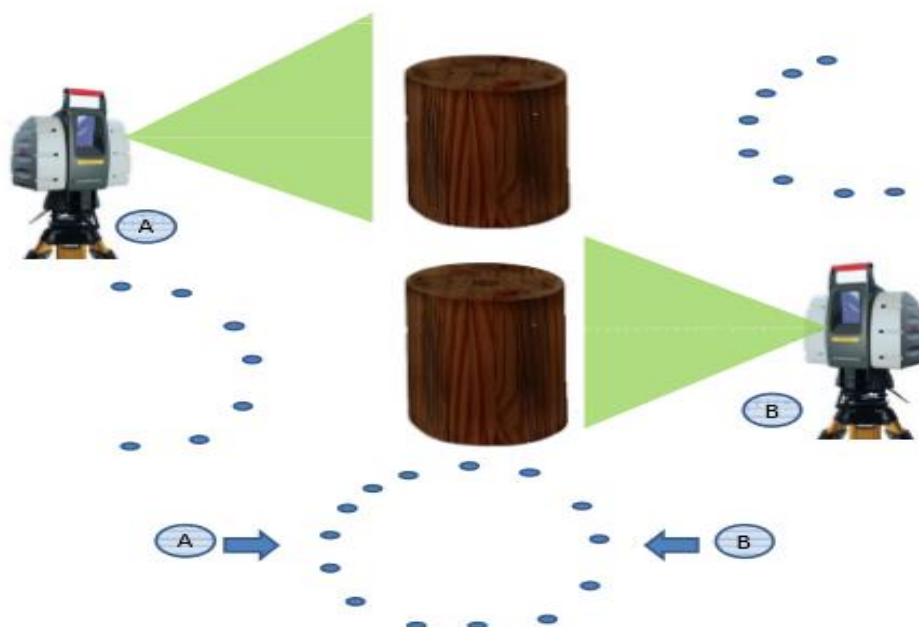


Onde: Os círculos indicam os alvos utilizados para o registro das observações.

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Os dados obtidos com o *Laser* foram amostrados através de varredura múltipla, a qual, segundo Thies & Spiecker (2004), consiste em uma coleta com mais de um ponto de varredura *Laser* para um mesmo objeto, possibilitando um maior recobrimento das faces da árvore (Figura 20). Em campo foi realizada de duas a quatro diferentes posições a fim de garantir o recobrimento total das árvores e evitar zonas de sombra.

Figura 20 - Representação da varredura múltipla com *Laser*



(A) Primeira instalação da estação laser. (B) Segunda instalação da estação laser. (A e B) - Dados referenciados unidos em um mesmo sistema de coordenadas originando uma varredura múltipla. Fonte: Silva (2011).

Os dados *Laser* coletados foram processados no *software* Faro Scene, essa etapa consistiu em identificar cada objeto na nuvem de pontos. Assim, para a junção das varreduras múltiplas em um único sistema de coordenadas foi realizado o registro dessa nuvem, a qual gerou a imagem em 3D como demonstra a Figura 21. Para o processamento dos dados nas nuvens geradas foi utilizada a extensão .e57 compatível com o *software* CloudCompare.

Figura 21 - Imagem gerada pela nuvem de pontos captada com a estação *Laser*

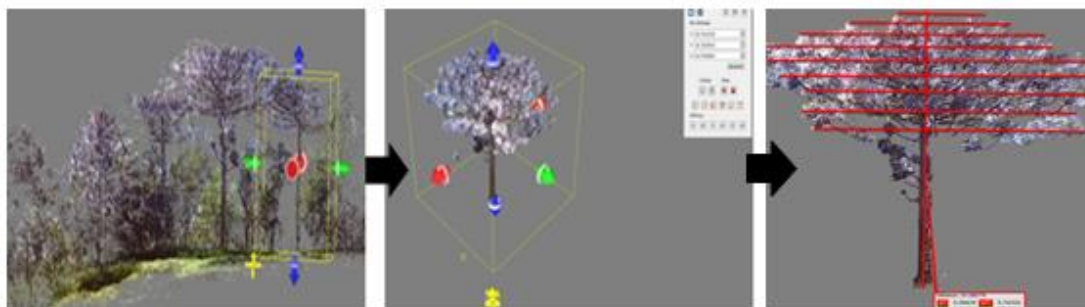


Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Posterior ao registro foi realizado o recorte e isolamento de cada objeto de estudo, ou seja, cada árvore observada na nuvem de pontos. A fim de obter o formato da copa foi realizada a mensuração dos quatro raios de copa, a cada 0,5 metros ao longo do comprimento total da copa de cada árvore (Figura 22), além do cálculo da área de copa, conforme equação 1. Para realizar esse procedimento foi utilizado o *software* CloudCompare.

$$A_c = (\pi \times D_c^2)/4 \quad (1)$$

Figura 22 - Procedimento para o recorte das árvores e realização da mensuração



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

4.3.3 Modelagem da copa e análise dos dados

Os indivíduos amostrados foram divididos em quatro classes diamétricas, classe 1 (C1), para árvores com Dap até 20 cm; classe 2 (C2), para araucárias com Dap entre 20 e 40 cm; classe 3 (C3), compreendendo a faixa de Dap de 40 a 60 cm; e classe 4 (C4), para os indivíduos acima de 60 cm de Dap.

Para gerar uma função que descreva a forma da copa, de cada árvore foram medidos os quatro raios de copa (R_c) a cada 0,5m, ao longo do comprimento de copa a cada altura em que pertenciam. Como o tamanho e a forma da copa são diferentes para cada valor de Dap, a dimensão diamétrica também foi incluída no modelo.

As análises foram avaliadas no pacote estatístico *Statistical Analysis System* (SAS 9.0), para a modelagem da copa utilizando os dados de raio de copa em função da altura e do diâmetro à altura do peito.

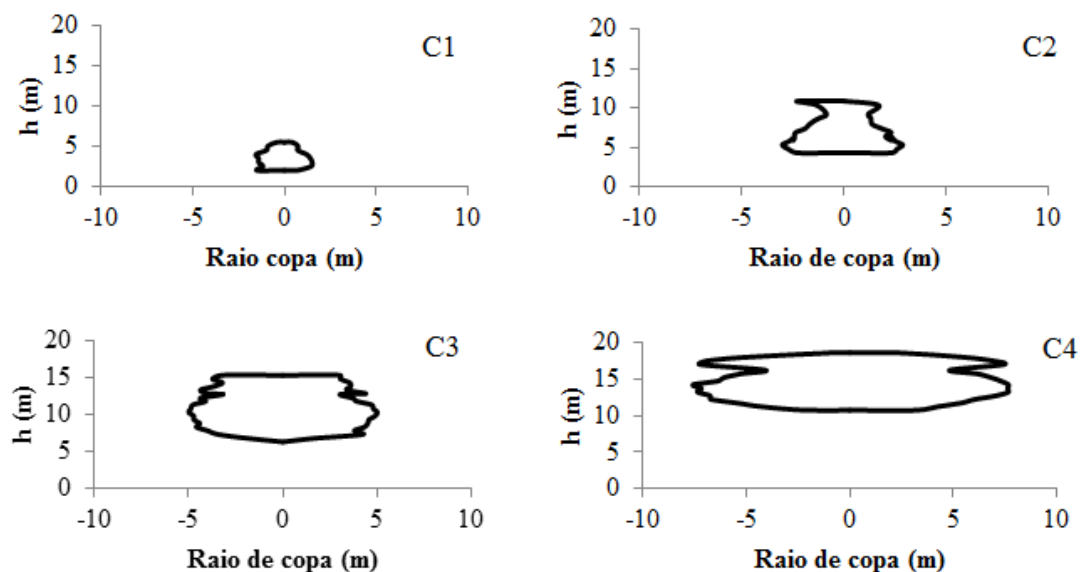
A seleção do melhor modelo foi definida pelos critérios: maior coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), menor coeficiente de variação (CV%), maior valor de F e análise da distribuição dos resíduos com o intuito de avaliar a tendência na estimativa da variável dependente.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pequena área amostrada no município de São José do Cerrito no estado de Santa Catarina, assim como o baixo número de indivíduos amostrados, sendo 18 árvores avaliadas pela técnica da varredura com *Laser scanner*, não possibilita que a partir desses dados sejam feitas generalizações para a espécie. Além disso, o estudo tem por objetivo propor o uso de novas tecnologias que facilitem os trabalhos a campo, a fim de testar diferentes metodologias e avaliar o potencial desses resultados para o setor.

A figura 23 mostra as diferentes formas de copa, em perspectiva vertical lateral, nas quatro classes diamétricas amostradas, com amplitude diamétrica de 10,31 cm até 87,12 cm.

Figura 23 - Formato da copa para *Araucaria angustifolia* em cada classe diamétrica amostrada em Santa Catarina



Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

A partir da observação da forma da copa (Figura 23), bem como a área e o comprimento da copa para cada classe diamétrica (Tabela 16), verifica-se que as árvores acima de 60 cm de Dap possuem uma área de copa 30 vezes maior, quando se compara a indivíduos de até 20 cm de Dap. Entretanto, os comprimentos de copa das árvores de maiores dimensões tendem a diminuir, justamente por seu formato obter uma característica mais plana, ao longo do seu desenvolvimento.

Na tabela 16 são apresentados os valores da área e do comprimento de copa para araucária em cada classe diamétrica analisada.

Tabela 16 - Área e comprimento de copa correspondente a cada classe diamétrica amostrada para *Araucaria angustifolia* em Santa Catarina

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Área de copa (m ²)	5,42	15,15	76,61	159,46
Comprimento de copa (m)	3,61	5,6	7,53	6,53

Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017.

Costa et al. (2013), em um estudo realizado no município de Lages (SC), amostrou 294 indivíduos de araucária, recobrindo uma amplitude de diâmetros entre 9,9 e 85,8 cm. A partir da medição em campo de quatro raios de copa, obteve um valor mínimo de área de copa de 3,7 m² e um valor máximo de 306,4 m².

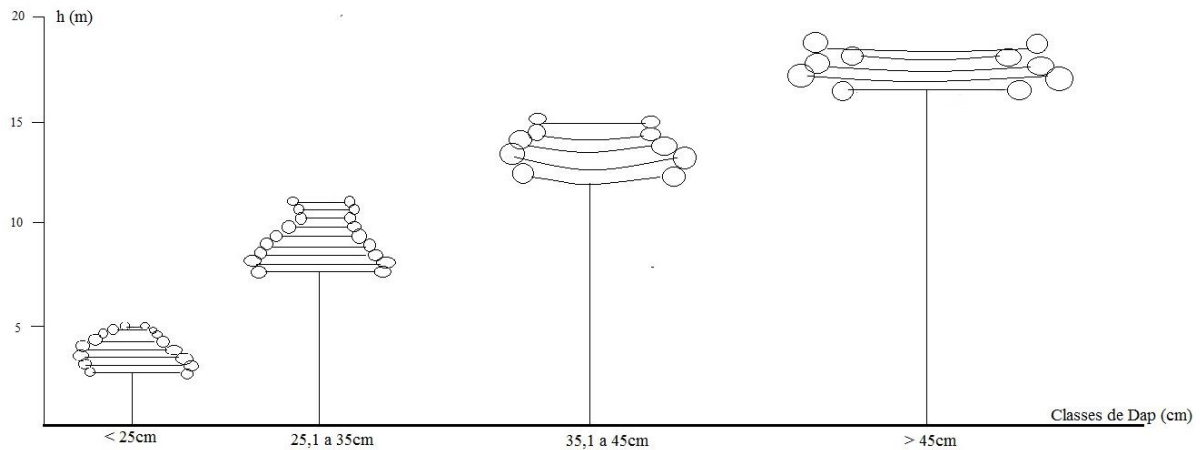
A diferença encontrada na área de copa para árvores maiores ocorrem, principalmente, pelas suas condições em campo, espaço vital em que se desenvolvem e a concorrência a que estão submetidas. Além disso, devem-se considerar os erros cometidos pela medição através das imagens geradas pela varredura *Laser*, sendo que estas, muitas vezes tem sua qualidade comprometida pela ocorrência de galhos menores e o menor nível de detalhamento das informações coletadas nas copas das árvores.

Do mesmo modo, Hasenauer (1994) e Vanclay (1994), afirmaram que a forma e dimensões das copas das árvores, assim como suas modificações ao longo do tempo, estão relacionadas ao espaço que ocupam na floresta. Isso possibilita a inferência de modelos de concorrência, sobretudo, aqueles que empregam o conceito de diâmetro potencial e de copa potencial, e assim produzir modelos de crescimento para povoamentos florestais, ou então, para determinadas espécies.

A forma da copa ao longo do desenvolvimento das araucárias, sob perspectiva vertical lateral (Figura 24), identifica que nas maiores classes de diâmetro sua forma tende a ficar plana, com os galhos voltados para cima. Diferente das classes mais jovens que apresentam galhos que crescem na lateral e formam uma copa cônica.

Para Seitz (1986), quando a araucária atinge um formato mais plano, conhecido também como forma de cálice, há um indício de declínio da vitalidade. O autor ainda destaca que, esse tipo de copa pode ser encontrado em árvores de 20 a 40 anos de idade, as quais cresceram em sítios pobres e submetidos à competição, e isso impede que alcancem seu pleno vigor.

Figura 24 - Representação do formato da copa de *Araucaria angustifolia* amostradas nas diferentes classes diamétricas em Santa Catarina

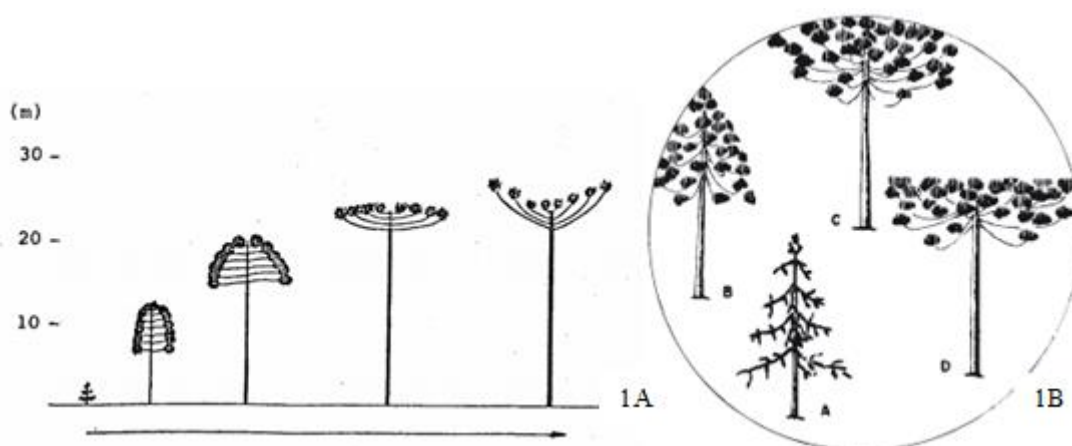


Fonte: Elaborado pela própria autora, 2017

Em estudos realizados por Hertel (1980) e Seitz (1986), ambos os autores representaram a forma da copa para diferentes idades e estágios de desenvolvimento, conforme Figura 9. É possível observar que na fase juvenil o formato de cone representa melhor a figura da copa, apresentados pelas classes C1 e C2 da Figura 24, nas três primeiras classes na Figura 25 (1A) e pelas fases A e B da Figura 25 (1B). Nessas etapas, Hertel (1980) define as fases ontogenéticas para a espécie, (1B-A) fase Tirodêndrica (juvenil) e (1B-B) fase Ferodêndrica (transicional).

No entanto, com o passar dos anos o contorno da copa sofre modificações e se caracteriza por um formato mais plano, ou também de umbela, como observa-se nas classes C3 e C4 da Figura 24. Seitz (1986) mostrou essas fases pelas duas últimas representações da Figura 25 (1A), onde as árvores ultrapassam a altura de 20 m e alcançam valores próximos a 30 m. Já Hertel (1980) caracteriza essas modificações da copa ao longo do tempo, como as fases (1B-C) Senadêndrica (convexa) e (1B-D) Senadêndrica plana-horizontal (adultas).

Figura 25 - Representações das diferentes formas de copa de *Araucaria angustifolia*



Fonte: 1A – Seitz (1986); 1B – Hertel (1980).

Os dados que representam o estudo realizado pela medição de informações geradas pelo *Laser* (Figura 24) demonstram que, os indivíduos pertencentes à classe quatro exibem uma altura máxima de 19,4 m. A amostragem de árvores mais velhas e de maior dimensão, em futuros estudos podem identificar alturas equivalentes encontradas na literatura para a espécie, em que demonstrem um formato de copa mais característico a figura de um cálice, com os galhos em um nível mais alto que a gema apical. Porém, também é importante destacar a análise da qualidade do sítio e dos dados fornecido pelo *Laser scanner* terrestre.

Além disso, nas décadas de 1970 a 1980 alguns autores já destacavam que, as intervenções realizadas na floresta inferem nas características estruturais dos indivíduos, sendo a copa um dos fatores principais das reações que ocorrem nas árvores. Sendo que, o comportamento referente à abertura das copas é influenciado pela idade, principalmente, pela quantidade de copa viva em relação à altura da árvore, a qual diminui ao longo dos anos, sobretudo, em florestas que não são realizadas interferências ou algum tipo de manejo (HAWLEY e SMITH, 1972; KRAMER e KOLZLOWSK, 1972; DANIEL et al., 1982).

Para representar o formato da copa através dos raios de copa, utilizando a altura de inserção desse raio e o Dap de cada árvore foi gerado um modelo para estimar os raios de copa em cada posição, descrito por:

$$Rc = -0,04026 - 0,08970 * h + 0,10056 * Dap \quad (2)$$

Em que: Rc=raio de copa (m), amostrado a cada 0,5 m de altura de copa; h=altura (m); Dap= diâmetro a altura do peito (cm).

A equação proposta apresentou um coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) de 0,73, coeficiente de variação (%) de 32,3 e um valor de F de 76,6.

Durlo et al. (2004), sugeriram, através de fotografias, a modelagem da copa de *Cedrela fissilis* e obtiveram um modelo com R^2 de 0,76. A partir desse modelo, foi possível calcular o comprimento da copa para qualquer Dap e o raio de copa para qualquer posição na altura da copa.

Nesse sentido, torna-se importante a realização de novos estudos que compreendam uma amostragem e amplitude diamétrica maior para a espécie. Além disso, é necessário avaliar a viabilidade do uso da tecnologia *Laser* para mensuração e modelagem da copa em diferentes sítios de crescimento. A fim de completar com os dados apresentados nesse estudo.

4.5 CONCLUSÕES

O formato da copa para cada classe de Dap mostrou que a espécie possui diferentes contornos ao longo do seu estágio de desenvolvimento, caracterizando uma copa cônica na fase juvenil, em que seus galhos crescem lateralmente.

Entretanto, quando alcança a fase adulta esse formato configura-se de maneira plana, identificando uma forma de umbela, com o crescimento dos galhos voltado para cima. O comprimento de copa das árvores de maiores dimensões tende a diminuir, justamente por seu formato obter uma característica mais plana, ao longo do seu desenvolvimento.

Foi possível gerar um modelo que descreveu o formato da copa, em que os raios de copa são estimados a partir da altura e do Dap da árvore. No entanto, são necessários estudos que abrangem diferentes sítios amostrais, bem como, uma amplitude diamétrica maior para gerar inferências para a espécie.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIENERT, A.; MAAS, H.G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial LASER scanner point clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. **In:** Workshop on 3D Remote Sensing in Forest, 14-15. Vienna, 2006.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. A. da. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em araucária. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 3, p. 429 - 438. 2013.
- DANIEL, T.W.; HELMS, J.A. ; BACKER, F.S. **Princípios de Silvicultura**, Mcgraw-Hill, México, 1982. 492 p.
- DURLO, M.A.; SUTILI, F.J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p 79-89, 2004.
- FARO Technologies. Manual: **FARO Laser Scanner Focus3D**. 186 p. 2011. Disponível: https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf. Acesso em: novembro de 2016.
- HASENAUER, H. **Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten-Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände**. TU Wien: Universität für Bodenkultur, Institut für Waldwachstumsforschung, 1994. v.8.
- HAWLEY, R.C. & SMITH, D.M. **Silvicultura prática**. Ediciones Omega, Barcelona, 1972. 544 p.
- HERTEL, R.J.G. **Interpretação morfológica da *Araucaria angustifolia***. Curitiba, 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. 1980.
- HESS, A. F.; CALGAROTTO, A. R.; PINHEIRO, R.; WANGINIAC, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337-345, 2010.
- HESS, A. F.; MINATTI, M.; FERRARI, L.; PINTRO, B. A. Manejo de Floresta Ombrófila Mista pelo método de Liocourt, Município de Paineiras, SC. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 575-580, 2014.

HOPKINSON, C.; CHASMER, L.; YOUNG-POW, C.; TREITZ, P. Assessing forest metrics with a ground-based scanning LIDAR. **Canadian Journal of Forest Research**, 34, pp. 573-583, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. 271 p.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T.T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa, Fund. Calouste Gulbdkian, 1972. 74 5 p.

LASER SCANNING EUROPE. **FARO Foco 3D 120**. Disponível em: <http://www.laserscanning-europe.com/en/glossary/faro-focus-3d-120>. Acesso em: novembro de 2016.

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63. p. 1-3, 2008.

LINGNAU, C.; LINGNAU, C.; MURIEL, A.; MACHADO, L.; COLLA, F. L. Determinação de diâmetros em diferentes alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE 2009. p. 5031 – 5038.

MÁRQUEZ, A.. **Un tratado sobre el escaner terrestre TLS**. Mecinca, 2010.

NOGUEIRA, A. C. **Reação do Crescimento Radial da Araucaria angustífolia (Bert.) O. Ktze em Florestas Naturais que Sofreram Corte Seletivo**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1989.

OLIVEIRA, Y. M. M. **Correlações entre parâmetros dendrométricos em Araucaria angustifolia, utilizando fotografias aéreas**. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.

PÁL, I. Measurements of forest inventory parameters on terrestrial *LASER* scanning data using digital geometry and topology. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. xxxvii – B3b. Beijing, 2008.

REITZ, R; KLEIN, L.M. **Araucariaceas**. Itajai, Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 62 p.

REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto Madeira de Santa Catarina**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 378p.

SAS Institute. **The SAS System for Windows**. Cary: SAS Institute. 2004.

SEITZ, R. A. Erste Hinweise für die waldbauliche Behandlung von Araukarienwäldern. **Annales des Sciences Forestières**, n. 43, p. 327 - 338, 1986.

SILVA, M. N.; SILVA, M. N.; BUCK, A. L. B.; LINGNAU, C.; MACHADO, A. M. L.; MARTINS NETO, R. P.; PESK, V. A. Laser scanner terrestre para medições florestais – princípios e aplicações. **Revista Brasileira de Cartografia**, p. 1143-1152, 2013.

STELLINGWERF, D. A. Applications of aerial volume tables and aspects of their construction. In: SYMPOSIUM IUFRO S 6.05. REMOTE SENSING INCLUDING AERIAL-PHOTOGRAPHY. 1973, Freiburg. **Proceedings...** Freiburg: Freiburg Universität, p. 211-228.

THIES, M.; SPIECKER, H. Evaluation and future prospects of terrestrial LASER scanning for standardized forest inventories. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. xxxvi – 8/w2. Freiburg, 2004.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield** : applications to mixed tropical Forests. Wallingford: CAB International, 1994. 330 p.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Araucaria angustifolia é uma das espécies de maior destaque da Floresta Ombrófila Mista, presente no planalto Catarinense, tanto pela importância ecológica quanto econômica que representa para a região. No entanto, a legislação imposta impede a exploração e uso sustentável da espécie, o que afeta a preservação dos remanescentes, que com o passar dos anos tendem a apresentar crescimento estagnado, comprometendo a regeneração natural, que tem como principal função, promover o desenvolvimento adequado da floresta.

Nesse sentido, as pesquisas apontam que é necessário realizar intervenções por meio do manejo sustentável, o qual possibilite a exploração desse ecossistema, e vincule a produção com a conservação dos remanescentes. O uso sustentável da araucária deve ter como objetivo principal a manutenção do equilíbrio ambiental, aliado ao desenvolvimento social e econômico da região.

Sendo assim, a legislação que vigora precisa passar por alterações, as quais permitam inserir as intervenções e o manejo em florestas nativas como uma técnica favorável para desenvolvimento das mesmas, e não como práticas de exploração predatória, que se remetem a destruição desses ecossistemas.

Além disso, novos estudos nas áreas de maior ocorrência de araucária são importantes para fortalecer o objetivo em preservar a partir do manejo sustentável, que garante a existência da espécie, e a conservação dos fragmentos naturais.