

**DIEGO VINCHIGUERRA DOS SANTOS**

**PADRÕES MORFOMÉTRICOS PARA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NA  
REGIÃO DO 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 obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

**Lages, SC**

**2018**

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

Vinchiguerra dos Santos, Diego  
Padrões morfométricos para Araucaria  
angustifolia (Bertol.) Kuntze na região do Planalto  
Sul Catarinense / Diego Vinchiguerra dos Santos.  
Lages , 2018.  
80 p.

Orientador: André Felipe Hess Dissertação  
(Mestrado) - Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2018.

1. Relações interdimensionais. 2. Morfometria. 3.  
Floresta com Araucária. 4. Araucária. 5.  
Pinheiro Brasileiro. I. Hess, André Felipe. II.  
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa  
de PósGraduação. III. Título.

**DIEGO VINCHIGUERRA DOS SANTOS**

**PADRÕES MORFOMÉTRICOS PARA *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze NA  
REGIÃO DO 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: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. André Felipe Hess  
(UDESC/Lages-SC)

**Membros**

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka  
(UDESC/Lages-SC)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
(UNICENTRO/Guarapuava-PR)

**Lages, SC, 23/02/2018.**



## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, pela educação, aprendizado e incentivo, indubitavelmente, esta etapa só foi possível com seus ensinamentos.

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

Ao órgão de fomento à pesquisa PROMOP, pela disponibilização da bolsa.

Ao professor orientador, André Felipe Hess, por ter conduzido com sabedoria meus estudos e por suas valiosas contribuições na confecção deste trabalho. E, também, pela parceria, orientação, paciência e incentivo durante o mestrado.

Aos professores Thiago Floriani Stepka e Geedre Adriano Borsoi, pelas sugestões durante a banca de qualificação.

Aos professores Luciano Farinha Watzlawick e Thiago Floriani Stepka, pela participação na banca deste trabalho e suas contribuições.

Aos amigos Engenheiros Florestais, colegas nas disciplinas do curso de mestrado, pela amizade e conhecimentos compartilhados.

A todos, que contribuíram de alguma maneira para nesta etapa de muito aprendizado.



## RESUMO

Os estudos relacionados à morfometria de espécies florestais buscam reconstituir o espaço ocupado pela árvore individual, avaliar o grau de concorrência, a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo. Contudo, os índices morfométricos podem variar para uma mesma árvore, dependendo das condições de crescimento, competição, forma da copa, altura, sítio, dificultando estabelecer o valor ideal do índice, bem como os limites mínimos e máximos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi ajustar um intervalo, ou valor padrão dos índices morfométricos para *Araucaria angustifolia*, que permitam obter valores de referência para auxiliar em intervenções silviculturais, planos de manejo e conservação da estrutura da Floresta com Araucária. Foram amostradas 1.111 árvores em diferentes sítios no Planalto Serrano de Santa Catarina. De cada árvore foi medido o diâmetro à altura do peito, a altura total, altura de inserção de copa e quatro raios de copa medidos nas direções dos pontos cardeais. Após calcular as variáveis morfométricas, foi avaliada a distribuição por classes através do histograma de frequências, calculada as estatísticas descritivas e avaliado o ajuste das distribuições as funções densidade de probabilidade. Para tanto, foram testados os modelos Normal, Log-normal, Weibull, Gama e exponencial, sendo o ajuste verificado através da estatística de Anderson-Darling juntamente com análise gráfica. Para determinar o valor padrão de referência foi utilizado o ponto de equilíbrio morfométrico. Além disso, a análise multivariada foi utilizada para compreender a inter-relação entre o número de árvores, variáveis dendrométricas, variáveis morfométricas e o sítio, sendo utilizadas as técnicas de análise de agrupamento, análise de componentes principais e análise fatorial. Os resultados mostraram ser possível determinar um intervalo de referência para cada índice morfométrico com base nas funções densidade de probabilidade, portanto esses intervalos podem ser utilizados como diretrizes em futuras intervenções na estrutura das florestas. Além disso, observaram-se diferenças no padrão morfométrico dos sítios estudados, em função de fatores relacionados ao sítio, densidade de árvores, competição, falta de regeneração, grau de intervenção passada, alterações na forma-dimensão, bem como a fatores ontogenéticos. A análise de agrupamento possibilitou observar os grupos formados pelas variáveis, que possuem características em comum. A análise de componentes principais revelou ser possível reduzir o conjunto de variáveis. Verifica-se, também, a influência do sítio na estabilidade, vitalidade e competição. Portanto, as diferenças observadas ao nível de sítio são devidas as alterações na dinâmica e na estrutura ocasionadas pelo não manejo da densidade, sendo o comportamento dessas variáveis (grau de esbeltez, proporção de copa, número de árvores) reflexo das alterações na forma-dimensão das árvores.

**Palavras-chave:** Relações interdimensionais. Morfometria. Floresta com Araucária. Araucária. Pinheiro-Brasileiro.



## ABSTRACT

Studies related to the morphometry of forest species seek to reconstitute the individual tree occupying space, to evaluate tree stability, vitality, productivity and the competition degree. However, morphometric indices may vary to same tree depending on growth conditions, competition, crown shape, height, site, making it difficult to establish the ideal value index, as well as the minimum and maximum limits. In this sense, the objective of this study was to adjust a range, or morphometric indices standard value for *Araucaria angustifolia*, which allow to obtain reference values to auxiliary in silvicultural interventions, management plans and conservation of the Araucaria Forest structure. A total of 1.111 trees were sampled at different sites on Santa Catarina state. From each tree was measured the diameter at breast height, total height, crown height and crown radius in the cardinal points directions. After calculating the morphometric variables were evaluated the frequency histogram, descriptive statistics and the distribution adjustment to density probability functions. For this, the Normal, Log-normal, Weibull, Gamma and Exponential models were tested, and the curve fit was verified through Anderson-Darling statistics along with graphical analysis. To determine the reference standard value the morphometric point of equilibrium was used. Furthermore, multivariate analysis was used to understand the interrelationship between the number of trees, dendrometric variables, morphometric variables and the site, using cluster analysis techniques, principal components analysis and factor analysis. The results indicated that it is possible to determine a reference interval for each morphometric index based on the adjusted probability density functions, so these intervals can be used as guidelines for future interventions in the forest structure. Besides, morphometric pattern was different in the studied sites, due to factors related to site, tree density, competition, lack of regeneration, past intervention degree, shape and size changes, as well as ontogenetic factors. The clustering analysis made it possible to observe the variables groups which present common characteristics. Principal component analysis revealed that it was possible to reduce the number of variables. The influence of the site on stability, vitality and competition was also verified. Therefore, differences observed on site level are due to changes caused by density management absence, and the behavior of these variables (slenderness coefficient, proportion of the crown, number of trees) reflects changes in tree shape and size.

**Palavras-chave:** Interdimensional relation. Morphometry. Araucaria Forest. Araucaria. Brazilian pine.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa com a localização geográfica da área de estudo, no estado de Santa Catarina. ....	36
Figura 2 – Curvas de distribuição diamétrica de <i>Araucaria angustifolia</i> estimadas pelas funções testadas para cada sítio, traçada sobre seu respectivo histograma de frequências, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	49
Figura 3 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o grau de esbeltez (GE) de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	53
Figura 4 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para a proporção de copa (PC%) de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	55
Figura 5 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o diâmetro de copa (DC) de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	58
Figura 6 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o formal de copa (FC) de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	60
Figura 7 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o índice de saliência (IS) de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral. ....	63
Figura 8 – Dendrograma do comportamento morfométrico de <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	64
Figura 9 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 2. ....	68
Figura 10 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 3. ....	69
Figura 11 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 4. ....	70



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sítios amostrados, método de amostragem em cada sítio de estudo e número de árvores amostradas. ....	37
Tabela 2 – Altitude, clima e tipo de solos dos sítios de estudo. ....	37
Tabela 3 – Funções densidade de probabilidade testadas para ajuste da distribuição do diâmetro e dos índices morfométricos de <i>Araucaria angustifolia</i> em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	41
Tabela 4 - Resumo estatístico das variáveis dendrométricas e morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> em cinco sítios no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	45
Tabela 5 – Espaço de crescimento estimado, número de árvores por hectare e área basal para cada classe de diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i> em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	47
Tabela 6 – Qualidade do ajustamento dos modelos de distribuição Normal, Log-normal, Weibull, Gama e Exponencial em relação a distribuição diamétrica de <i>Araucaria angustifolia</i> em cinco sítio no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	48
Tabela 7 – Resultado da análise do padrão morfométrico, limite inferior e superior e modelo escolhido para a distribuição das variáveis dendrométricas e morfométricas para araucária em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina. ....	51
Tabela 8 – Matriz de correlação das variáveis dendrométricas e morfométricas para araucária em floresta nativa no Sul do Brasil. ....	66
Tabela 9 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente. ....	67
Tabela 10 – Extração das componentes principais para cada variável. ....	67



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de componentes principais
AF	Análise Fatorial
CC	Comprimento de copa
cm	Centímetros
DAP	Diâmetro à altura do peito
DC ou dc	Diâmetro de copa
FC ou fc	Formal de copa
FDP	Função Densidade de Probabilidade
FOM	Floresta Ombrófila Mista
GE	Grau de esbeltez
HIC ou hic	Altura de inserção de copa
HT ou ht	Altura total
IA	Índice de abrangência
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IS	Índice de saliência
LAG	Lages
m	Metros
PC%	Proporção de copa
PNL	Painel
SJC	São José do Cerrito
SJQ	São Joaquim
URU	Urupema



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>22</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	22
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	<b>23</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>24</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE .....	24
4.2 MORFOMETRIA.....	25
4.3 FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE .....	27
<b>4.3.1 Distribuição Normal</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.2 Distribuição Log-normal</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3.3 Distribuição Weibull</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3.4 Distribuição Gama</b> .....	<b>30</b>
<b>4.3.5 Distribuição Exponencial</b> .....	<b>31</b>
4.4 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	31
<b>4.4.1 Análise de agrupamento</b> .....	<b>32</b>
<b>4.4.2 Análise de componentes principais</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4.3 Análise Fatorial</b> .....	<b>34</b>
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>36</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS AMOSTRADOS.....	36
5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	38
5.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	39
<b>5.3.1 Informação dendrométrica da floresta</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3.2 Ajuste e avaliação das Funções de Densidade da Probabilidade dos índices dendrométricos e morfométricos</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3.3 Estudo do padrão morfométrico</b> .....	<b>42</b>
<b>5.3.4 Análise multivariada</b> .....	<b>42</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>44</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS .....	44
6.2 AJUSTE DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE .....	48

<b>6.2.1 Diâmetro à altura do peito.....</b>	<b>48</b>
<b>6.2.2 Padrões morfométricos .....</b>	<b>50</b>
6.2.2.1 <i>Grau de esbeltez.....</i>	52
6.2.2.2 <i>Proporção de copa.....</i>	54
6.2.2.3 <i>Diâmetro de copa.....</i>	57
6.2.2.4 <i>Formal de copa.....</i>	59
6.2.2.5 <i>Índice de saliência.....</i>	62
<b>6.3 ANÁLISE MULTIVARIADA .....</b>	<b>64</b>
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As restrições vigentes a respeito do manejo florestal em florestas com araucária tornam necessária a obtenção de conhecimento sobre a situação em que se encontram as remanescentes desta tipologia florestal. Além do mais, estas restrições dificultam o processo de valorização da floresta com araucária, pois os proprietários de terras que contém fragmentos de floresta enxergam a floresta como um empecilho em sua propriedade, pois se trata de um recurso natural o qual não podem usufruir, para uso pessoal, ou como fonte de renda.

Com isto, o manejo e a utilização da madeira dessa espécie sofreram restrições legais, que objetivaram a proteção e preservação dos remanescentes da Floresta com Araucária. Segundo Hess et al. (2016), a maioria dos remanescentes deste tipo de floresta estão sem intervenção há mais de quatro décadas, devido especificamente a legislação restritiva com alegação de perda da variabilidade genética e falta de estudos sobre o uso sustentável da espécie.

Porém, deve ser considerado que a ausência de manejo pode prejudicar algumas características e até mesmo levar a diminuição em números de árvores desta espécie, pois, a conservação torna a floresta intocável e prejudica características como a regeneração natural, a variabilidade genética, a manutenção da estrutura diamétrica da floresta, a manutenção das taxas de crescimento e o desenvolvimento econômico da região de sua ocorrência.

Para Nutto (2001), o manejo de florestas dominadas por araucárias é muito restritivo, onde a proibição de seu uso significa uma desvalorização do bem, o que em alguns casos, terá como consequência a perda de interesse na conservação da matéria prima. Por isto, este autor sugere que formas de manejo que consideram o lucro juntamente com a conservação são mais eficientes.

Portanto, para ações sustentáveis de manejo florestal, há a necessidade de conhecimento sobre as características de desenvolvimento, dinâmica de crescimento da espécie e das mudanças da forma-dimensão das árvores com o tempo (ROMAN et al., 2009). Assim, o manejo florestal pode utilizar o conhecimento das relações morfométricas e da dinâmica das formas das árvores para aprimorar o período das intervenções silviculturais, bem como estabelecer critérios quando se deseja tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos com interesses econômicos (DURLO; DENARDI, 1998)

Os estudos relacionados à morfometria de espécies florestais buscam reconstituir o espaço ocupado pela árvore individual, avaliar o grau de concorrência de um povoamento, identificando ainda, dados sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo. As diferentes formas e dimensões das árvores e sua modificação ao longo do tempo,

possibilitam utilizar-se modelos matemático/estatísticos de concorrência e de crescimento a partir destes dados, para fins de manejo dessas espécies (HASENAUER, 1994; HASENAUER et al., 1995; PRETZSCH, 1995). Neste sentido, Durlo (2001) relatou que a morfometria da copa de espécies arbóreas, facilita a definição do espaço necessário para cada árvore no decorrer de seu crescimento, além de fazer inferências sobre produtividade, vitalidade e estabilidade de cada indivíduo.

No entanto, somente determinar estes índices morfométricos é insuficiente se isto for realizado isoladamente, ou seja, sem levar em consideração as diferenças existentes no comportamento destas variáveis através da ampla gama de dimensões das árvores presentes na floresta. Pois, sabe-se que, as árvores se comportam de maneira diferente conforme sua dimensão, o seu espaço disponível para crescimento, a qualidade do solo, entre outros fatores. Autores como Orellana e Koehler (2008), Costa et al. (2016), sugeriram que as características e relações morfométricas sejam analisadas de maneira diferente para cada posição sociológica.

Apesar de existir diversos estudos sobre morfometria, na literatura não há informações referentes ao valor de cada índice em árvores de pequeno, médio grande porte, de acordo com a densidade, para o conjunto da floresta ou árvores isoladas, que possa ser considerado ideal no sentido do aproveitamento dos recursos utilizados no crescimento da árvore, também não existem informações de um valor que possa embasar a intervenção silvicultural. Porém estas informações são de extrema valia, pois a análise balizada em um valor padrão ou de referência pode indicar a existência de árvores que não correspondem às expectativas de crescimento para determinado sítio.

Hess et al. (2016) em estudo das relações morfométricas de araucária encontrou o grau de esbeltez médio igual a 40,6, segundo o autor, indica que as árvores possuem baixa vitalidade e eficiência em espaço de crescimento, pois estão competindo por espaço apresentando crescimento em altura superior ao diâmetro. Para Adeyemi e Adesoye (2016), em estudo sobre o comportamento do grau de esbeltez em uma reserva florestal localizada na Nigéria, assinalaram que valores acima de 100 geralmente indicam baixa estabilidade, deixando a árvore ficar susceptível a deformações resultantes do seu próprio peso. Ainda segundo estes autores, para árvores em florestas, a relação altura-diâmetro menor que 80 indica excelente estabilidade. Já para Durlo e Denardi (1998) quanto menor o valor do grau de esbeltez, maior é a estabilidade da árvore.

Contudo, observa-se como é difícil interpretar valores para um determinado índice morfométrico, pois depende da espécie, da densidade, do sítio e condições de crescimento na floresta. Assim, o problema de estudo se caracteriza em encontrar um valor de referência para

índices morfométricos em floresta com araucária nativa e sem regime de manejo, que possa servir de base para possíveis intervenções silviculturais.

Para tanto, a análise da distribuição de frequência para os índices morfométricos é uma ferramenta importante no que diz respeito a situação atual de uma variável morfométrica em determinado sítio. Verificando o comportamento probabilístico da distribuição dos índices morfométricos, consegue-se identificar a quantidade de árvores que apresentam um comportamento padrão e, também, árvores que sequer apresentam um padrão, permitindo fazer inferências sobre a resposta daquelas árvores para a competição presente e passada, facilitando a definição de um valor padrão que possa balizar futuras intervenções e alterações na estrutura da floresta.

Segundo Machado et al. (1997) diversos são os modelos matemáticos apropriados para descrever distribuição de frequência por unidade de área em relação às classes sucessivas de diâmetro, sendo que os mais conhecidos envolvem o uso de funções de densidade probabilísticas. Contudo, as funções densidade de probabilidade (fdp), podem ser utilizadas para descrever o comportamento probabilístico de uma variável. As (fdp) mais empregadas na área florestal são: Gama, Beta, Normal, Exponencial, Weibull, SB de Johnson. Segundo Orellana (2009), existem diferentes métodos para estimar os parâmetros das funções densidade de probabilidade, tais como o método dos Momentos, Regressão, Máxima Verossimilhança e Percentis, além de outros estimadores que têm sido desenvolvidos por inúmeros pesquisadores nos últimos anos.

Porém, para entender como ocorrem as alterações no comportamento dos índices morfométricos deve-se conhecer suas inter-relações e também determinar quais são os índices que influenciam a forma e crescimento das árvores de araucária. Para isto, a estatística multivariada através das análises de agrupamento e análises de componentes principais podem auxiliar no entendimento da complexidade dimensional encontrada nas araucárias, pois a ausência de intervenções fez modificações na dinâmica de desenvolvimento das árvores.

## 2 OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Objetivo geral deste trabalho foi ajustar funções densidade de probabilidade para gerar um intervalo, ou valor padrão de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia*, que permitam obter valores de referência para auxiliar em intervenções silviculturais, planos de manejo e conservação da estrutura da Floresta com Araucária.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e descrever os sítios de estudo quanto ao comportamento das variáveis dendrométricas e morfométricas com base na distribuição diamétrica das árvores.
- Estabelecer os limites máximos e mínimos e um valor padrão para os índices morfométricos.
- Utilizar ferramentas da estatística multivariada para descrever o comportamento dos índices morfométricos, assim como entender as suas inter-relações.

### **3 HIPÓTESES**

1) Existe variação dos índices morfométricos e da morfologia da copa em relação a sua dimensão e nos diferentes sítios de estudo.

2) Ferramentas da estatística multivariada podem descrever o comportamento dos índices, suas inter-relações, bem como as relações com as características de cada sítio estudado.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DA ESPÉCIE

O Bioma Mata Atlântica, é considerado um dos ecossistemas mais ameaçados e de prioridade de conservação (RIBEIRO et al., 2009). Dentre as formações florestais deste Bioma, a Floresta Ombrófila Mista, também denominada “mata-de-araucária” ou “Floresta com Araucária”, é a mais característica (IBGE, 2012). A espécie mais abundante nessa fitofisionomia, sem dúvidas, é a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. As florestas de Araucária cobrem grandes extensões de terras nos estados da região Sul do Brasil, mas também estão presentes em algumas áreas na região Sudeste, bem como na Argentina e no Paraguai.

*Araucaria angustifolia* é uma árvore pertencente à família Araucariaceae. É uma espécie pioneira e domina o estrato superior. Originalmente, as florestas com araucária ocupavam 177.600 km<sup>2</sup> no Brasil e na Argentina 2.100 km<sup>2</sup> (GIRAUDO et al., 2013) em um intervalo entre as coordenadas de 19°15' – 31°30' S e 41°30' – 54°30' O e altitudes de 200 a 1.800 m.

Quando adulta, possui copa hemisférica e tronco retilíneo, cilíndrico, às vezes bifurcado, com altura de 10 a 35 m e diâmetro podendo alcançar até dois metros e meio (CARVALHO, 2003). Sendo o único representante nativo deste gênero no Brasil, é árvore de grande porte e segundo Ricken (2014), no passado desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural na região sul do país.

Através da forma de sua copa é possível identificar o estágio de desenvolvimento da espécie. Sendo que existem modificações nos estágios de juvenilidade, maturidade e senescência, Puchalski (2004) ressaltou que árvores jovens têm copa com formato cônico, e as que são adultas ou até mesmo em fase senescente apresentam a copa com formato de cálice.

A madeira é considerada leve, sendo pouco durável quando exposta ao tempo, apresenta boas características físicas e mecânicas (LORENZI, 1992). Possui superfície lisa e lustrosa, com coloração branca amarelada, apresenta boa trabalhabilidade e facilidade de colagem (CARVALHO, 2002).

No passado, a indústria madeireira do planalto sul brasileiro foi abastecida por matéria prima oriunda de espécies florestais nativas, entre elas a araucária, contribuindo com o desenvolvimento da economia das regiões onde ocorre naturalmente. O uso intenso da madeira dessa espécie, sem qualquer prática silvicultural visando à sustentabilidade, levou-a a categoria de vulnerável na lista de espécies ameaçadas de extinção (IBAMA, 1992; BRASIL, 2008). Fazendo com que a utilização da madeira desta espécie e o manejo, enfrentem várias proibições.

Portanto, a ausência de uma política florestal com medidas eficazes, seguindo os preceitos do manejo sustentável para as áreas de ocorrência da espécie, pode estar contribuindo para constante degradação desses ecossistemas, pois as florestas com araucária são vistas como elemento negativo perante os proprietários de áreas de sua ocorrência, bem como impedindo o desenvolvimento da regeneração natural da espécie (LOIOLA, 2016). Lacerda et al. (2012) ressaltaram que a legislação criou um antagonismo entre as florestas e os proprietários de terras fazendo que se evite, até mesmo, a regeneração destas florestas.

Segundo Shaaf et al. (2006), para que a Floresta Ombrófila Mista e suas principais famílias botânicas sejam efetivamente preservadas e continuem oferecendo seus benefícios diretos e indiretos, não basta apenas a rigidez das leis ambientais, mas também gerar conhecimento acerca da estrutura dos remanescentes dessa formação florestal, auxiliando, assim, a elaboração de novas técnicas de manejo que permitam conservar e utilizar racionalmente esses recursos.

#### 4.2 MORFOMETRIA

As variáveis morfométricas, no meio florestal, não receberam tanta importância quanto variáveis como o dap, a área basal, a altura, o volume (ASSMANN, 1961; STERBA, 1991). Porém, apesar de serem conceitos menos difundidos, também são de extrema importância para o manejo florestal.

Orellana e Koehler (2008) destacaram que algumas características dimensionais menos conhecidas, mas muito importantes para a determinação morfométrica da copa são a proporção de copa (PC), índice de saliência (IS), índice de abrangência (IA), formal de copa (FC) e Grau de Esbeltez (GE). Essas variáveis podem ser facilmente correlacionadas com o diâmetro à altura do peito, que é de fácil obtenção a campo, e pode ser utilizado como variável independente em equações de regressão.

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).

Conforme Burkhart e Tomé (2012), as características de copa têm sido eficazes para prever respostas a tratamentos silviculturais, como desbastes e aplicação de fertilizantes.

Devido a isto, as medidas da copa são frequentemente inseridas em modelos de crescimento para aprimorar predições no desenvolvimento dos povoamentos e resposta as práticas silviculturais.

As principais características morfométricas segundo Durlo e Denardi (1998) são o grau de esbeltez, a área de projeção de copa, proporção de copa, formal de copa, índice de saliência e índice de abrangência.

O grau de esbeltez, também conhecido como relação h/dap, é uma variável que caracteriza a estabilidade das árvores, quanto mais alto o grau de esbeltez, tanto mais instável é a árvore (DURLO; DENARDI, 1998).

A área de projeção horizontal de copa descreve o quanto de espaço a copa de determinada árvore ocupa no terreno. Podendo informar a zona de influência das copas (sobreposição) e o grau de concorrência da árvore (GETZIN et al., 2008), e apesar de não ser comumente mensurada em inventários florestais pode auxiliar no monitoramento da floresta (MCINTOSH et al., 2012).

A razão entre o comprimento de copa e altura total da árvore em porcentagem também é conhecido como a Proporção de Copa e indica a fração (%) que a copa abrange em relação à árvore. Quanto maior a porcentagem de copa, tanto mais vital e produtiva é a árvore (DURLO; DENARDI, 1998).

Orellana e Koehler (2008) definiram formal de copa como sendo a relação entre o diâmetro de copa e o comprimento de copa, quanto menor o valor encontrado, mais esbelta e maior é a capacidade produtiva da árvore, por outro lado, valores altos indicam copas achatadas. Durlo e Denardi (1998), assinalaram que formal de copa serve como critério para a marcação de desbastes, e também ressaltam que se duas árvores da mesma espécie tiverem o mesmo diâmetro de copa, produzirá mais por unidade de projeção de copa aquela que tiver um menor formal, ou seja, aquela que tiver copa mais esbelta, pois terá maior manto de copa, para uma mesma área de projeção.

O Índice de Saliência é a relação entre o diâmetro de copa e o dap, indica quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o dap. Quando se prevê o manejo de um povoamento não pela sua idade, mas pelo diâmetro atingido por seus componentes, pode-se determinar o número máximo de árvores por unidade de área, com o cálculo do índice de saliência, se existir uma correlação significativa com o dap. Portanto, este índice pode ser usado como indicador de desbaste, determinando, a qualquer tempo, o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore selecionada, para que esta cresça sem concorrência (DURLO; DENARDI, 1998).

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.

Em densidades altas, o número exagerado de árvores torna a quantidade disponível de nutrientes, água e luz insuficiente para alguns indivíduos, podendo causar a morte dos mesmos, que pode representar perdas no desenvolvimento das árvores. No entanto, quando a densidade é baixa, os nutrientes, água e radiação disponíveis no local não são aproveitados ao máximo, o que também pode resultar em uma produção insatisfatória (SCHNEIDER et al., 2009).

Klein et al. (2017) em estudo sobre as relações morfométricas de araucária, concluíram que as características de copa da espécie são influenciadas pelo diâmetro e pelo espaço ocupado por cada árvore no ambiente dimensional da floresta, onde verificou que a competição teve forte influência no comportamento morfométrico das árvores.

Costa (2015) ressaltou, que apesar da araucária modificar a forma geométrica da copa com o avanço da idade, o efeito de competição reflete diretamente no comprimento de copa, portanto variáveis de tamanho de copa são importantes medidas de vigor, tornando-se essenciais na utilização de modelos de mortalidade, crescimento e produção florestal.

Alguns autores indicam que há necessidade de intervenções que viabilizem a manutenção do desenvolvimento de indivíduos jovens, assim como propiciar a regeneração destes remanescentes florestais com araucária (MINATTI et al., 2016; LOIOLA, 2016; KLEIN et al., 2017).

#### 4.3 FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE

Grande parte dos estudos na área florestal as variáveis são consideradas contínuas, isto porque medidas como DAP, áreas e volumes, podem ser expressos por uma infinidade de valores dentro de um intervalo considerado (SILVA, 2003).

Ainda, segundo Silva (2003), no caso de variável aleatória contínua, a função de probabilidade recebe a denominação de função densidade de probabilidade, que deve verificar as seguintes condições: não haver probabilidade negativa; a área sobre o gráfico da função é igual a 1; e, a probabilidade da variável aleatória  $X$  assumir valor em um intervalo será dada pela integral da função deste intervalo, ficando estabelecido que a probabilidade em um

determinado intervalo corresponde à área determinada sob a região plana delimitada pela função neste intervalo.

As funções de densidade probabilística permitem a obtenção da probabilidade de árvores ocorrerem dentro de um determinado intervalo de classes diamétricas e são consideradas a melhor forma de descrever a estrutura diamétrica de uma espécie ou de uma floresta. Sendo importante, pois, o entendimento dessas distribuições que permitem futuras previsões, imprescindíveis para que os planos de manejo, fundamentados na otimização, sejam implantados (MARAGON et al., 2016).

As distribuições probabilísticas constituem conceitos fundamentais na estatística com aplicações práticas e teóricas, em que as frequências esperadas de ocorrência da variável aleatória são estimadas pelas funções probabilísticas. O emprego dessas funções vem sendo utilizado cada vez mais frequentemente, nos fatores que contribuíram para este maior uso, têm-se as facilidades de estimativas dos parâmetros dos modelos não lineares (GUIMARÃES, 2002). Podem ser agrupadas quanto aos picos de frequência (unimodal ou multimodais), simetria (simétricas ou assimétricas), tipo de curvatura (rígida ou flexível) e número de variáveis aleatórias (univariadas ou multivariadas) (EMBRAPA, 2002).

De acordo com as particularidades de cada espécie, torna-se imprescindível a escolha de um modelo que descreva com boa coerência o desempenho da variável de interesse (MACHADO et al., 2010).

Todavia, em muitos casos, os dados têm características que fogem aos modelos idealizados nas distribuições e acabam não se ajustando. Às vezes há necessidade de que o modelo seja mais flexível, devido a situações de grande variabilidade dos dados. Este fator faz com que as situações previstas nos modelos não se adaptem aos dados (SILVA, 2003).

Uma série de distribuições como a SB, Weibull, Beta, Gamma, Log-normal, Normal e a SB bivariada podem ser utilizadas como base para o sistema de previsão do crescimento e produção por classe diamétrica (SCOLFORO; THIERSCHI, 1998). Segundo Silva (2003), modelos contínuos como o normal, são amplamente utilizados quando se tem simetria no conjunto de dados. Já para situações em que há assimetria são utilizadas principalmente as distribuições Gama, Beta e Weibull.

#### **4.3.1 Distribuição Normal**

A distribuição normal tem ampla aplicação no campo da estatística experimental, pois grande parte das variáveis contínuas se distribuem segundo esta distribuição (STEPKA et al.,

2011). Segundo Seymour (1993) essa função é um dos exemplos mais importantes de distribuição de probabilidade contínua.

Esta função densidade de probabilidade foi desenvolvida no início do século XIX por Gauss. O gráfico tem forma de sino e é simétrico em relação à média, onde a variável aleatória pode assumir valores entre  $-\infty \leq X \leq +\infty$ , cuja função densidade de probabilidade é definida por dois parâmetros de locação ( $\mu$ ) e escala ( $\sigma$ ), sendo os estimadores a média e o desvio padrão amostral (LUNDGREN et al., 2015).

Silva (2003) relata que na área florestal podem ocorrer casos de povoamentos ou outras situações que se distribuem de acordo com o modelo normal. Entretanto, existem situações cujo conjunto de dados gera uma curva assimétrica. Nestas condições o modelo normal dificilmente terá um bom ajuste. Em florestas naturais, por exemplo, dificilmente este modelo será aderente.

#### **4.3.2 Distribuição Log-normal**

Uma variável aleatória ( $x$ ) possui uma distribuição lognormal se o  $\ln(x)$  for normalmente distribuído (LIMPERT et al., 2001). O gráfico da distribuição Lognormal assume formas dependendo dos valores de seus parâmetros. Sua função densidade pode ser apresentada por duas diferentes estruturas com dois ou três parâmetros, a função de três parâmetros é nomeada de forma geral da função densidade da distribuição Lognormal (LUNDGREN et al., 2015).

#### **4.3.3 Distribuição Weibull**

A função Weibull foi desenvolvida por Fischer e Tippet em 1928 e aplicada por Weibull em 1939 (PRODAN et al., 1997). É uma das funções mais destacadas e utilizadas no campo florestal. Pode ser apresentada e ajustada de duas maneiras: Weibull com dois parâmetros, neste caso, o parâmetro de locação é igual a zero ( $a = 0$ ); e Weibull de três parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $c$  são responsáveis pela locação, escala e forma da distribuição, respectivamente (ORELLANA, 2009).

Esta função vem demonstrando ser muito flexível e apropriada para o ajustamento das distribuições diamétricas em que há assimetria (SILVA, 2003). Pode ser utilizada para representar a distribuição diamétrica presente ou futura. Dentre as razões para a sua grande aplicabilidade é a facilidade de ajuste, podendo assumir diferentes formas e assimetrias, essa

versatilidade levou Weibull a se tornar o mais popular dos modelos de distribuição para dados florestais (WENDLING et al., 2011). Quando comparada a outras funções geralmente tem apresentado os melhores ajustes e seus parâmetros frequentemente apresentam boas correlações com variáveis dendrométricas (ORELLANA; FIGUEIREDO FILHO, 2017).

Maragon et al. (2016) testaram a função Weibull 3P, Sb Johnson, Normal, Log-normal, Gama, Beta e Meyer para avaliar a distribuição diamétrica de espécies lenhosas da Caatinga em Pernambuco. Concluíram que a função de Weibull foi a que melhor descreveu as espécies *Mimosa ophthalmocentra* e *Manihot carthaginensis*, além de ter desempenho superior as demais quando considerado todo o conjunto de dados.

Machado et al. (2010) avaliando a distribuição diamétrica de quatro espécies de *Lauraceae* em fragmento de Floresta Ombrófila Mista, concluíram que a função Weibull 3P foi a que melhor representou a série de diâmetros de *Ocotea puberula*.

Machado et al. (1997) testaram as funções Weibull, Beta, Log Normal, Normal e Gama para representar a distribuição diamétrica da araucária em florestas primárias e secundárias no Inventário Florestal do Pinheiro no sul do Brasil, abrangendo os estados do sul do Brasil. Nas florestas primárias, a distribuição apresentou a forma unimodal com pouca assimetria e, de acordo com os testes Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, a função Weibull foi a que melhor representou esta tipologia.

#### 4.3.4 Distribuição Gama

A função densidade de probabilidade Gama possui uma curvatura flexível, o que permite a descrição de diferentes tendências de distribuição. A mesma tem aplicação bastante difundida na pesquisa meteorológica, com a finalidade de estimar a probabilidade de precipitação mensal em determinado local (ARAÚJO JUNIOR et al., 2013). Conforme Guimarães (2002), essa função foi utilizada pelo matemático suíço Leonhard Euler já no século XVIII, onde vem sendo aplicada para descrever a distribuição diamétrica de povoamentos florestais desde a década de 1960.

Segundo Scolforo (1998) é uma função flexível, podendo ser aplicada em florestas nativas ou plantadas. Pode assumir ou ajustar-se a diferentes tipos de curvas, passando por diversos graus de assimetria.

Segundo Thom (1958) para  $0 < \alpha \leq 1$ , a distribuição Gama assume o formato de J. Para  $\alpha = 1$ , a distribuição é exponencial, com  $1/\beta$  em  $x = 0$ . Para  $\alpha < 1$  em  $x = 0$ , é infinita. Ainda, esta distribuição está intimamente ligada à distribuição Qui-quadrado.

Assim como a função de Weibull, a função Gama pode ser apresentada e ajustada de duas maneiras: Gama de dois parâmetros, sendo o parâmetro de locação igual à zero ( $\varepsilon = 0$ ); e Gama de três parâmetros, onde  $\beta$  é o parâmetro de escala,  $\alpha$  o de forma e  $\varepsilon$  o de locação. Thom (1958) comenta que a distribuição gama a dois parâmetros é um caso particular da distribuição de Pearson do Tipo III.

Araújo Junior et al. (2013), avaliou a função Gama para modelar a distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto. Concluíram que o emprego da função Gama de dois parâmetros resultou em estimativas precisas e livres de bias.

#### 4.3.5 Distribuição Exponencial

Nessa distribuição, à medida que  $X$  aumenta, a função  $f(x)$  resulta em probabilidades menores, pelo fato de se tratar do inverso de  $e^{x/\beta}$ . Desta forma pode-se concluir que a função é sempre decrescente. Este fato traz algumas limitações para sua aplicação (SILVA, 2003). A distribuição exponencial geralmente se ajusta bem a dados que apresentam forte assimetria, como histogramas em forma de “J” invertido, onde a característica de sua função densidade de probabilidade é possuir apenas um parâmetro ( $\beta$ ) estimado como o inverso da média (LUNDGREN et al., 2015).

Há uma série de situações em que os dados se distribuem pelo modelo exponencial. Especialmente no campo biológico e físico há inúmeros casos, como a vida de colônias de bactérias, a vida útil de lâmpadas etc. A referida distribuição também pode ser utilizada para descrever o comportamento do diâmetro de uma floresta, em que  $f(x)$  é a frequência e  $x$  representa a variável contínua dos diâmetros (SILVA, 2003).

#### 4.4 ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Os métodos estatísticos, para analisar variáveis, estão dispostos em dois grupos: um que olha as variáveis de maneira isolada – a estatística univariada, e outro que olha as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada. Muitos métodos estatísticos univariados são baseados na suposição de que os dados são normalmente distribuídos (VICINI; SOUZA, 2005).

A análise multivariada refere-se a todos os métodos estatísticos que analisam simultaneamente múltiplas medidas em cada indivíduo ou objeto sob investigação. Qualquer análise simultânea de mais de duas variáveis pode ser, de certa maneira, considerada como análise multivariada. Muitas técnicas multivariadas são simplesmente extensões de análises

univariadas (análise da distribuição de uma única variável) e análise bivariada (classificação cruzada, correlação, análise de variância e regressão simples) (VIALI, 2002).

#### 4.4.1 Análise de agrupamento

A análise de agrupamento ou *clustering* é a denominação para o grupo de técnicas computacionais cujo propósito consiste em separar objetos em grupos, baseando-se nas características que estes objetos possuem. A ideia básica consiste em colocar em um mesmo grupo objetos que sejam similares de acordo com algum critério pré-determinado (LINDEN, 2009; MAINLY, 2008).

A análise de agrupamento constitui uma metodologia numérica multivariada, com o objetivo de propor uma estrutura classificatória, ou de reconhecimento da existência de grupos, objetivando, mais especificamente, dividir o conjunto de observações em um número de grupos homogêneos, segundo algum critério de homogeneidade (VICINI; SOUZA, 2005).

Esta técnica pode ser usada para reduzir a dimensão de um conjunto de dados, reduzindo uma ampla gama de objetos à informação do centro do seu conjunto. Tendo em vista que *clustering* é uma técnica de aprendizado não supervisionado, pode servir também para extrair características escondidas dos dados e desenvolver as hipóteses a respeito de sua natureza (LINDEN, 2009).

Os métodos de encadeamento compreendem: encadeamento único (*single linkage*), encadeamento completo (*complete linkage*) e encadeamento médio (VICINI; SOUZA, 2005). Esses métodos baseiam-se em uma medida de similaridade ou dissimilaridade, sendo as medidas baseadas na distância euclidiana as mais utilizadas, podendo ser de três formas: distância euclidiana, distância euclidiana quadrada e distância euclidiana de Mahalanobis (CARVALHO et al., 2006).

Já os métodos de variância buscam gerar grupos que possam minimizar a variância dentro destes grupos. Dentre estes métodos, está o de Ward, que minimiza o quadrado da distância euclidiana às médias dos grupos. Um grupo será reunido a um outro se essa reunião proporcionar o menor aumento da variância intragrupo. Este método de variância calcula as médias de todas as variáveis para cada grupo, escolhendo a que proporciona a menor variância (VICINI; SOUZA, 2005).

Segundo Vicini e Souza (2005), a representação das sequências de agrupamentos formados é apresentada na forma de um gráfico de árvore, também chamado de dendrograma. O dendrograma expressa, no sentido da reta horizontal, a que distância cada produto está em

relação ao outro, ou seja, quanto menor à distância mais homogêneos são os produtos, e, no sentido da reta vertical, a distância que cada grupo foi formado. Geralmente o corte é realizado na metade da maior distância, podendo-se utilizar outros critérios para realizá-lo.

Gerhardt et al. (2001), utilizou a análise de agrupamento na classificação de sítios através de aspectos físicos e morfológicos do solo, bem como os nutrientes presentes na serapilheira, em um povoamento de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Canela.

Souza e Souza (2006), utilizaram esta técnica para propor um método de estratificação em classes homogêneas de estoque volumétrico da Floresta Ombrófila Mista Densa, localizada na Unidade de Manejo Florestal da Fazenda Tacarajás em Paragominas, PA.

Longhi (1997) aplicou esta técnica na estratificação de comunidades florestais em Floresta Ombrófila Mista na sub-bacia hidrográfica do Rio Passo Fundo, RS.

#### **4.4.2 Análise de componentes principais**

A análise de componentes principais (ACP) é elaborada para reduzir o número de variáveis que necessitam ser consideradas a um número menor de índices (chamados de componentes principais) os quais são combinações lineares das variáveis originais. Ainda, fornece uma maneira objetiva de encontrar índices de modo que a variação nos dados pode ser levada em consideração tão concisamente quanto possível, permitindo a obtenção de um bom resumo das variáveis originais através de dois ou mais componentes, tornando muito mais fácil entender o que os dados têm a dizer (MAINLY, 2008).

A ACP é uma técnica matemática da análise multivariada, que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis. Possibilita, também, a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disso, transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais (CP) de dimensões equivalentes. Essa transformação, em outro conjunto de variáveis, ocorre com a menor perda de informação possível, sendo que também busca eliminar algumas variáveis originais que possuam pouca informação. Essa redução de variáveis só será possível se as  $p$  variáveis iniciais não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos (VICINI; SOUZA, 2005).

Cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação e em termos da variação total, contida nos dados iniciais. Existem dois critérios para determinar o número de componentes a serem utilizados na análise. O primeiro critério consiste em incluir

somente aquelas componentes cujos valores próprios sejam superiores a 1, ou que possuam variância igual ou superior a 70%. Geralmente, este método tende a resultar num pequeno número de componentes quando o número total de variáveis é menor que 20 (MAINLY, 2008; MARDIA et al., 1979).

O segundo método, denominado de método gráfico, representa, graficamente, a percentagem de variação explicada pela componente nas ordenadas, e os autovalores em ordem decrescente nas abscissas. Quando essa percentagem diminui, e a curva passa a ser praticamente paralela ao eixo das abscissas, exclui-se as componentes que restam, pois possuem pouca informação (VINICI; SOUZA, 2005).

Embora existam diversos métodos para encontrar os autovalores e autovetores, a ACP é a que melhor desempenha este papel, sem que o pesquisador possua um profundo conhecimento, pois dessa forma sempre se tem a garantia de se obter fatores únicos e não correlacionados (JOHNSON, 1995).

Castro et al. (2013), utilizou a análise de agrupamento, de componentes principais e de correlação canônica para avaliar os melhores clones de eucalipto para produção de carvão vegetal de alta qualidade.

#### **4.4.3 Análise Fatorial**

A Análise Fatorial (AF) é formada por um conjunto de técnicas estatísticas, e possui como objetivo reduzir o número de variáveis iniciais, identificar novas variáveis, em um número reduzido em relação às variáveis iniciais, sem uma perda significativa de informação contida nos dados originais. A AF não se refere, apenas, a uma técnica estatística, mas a um conjunto de técnicas relacionadas, para tornar os dados observados mais claros para a interpretação. Isso é feito analisando-se os inter-relacionamentos entre as variáveis, de tal modo que essas possam ser descritas convenientemente por um grupo de categorias básicas, em número menor que as variáveis originais, chamado fatores (VICINI; SOUZA, 2005).

Mainly (2008) estabelece os seguintes passos para a realização de uma análise fatorial: formulação do problema; construção da matriz de correlação; determinação do método de análise fatorial; determinação do número de fatores; rotação dos fatores; interpretação dos fatores; cálculo das cargas fatoriais ou escolha de variáveis substitutas e, determinação do ajuste do modelo.

Conforme Reis (1997), “a matriz de correlação poderá permitir identificar subconjuntos de variáveis que estão muito correlacionadas entre si no interior de cada subconjunto, mas

pouco associadas a variáveis de outros subconjuntos”. Nesse caso, utilizar a técnica de AF permitirá concluir se é possível explicar esse padrão de correlações mediante um menor número de variáveis.

A base fundamental para a análise de fator através dessas duas técnicas multivariadas (ACP e AF), é que as variáveis escolhidas podem ser transformadas em combinações lineares de um conjunto de componentes (fatores) hipotéticos, ou despercebidos. Os fatores podem ser associados com uma variável individual (fatores únicos), ou, ainda, associados com duas ou mais das variáveis originais (fatores comuns). As cargas são responsáveis por relacionar a associação específica entre os fatores e as variáveis originais (MAINLY, 2009; VICINI; SOUZA, 2005; MARDIA et al., 1997).

Os conceitos da Análise Fatorial são, conforme Pereira (2001):

- *eigenvalue*: corresponde aos autovalores e à variância total, que pode ser explicada pelo fator. Ou seja, avalia a contribuição do fator ao modelo construído pela análise fatorial. Se a explicação da variância pelo fator for alta, existe uma alta explicação desse fator ao modelo, se for baixa, existe uma baixa explicação do fator ao modelo.

- *factor loading*: é a proporção de variação da variável, que é explicada pelo fator, ou, ainda, o quanto cada variável contribui na formação de cada componente.

- *factor score*: são os autovetores que definem as direções dos eixos da máxima variabilidade. Representam a medida assumida pelos objetos estudados na função derivada da análise.

- *communality*: é a medida de quanto da variância, de uma variável, é explicada pelos fatores derivados pela análise fatorial. Avalia a contribuição da variável ao modelo construído pela AF, ou seja, o quanto cada variável participa na formação da outra. Nas *communality*, os valores mais altos são os mais importantes para análise.

- *factor matrix*: é a matriz de correlação entre as variáveis originais e os fatores encontrados.

Amaral et al. (2014), utilizaram a técnica de análise fatorial para propor um processo metodológico alternativo ao método de Braun-Blanquet, na classificação de espécies conforme o valor de cobertura.

Llanillo et al. (2006), apresentaram uma caracterização da agricultura do estado do Paraná e grupos de municípios do Paraná, a partir de indicadores mensuráveis relativos a fatores econômicos, sociais, tecnológicos e dos recursos naturais na agricultura. Os resultados mostraram que foi possível explicar 66,7% da variância através de sete fatores, sendo estes fatores distribuídos em grupos de dez municípios organizados em nove mesorregiões.

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SÍTIOS AMOSTRADOS

Os sítios amostrados são remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados no Planalto Serrano de Santa Catarina (Figura 1). As árvores amostradas em cada local foram agrupadas por sítio, denominado com o nome do município em que a floresta está localizada, sendo o total de cinco sítios: São Joaquim (SJQ), Paineira (PNL), Urupema (URU), Lages (LAG) e São José do Cerrito (SJC). Os sítios, o processo de amostragem e o número de árvores amostradas estão indicados na Tabela 1.

Figura 1 – Mapa com a localização geográfica da área de estudo, no estado de Santa Catarina.

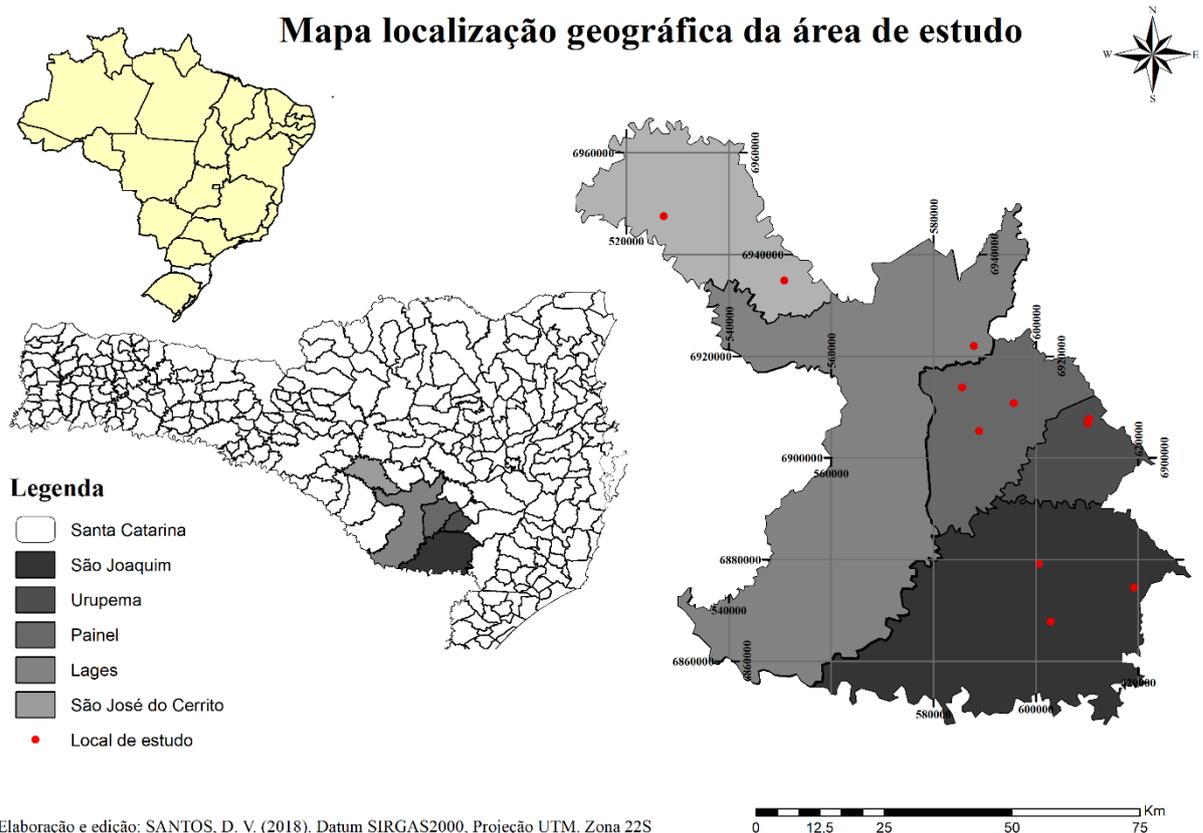


Tabela 1 - Sítios amostrados, método de amostragem em cada sítio de estudo e número de árvores amostradas.

Local	Sítio	n	Tipo de amostragem	Fonte
1		63	Árvore individual	Loiola (2016)
2	São Joaquim (SJQ)	53	Árvore individual	Loiola (2016)
3		70	Árvore individual	Minatti et al. (2016)
4		62	Árvore individual	Loiola (2016)
5	Painel (PNL)	127	ACA	---
6		70	Árvore individual	Minatti et al. (2016)
7	Urupema (URU)	61	Árvore individual	Loiola (2016)
8		70	Árvore individual	Minatti et al. (2016)
9	Lages (LAG)	332	Parcela de área fixa	Silveira et al. (2018)
10	São José do Cerrito (SJC)	77	ACA	---
11		127	Árvore individual	Klein et al. (2017)
<b>Total</b>		1.111		

Em que: n = número de árvores amostradas; ACA: área de contagem angular, método de Bitterlich banda=2; Parcela de área fixa: 25 UA's (400m<sup>2</sup>) instaladas sistematicamente. Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Observa-se que o processo de amostragem diferiu entre os locais estudados, no entanto, para as análises deste trabalho considerou-se a árvore individual, pois o foco do estudo é identificar o padrão para os índices morfométricos, sendo o diâmetro uma base de referência e altamente correlacionado com a forma da copa. Com as informações da copa também foi possível calcular a densidade (N/ha) a qual também tem correlação com a forma da copa e assim informar sua influência na morfometria e estrutura da floresta. Já na Tabela 2, estão apresentadas as informações referentes ao clima e classificação dos solos da região de estudo.

Tabela 2 – Altitude, clima e tipo de solos dos sítios de estudo.

Sítio	Altitude (m) <sup>1</sup>	Temperatura média (°C) <sup>1</sup>	Precipitação média (mm) <sup>1</sup>	Tipo de solos <sup>2</sup>
SJQ	1.352	14	1.683	Neossolo Litólico; Cambissolos Háplicos; Neossolos Litólicos Eutróficos.
PNL	1.123	15,3	1.543	Neossolo Litícos Distroúmibricos; Cambissolos Háplicos.
URU	1.324	14,1	1.634	Cambissolo húmico; Neossolo litólico; Nitossolo bruno distrófico.
LAG	987	15,2	1.685	Nitossolos háplicos; Cambissolos húmicos.
SJC	876	16,1	1.570	Neossolos Litólicos; Cambissolos.

Em que: SJQ: São Joaquim; PNL: Painel; URU: Urupema; LAG: Lages; SJC: São José do Cerrito. <sup>1</sup>: (ALVARES et al., 2013); <sup>2</sup>: (SANTOS et al., 2013). Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

## 5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Foram amostradas 1.111 árvores no total em floresta nativa inequiânea, cuja densidade varia de 250 a +500 indivíduos por hectare (HESS et al., 2010; HESS et al., 2014). Em todas as árvores foram medidos o diâmetro à altura do peito (dap), igual ou maior que 10cm utilizando-se fita métrica, altura total (h) e altura de inserção de copa (hic) e quatro raios de copa medidos nas direções cardeais, norte, sul, leste e oeste com auxílio de bússola e Trupulse 200. Com isto foi possível calcular os índices morfométricos:

a) Comprimento de copa (cc)

$$cc = h - hic$$

Em que: h = altura total, em metros; hic = altura de inserção do primeiro galho vivo, em metros.

b) Grau de Esbeltez (GE)

$$GE = h/dap$$

Em que: h = altura total, em metros; DAP = diâmetro à altura do peito, em metros.

c) Diâmetro de copa (dc)

$$dc = 2 * \overline{rcm}$$

Em que:  $\overline{rcm}$  = raio da copa médio, em metros.

d) Proporção de copa (PC%)

$$PC\% = \frac{cc}{h} * 100$$

Em que: cc = comprimento da copa, em metros; h = altura total, em metros.

e) Formas de copa (FC)

$$FC = dc/cc$$

Em que: dc = diâmetro da copa, em metros; cc = comprimento da copa, em metros.

f) Índice de saliência (IS)

$$IS = dc/dap$$

Em que: dc = diâmetro de copa, em metros; DAP = diâmetro à altura do peito, em metros.

g) Índice de abrangência (IA)

$$IA = dc/h$$

Em que: dc = diâmetro da copa, em metros; h = altura total, em metros.

h) Área de projeção de copa (APC)

$$APC = dc^2\pi/4$$

Em que: dc = diâmetro de copa, em metros;  $\pi = 3,1428$ .

i) Número de árvores por hectare (N/ha):

$$N/ha = \frac{1}{Ec \cdot Sc}$$

Em que: Ec = espaço de crescimento por hectare ( $dc^2\pi/40000$ ); Sc= sobreposição de copas considerando a correção para espaçamento hexagonal regular (0,8660).

### 5.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de cada sítio foram classificados individualmente por classe diamétrica e morfometria. Em cada sítio foram calculadas as estatísticas descritivas de média, desvio padrão, coeficiente de variação, limite superior e inferior de cada variável através do pacote estatístico SAS Academic Edition com o auxílio do procedimento PROC MEANS (SAS INSTITUTE, 2012).

Cada sítio foi avaliado através do histograma de frequências a distribuição diamétrica e os índices morfométricos: grau de esbeltez (GE), proporção de copa (PC%), diâmetro de copa (DC), formal de copa (FC), índice de saliência (IS) e índice de abrangência (IA). O número de classes foi determinado pelo método de Sturges, o intervalo entre classes foi obtido pela razão entre a amplitude total e o número de classes.

#### 5.3.1 Informação dendrométrica da floresta

Para demonstrar a situação atual dos sítios de estudo, calculou-se o espaço de crescimento por classe diamétrica através da área ocupada pela copa, conforme Costa (2015). Para tal, utilizou-se regressão linear simples para o diâmetro de copa em função do diâmetro a

altura do peito sendo os coeficientes estimados individualmente para cada sítio, conforme Equação 1, a seguir.

$$dc = \beta_0 + \beta_1 DAP \quad (1)$$

Em que:  $DC_{est}$  = diâmetro de copa estimado (m);  $\beta_0, \beta_1$  = parâmetros estimados por regressão linear simples; DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

O espaço de crescimento (Ec) da árvore amostrada em hectare foi calculado pela Equação 2:

$$Ec = \frac{dc^2 \pi}{40000} \quad (2)$$

Em que: Ec = espaço de crescimento por hectare. DC = diâmetro de copa (m);  $\pi = 3,1416$ .

O número de árvores representado por hectare foi calculado pela Equação 3:

$$N/ha = \frac{1}{Ec \cdot Sc} \quad (3)$$

Em que: N/ha = número de árvores por hectare; Ec = espaço de crescimento por hectare; Sc = sobreposição de copas considerando a correção para espaçamento hexagonal regular (0,8660).

O cálculo da área basal por hectare (G) foi realizado pela Equação 4:

$$G = \left( \frac{DAP^2 \pi}{40000} \right) \cdot N/ha \quad (4)$$

Em que: G = área basal por hectare ( $m^2/ha$ ); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); N/ha = número de árvores por hectare.

### **5.3.2 Ajuste e avaliação das Funções de Densidade da Probabilidade dos índices dendrométricos e morfométricos**

Os dados observados foram avaliados com o uso de funções de densidade de probabilidade de cada variável, onde foram testadas as funções de distribuição Normal, Log-

normal, Weibull e Gama (Tabela 3). Para a distribuição do diâmetro a altura do peito (DAP), também foi testada a função Exponencial. Os parâmetros das distribuições foram estimados por meio do método da máxima verossimilhança. Todos os ajustes foram efetuados através do procedimento PROC CAPABILITY do pacote estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 2012).

Tabela 3 – Funções densidade de probabilidade testadas para ajuste da distribuição do diâmetro e dos índices morfométricos de *Araucaria angustifolia* em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina.

Função	Fórmula	Condições
Normal <sup>a</sup>	$f(X; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \alpha)^2}{2\beta^2}\right)$	$\alpha$ = média populacional $\beta$ = desvio padrão populacional
Log-normal <sup>b</sup>	$f(x; \alpha, \beta, m) = \frac{e^{-\frac{(\ln(x-\alpha))^2}{2\beta^2}}}{(x - \alpha)\beta\sqrt{2\pi}}$	$\alpha$ = parâmetro de localização $\beta$ = parâmetro de forma $m$ = parâmetro de escala
Gama <sup>c</sup>	$f(x) = \frac{1}{(\beta^\alpha \Gamma(\alpha) + (x - \varepsilon)^{\alpha-1})} \cdot \exp\left[-\frac{x - \varepsilon}{\beta}\right]$	$\alpha$ = parâmetro de forma $\beta$ = parâmetro de escala ( $\beta > 0$ ) $\varepsilon$ = menor valor observado.
Weibull <sup>c</sup>	$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \cdot \left(\frac{x - a}{b}\right)^{c-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x - a}{b}\right)^c\right]$	$a$ = parâmetro de localização $b$ = parâmetro de escala $c$ = parâmetro de forma
Exponencial <sup>d</sup>	$f(x) = \begin{cases} \beta \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} & \text{para } x \geq 0, \beta > 0 \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases}$	$\beta$ = parâmetro da função $e$ = número de Euler

Em que: <sup>a</sup> (MEYER, 1978); <sup>b</sup> (LIMPERT et al. 2001); <sup>c</sup> (SCHNEIDER et al. 2009); <sup>d</sup> (SILVA, 2003). Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para avaliar a qualidade do ajuste utilizou-se o teste de Anderson-Darling considerando 5% de probabilidade, onde o desempenho do modelo foi avaliado conforme o valor de probabilidade associada a estatística. Valores não significativos indicam ajuste, em contrapartida, valores significativos indicam que não houve ajuste. Quando não houve ajuste à 5%, optou-se pelo modelo que se ajustou à 1% de probabilidade.

A estatística de Anderson-Darling, também conhecido como Qui-quadrado de Anderson-Darling é uma forma de estimativa da distância mínima, sendo uma das estatísticas mais poderosas para detectar a maioria das formas de normalidade. Porém, em tamanhos de

amostras muito grandes pode rejeitar a suposição da normalidade com ligeiras imperfeições (SCHNEIDER et al., 2009).

Possui duas aplicações principais: 1) teste da hipótese nula de que um lote de dados é uma amostra aleatória de uma população normalmente distribuída; 2) teste da qualidade do ajustamento de uma distribuição (SAS INSTITUTE, 2012). Segundo Floriano (2008), quando seu valor é significativo, entende-se que a amostra não é aleatória no respectivo teste, ou que não houve ajustamento da distribuição. A estatística de Anderson-Darling ( $A^2$ ) é definida pela Equação 5, a seguir:

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(2i-1) \log U_{(i)} + (2n+1-2i) \log(1-U_{(i)})] \quad (5)$$

Em que:  $A^2$  = estatística de Anderson-Darling;  $U = F(X)$  = transformação da integral de probabilidade variável  $X$ ;  $X$  = variável morfométrica considerada;  $n$  = número de observações independentes;  $i$  = número da observação;  $\log$  = logaritmo natural.

### 5.3.3 Estudo do padrão morfométrico

Visando descrever o comportamento de distribuição de probabilidade dos índices morfométricos dos sítios de estudo, buscou-se identificar um valor padrão de referência para cada índice. Para determinar este valor padrão de referência foi utilizado o ponto de equilíbrio morfométrico, que descreve o padrão de distribuição de uma variável, conforme Sanquetta et al., (2014).

Para tal, utilizou-se o gráfico de distribuição de frequências e a tabela de frequências geradas pelo PROC CAPABILITY (SAS INSTITUTE, 2012) para cada variável (GE, PC%, DC, FC, IS e IA) e para cada sítio (SJQ, PNL, URU, LAG e SJC). Portanto, o intervalo onde verificou-se maior presença de árvores foi determinado como o valor padrão do índice morfométrico. Com isto, foi possível determinar as condições atuais das árvores na estrutura da floresta e fazer inferências sobre sua condição atual em termos de forma da copa e crescimento.

### 5.3.4 Análise multivariada

A análise multivariada foi aplicada para se entender a inter-relação entre o número de árvores, variáveis dendrométricas, variáveis morfométricas e o sítio. A planilha de dados

considerou todos os sítios de estudo, sendo composta de uma matriz de 1.111 x 12, considerando 1.111 árvores (linhas), e 12 variáveis (colunas), que incluiu o número de árvores por hectare estimado pela Equação 3 (N), o diâmetro à altura do peito (DAP), a altura total (HT), a altura de inserção de copa (HIC), o comprimento de copa (CC), o diâmetro de copa (DC), a proporção de copa (PC%), o grau de esbeltez (GE), o formal de copa (FC), o índice de saliência (IS), o índice de abrangência (IA) e a área de projeção de copa (APC). Como variável suplementar foi utilizado os sítios (SJQ, PNL, URU, LAG e SJC). As análises foram realizadas por meio do *software Statistica 7.0* (STATSOFT INC, 2004).

As unidades associadas às variáveis podem, arbitrariamente, afetar o grau de similaridade entre os objetos, devido a isto, padronizou-se o conjunto de dados, de maneira a eliminar a influência que uma variável poderia causar sobre a outra, tanto para medir a similaridade das variáveis quanto para a formação das componentes. Pois, conforme Vicini e Souza (2005), a padronização dos dados faz com que esse efeito da arbitrariedade seja eliminado, fazendo com que as variáveis possuam a mesma contribuição no cálculo do coeficiente de similaridade entre os objetos.

Primeiramente foi realizado o dendrograma das variáveis através da Análise de Agrupamento, agrupando os produtos em função de suas características. Utilizou-se o método do encadeamento completo (*Complete Linkage*), que se baseia na distância máxima entre os objetos, sendo a distância entre dois grupos calculada entre seus dois pontos mais afastados (VICINI; SOUZA, 2005).

A medida métrica empregada na análise de agrupamento foi o coeficiente de correlação de Pearson. Com base neste coeficiente, foi tracejada a linha fenon, a qual delimita um nível igual à metade da distância total, interceptando os ramos e classificando os grupos, conforme recomendado por Mainly (2008).

Posteriormente, utilizou-se a análise de componentes principais (ACP) e a análise fatorial (AF), para identificar quais as variáveis são relevantes para entender o comportamento morfométrico da araucária, e a análise fatorial para verificar as relações entre as variáveis. Para isso, utilizou-se a correlação entre as componentes principais e as variáveis originais, e o círculo unitário. Por meio destas técnicas foi possível verificar as variáveis que melhor representam a morfometria, bem como suas inter-relações. A inclusão das componentes principais na análise foi baseada nos autovalores, onde incluiu-se as componentes com valores superiores a um (autovalor > 1) conforme sugerido por (MARDIA et al., 1979).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS

As características dendrométricas e morfométricas das árvores amostradas nos sítios de estudo são apresentadas na Tabela 4, onde é possível observar, que a variável altura total apresentou médias semelhantes entre os sítios e também obteve pouca variação dentro do sítio. O contrário foi observado em relação ao diâmetro à altura do peito (DAP), sendo o sítio de São Joaquim (SJQ) o maior DAP médio, onde também foi encontrada a árvore com maior dimensão (DAP = 127,6cm). Em contrapartida, os sítios de Lages (LAG) e São José do Cerrito (SJC), apresentaram as menores médias com 29,0 e 33,8cm de diâmetro.

A altura de inserção de copa (HIC) obteve o maior valor médio no sítio de SJQ, demonstrando que as árvores apresentam maior diâmetro à altura do peito (DAP), menor comprimento de copa (CC) e, conseqüentemente, menor proporção de copa (PC) (Tabela 4). Este comportamento denota que as árvores são mais velhas, sendo indicador de intervenção silvicultural na floresta (HESS et al., 2016).

O comprimento de copa (CC) teve alta variabilidade dentro de cada sítio, apresentando Coeficiente de Variação superiores a 35%. Em São José do Cerrito (SJC) as árvores apresentaram o maior comprimento de copa médio, indicando que neste sítio a quantidade de fuste aproveitável é menor em comparação aos demais. Menores valores de comprimento de copa, segundo Loiola (2016), são indicativos de maior fuste aproveitável, árvores de maior dimensão, autodesbate, competição e menor proporção de copa, assim, reduzindo a capacidade fotossintética da árvore e por fim diminuindo seu crescimento.

O diâmetro de copa (DC) apresentou menores valores em todos os sítios, em que o maior valor médio foi observado em SJQ, e o menor em LAG (Tabela 4). Menores valores de DC indicam menos espaço para desenvolvimento lateral da copa representando o nível de competição por espaço e recurso que as árvores individuais estão submetidas, provavelmente em decorrência da ausência de manejo. Ao passo que, também pode estar relacionado com a idade desses indivíduos, pois segundo Hess et al. (2016) árvores mais jovens tendem a ter menor diâmetro de copa.

Tabela 4 - Resumo estatístico das variáveis dendrométricas e morfométricas para *Araucaria angustifolia* em cinco sítios no Planalto Sul de Santa Catarina.

Variável	Local	Média	CV (%)	Valor mínimo	Valor máximo
DAP (cm)	SJQ	55,9	39,7	20,0	127,6
	PNL	51,2	29,0	17,8	94,2
	URU	46,3	31,0	18,8	89,4
	LAG	29,0	51,5	10,1	88,5
	SJC	37,3	38,6	11,5	97,1
HT (m)	SJQ	18,4	20,2	7,9	32,6
	PNL	17,7	19,8	9,2	27,7
	URU	15,7	18,7	8,8	23,0
	LAG	16,2	26,5	6,4	26,5
	SJC	16,4	16,6	7,2	23,7
HIC (m)	SJQ	14,6	26,8	5,3	28,6
	PNL	12,9	28,2	3,5	21,0
	URU	9,9	29,6	4,4	20,2
	LAG	11,0	34,1	3,1	19,3
	SJC	8,8	31,6	2,5	16,8
CC (m)	SJQ	3,7	49,3	0,2	10,9
	PNL	4,8	52,7	0,4	12,2
	URU	5,8	37,0	0,3	13,1
	LAG	5,2	48,9	0,5	14,9
	SJC	7,6	37,8	0,9	17,9
DC (m)	SJQ	10,4	26,3	4,2	18,3
	PNL	8,6	40,2	1,1	22,9
	URU	8,8	24,7	4,1	15,9
	LAG	5,5	53,3	0,0	14,3
	SJC	7,7	41,4	2,7	20,5
PC (%)	SJQ	20,8	50,9	1,3	63,4
	PNL	27,5	52,4	2,7	72,7
	URU	37,3	33,5	2,3	66,9
	LAG	32,4	43,2	3,3	70,8
	SJC	46,1	32,0	5,1	84,8
GE	SJQ	37,0	35,1	14,3	77,1
	PNL	36,7	29,3	19,3	99,9
	URU	36,23	29,6	20,0	82,7
	LAG	65,8	35,9	20,8	134,7
	SJC	48,8	31,1	13,5	93,7
FC	SJQ	3,7	91,2	0,8	39,8
	PNL	2,6	86,3	0,2	22,1
	URU	2,0	166,1	0,8	38,7
	LAG	1,3	76,1	0,0	8,4
	SJC	1,2	76,4	0,3	7,7
IS	SJQ	20,2	26,7	6,9	41,2
	PNL	16,7	29,4	3,5	32,2
	URU	20,0	22,9	8,6	31,4
	LAG	20,0	37,0	0,0	62,6
	SJC	21,0	19,8	12,8	35,9
IA	SJQ	0,6	31,8	0,2	1,8
	PNL	0,5	36,7	0,1	1,0
	URU	0,6	25,3	0,3	0,9
	LAG	0,3	43,4	0,0	0,8
	SJC	0,5	42,4	0,2	1,6

Onde: CV%: coeficiente de variação (%); SJQ: São Joaquim; PNL: Painele; URU: Urupema; LAG: Lages; SJC: São José do Cerrito; DAP: diâmetro à altura do peito (cm); HT: altura total (m); HIC: altura de inserção de copa (cm); CC: comprimento de copa (m); DC: diâmetro de copa (m); PC: proporção de copa (%); GE: grau de esbeltez; FC: formal de copa; IS: índice de saliência; IA: índice de abrangência. Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Os sítios que apresentaram menor proporção de copa (PC%) foram os de São Joaquim e Pánel, onde também ocorreram as maiores variações (Tabela 4). Menores valores de PC% mostram que as árvores têm maior DAP, o que indica redução do crescimento em altura pois já atingiram o dossel superior, assim apresentam maior quantidade de fuste livre e maior idade (HESS et al., 2016). Isto ocorre devido a característica da espécie de modificar a forma da copa com o avanço da idade, pois conforme ocorre o crescimento em diâmetro a proporção de copa diminui (COSTA et al., 2016). Por outro lado, se observa que em SJC as árvores têm grande proporção de copa em decorrência da baixa densidade que ocasionou a expansão horizontal da copa e maior espaço lateral de crescimento, pois segundo Assman (1970) este índice é uma medida de vigor sendo fortemente influenciado pelos efeitos relacionados a competição

O grau de esbeltez (GE) médio nos sítios São Joaquim, Pánel e Urupema variou em torno de 36, com uma variação dentro de cada sítio de ( $CV \approx 35\%$ ), indicando que nestes sítios as árvores cresceram menos em altura do que em diâmetro. Indica também que esses sítios tem uma menor densidade, menor competição, sítios com menor qualidade, maior retirada de árvores no passado e altitude. Diferentemente dos sítios de Lages e São José do Cerrito, que apresentaram grau de esbeltez médio de 65,8 e 48,8, respectivamente, caracterizando maior densidade e competição. Adeyemi e Adesoye (2016), estudando uma reserva florestal na Nigéria, assinalaram que florestas com valor de grau de esbeltez menor que 80 possuem excelente estabilidade. Os valores máximos indicam que em Lages e Pánel existem árvores com grande instabilidade ( $GE > 100$ ). Durlo e Denardi (1998) sugerem que quanto maior o valor deste índice em florestas puras e equiâneas pode indicar a necessidade de desbaste.

Na Tabela 5 está representada a situação atual dos sítios de estudo em relação ao espaço de crescimento, número de árvores por hectare e área basal para cada classe diamétrica, sendo possível visualizar que os sítios SJC e URU maiores valores de DC tanto nas classes iniciais ( $DAP < 30\text{cm}$ ) quanto nas classes mais avançadas ( $DAP > 70\text{cm}$ ). Indicando que quando as medidas do diâmetro de copa e do espaço de crescimento são maiores, diminui o N/ha, conseqüentemente ocorre um aumento nos valores de área basal. Já nos sítios de LAG e SJC, visualizam-se menores valores de diâmetro de copa e espaço de crescimento e um total de árvores por hectare maior em relação aos demais sítios.

Segundo Loiola (2016), o espaço de crescimento disponível para as árvores afeta suas variáveis dendrométricas e, conseqüentemente, influencia na capacidade produtiva e nas demais características do povoamento.

Tabela 5 – Espaço de crescimento estimado, número de árvores por hectare e área basal para cada classe de diâmetro para *Araucaria angustifolia* em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina.

DAP	São Joaquim				Painel				Urupema				Lages				São José do Cerrito			
	dc <sub>est</sub>	Ec	N/ha	G	dc <sub>est</sub>	Ec	N	G	dc <sub>est</sub>	Ec	N	G	dc <sub>est</sub>	Ec	N	G	dc <sub>est</sub>	Ec	N	G
10	6,9	0,0038	308	2,42	1,2	0,0001	10433	81,94	4,9	0,0019	602	4,73	2,6	0,0005	2154	16,92	2,4	0,0005	2450	19,24
20	7,7	0,0046	250	7,84	3,0	0,0007	1659	52,13	6,0	0,0028	407	12,78	4,2	0,0014	829	26,06	4,4	0,0015	753	23,65
30	8,4	0,0056	207	14,60	4,8	0,0018	647	45,75	7,1	0,0039	293	20,72	5,7	0,0026	436	30,81	6,3	0,0031	360	25,46
40	9,2	0,0066	174	21,83	6,6	0,0034	342	42,99	8,2	0,0052	221	27,80	7,3	0,0042	268	33,69	8,3	0,0054	210	26,45
50	10,0	0,0078	148	29,09	8,3	0,0055	211	41,45	9,2	0,0067	173	33,95	8,9	0,0062	181	35,62	10,2	0,0082	138	27,07
60	10,7	0,0090	128	36,14	10,1	0,0081	143	40,47	10,3	0,0083	139	39,25	10,5	0,0086	131	36,99	12,2	0,0116	97	27,49
70	11,5	0,0104	111	42,88	11,9	0,0112	103	39,79	11,4	0,0101	114	43,84	12,1	0,0114	99	38,03	14,1	0,0156	72	27,80
80	12,2	0,0118	98	49,26	13,7	0,0148	78	39,29	12,4	0,0121	95	47,83	13,6	0,0146	77	38,83	16,1	0,0202	56	28,04
90	13,0	0,0133	87	55,25	15,5	0,0189	61	38,91	13,5	0,0143	81	51,32	15,2	0,0182	62	39,47	18,0	0,0254	44	28,23
100	13,8	0,0149	78	60,87	17,3	0,0235	49	38,61	14,6	0,0167	69	54,40	16,8	0,0222	51	40,00	19,9	0,0312	36	28,37

Em que: DAP: diâmetro à altura do peito; dc<sub>est</sub>: diâmetro de copa estimado por regressão linear simples; Ec: espaço de crescimento por hectare; N/ha: número de árvores por hectare; G: área basal por hectare (m<sup>2</sup>/ha). Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

## 6.2 AJUSTE DAS FUNÇÕES DENSIDADE DE PROBABILIDADE

### 6.2.1 Diâmetro à altura do peito

Podem ser visualizados no Tabela 6, os valores calculados da estatística de Anderson-Darling bem como a probabilidade associada. Valores não significativos indicam que as frequências esperadas e observadas são similares sob o ponto de vista estatístico. Entretanto, valores significativos indicam que o modelo é inadequado para descrever a distribuição diamétrica em questão. Também se verifica que para os sítios em Urupema e Painei a distribuição normal se ajustou, enquanto o modelo de Weibull se ajustou aos dados de São Joaquim ( $p > 0,05$ ), Painei, Urupema, Lages, São José do Cerrito e, também, quando considerado todos os sítios ( $p > 0,01$ ), comprovando a flexibilidade deste modelo. Já o modelo Gama se ajustou apenas em São José do Cerrito.

Tabela 6 – Qualidade do ajustamento dos modelos de distribuição Normal, Log-normal, Weibull, Gama e Exponencial em relação a distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* em cinco sítio no Planalto Sul de Santa Catarina.

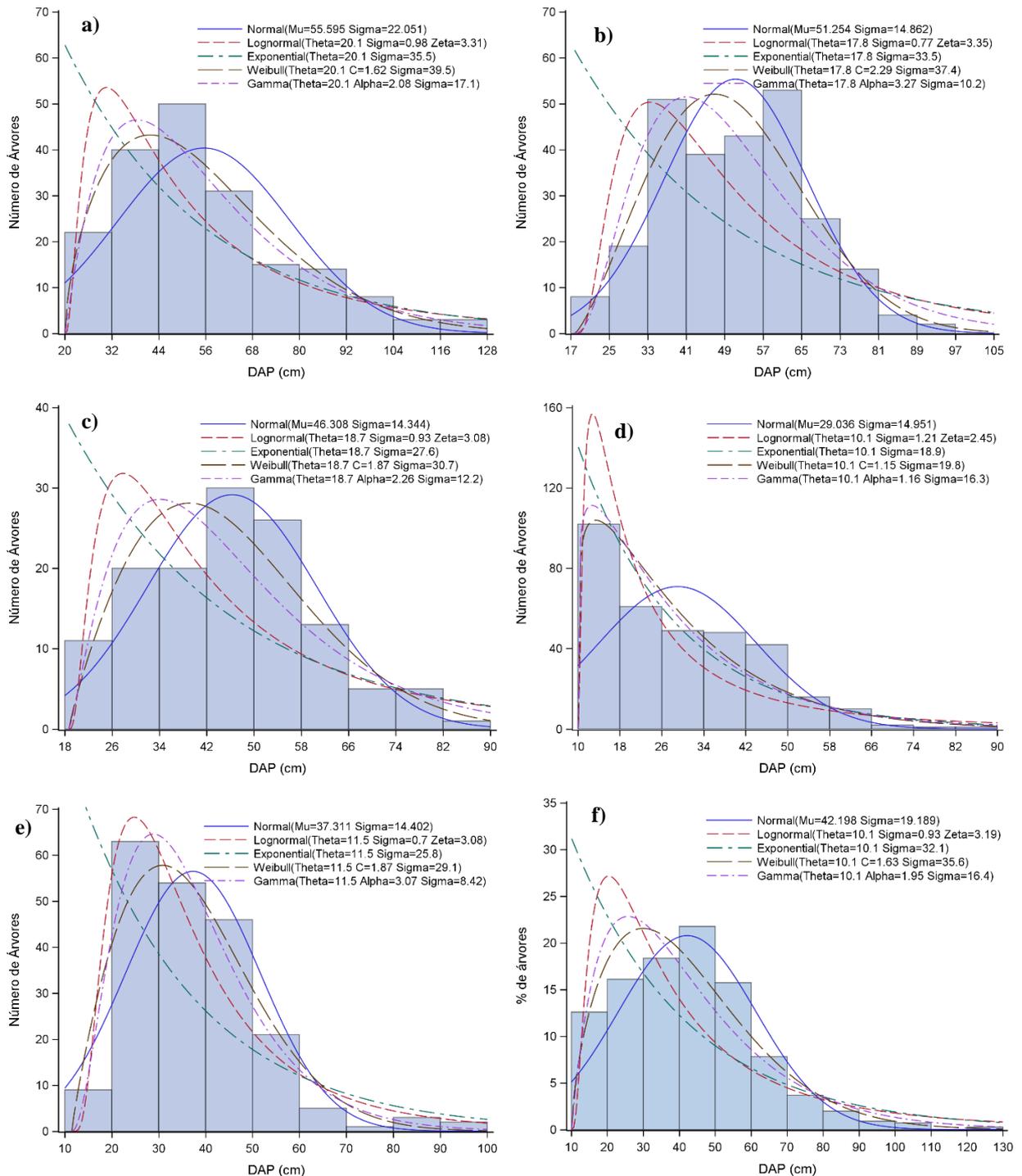
Sítio	Normal		Lognormal		Weibull		Gama		Exponencial	
	A <sup>2</sup>	p	A <sup>2</sup>	p	A <sup>2</sup>	P	A <sup>2</sup>	p	A <sup>2</sup>	p
<b>SJQ</b>	3,7114	0,005**	6,8344	0,005**	0,8106	0,036*	1,2025	0,005**	12,2665	0,001**
<b>PNL</b>	0,6685	0,084	13,1596	0,005**	0,9589	0,016*	3,8747	0,001**	34,2267	0,001**
<b>URU</b>	0,4125	0,250	7,7785	0,005**	1,2409	0,010*	3,0213	0,001**	12,4545	0,001**
<b>LAG</b>	6,8141	0,005**	8,1044	0,005**	2,9823	0,011*	3,0676	0,001**	3,6007	0,001**
<b>SJC</b>	3,7882	0,005**	3,4992	0,005**	1,3893	0,010*	0,7328	0,061	21,3068	0,001**
<b>Geral</b>	4,9579	0,005**	45,7278	0,005**	6,6866	0,010*	15,898	0,001**	70,6489	0,001**

Onde: SJQ: São Joaquim; PNL: Painei; URU: Urupema; LAG: Lages; SJC: São José do Cerrito; A<sup>2</sup>: estatística de Anderson-Darling para qualidade do ajustamento de modelo de distribuição; p: probabilidade associada ao modelo; (\*): significativo (5% de probabilidade); (\*\*): altamente significativo (1% de probabilidade). Valores em azul indicam ajuste do modelo. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A Figura 2 mostra que os sítios de SJQ, PNL, URU e SJC possuem semelhança no padrão da distribuição diamétrica, apresentando a maioria das árvores nas classes intermediárias de diâmetro (30 – 60cm). Sendo estas as árvores, que após a última intervenção na floresta, tiveram condições favoráveis ao crescimento e hoje ocupam o dossel superior. Todavia, em SJC nota-se grande número de árvores com diâmetro menor do que 30cm, podendo

ser um indicativo de maior grau de competição por espaço, em relação aos sítios de SJQ, PNL e URU, pois apresentaram menor frequência de árvores nas classes iniciais de diâmetro. Já em Lages, a distribuição apresentou formato de J-invertido, porém não se obteve ajuste do modelo exponencial (Tabela 6).

Figura 2 – Curvas de distribuição diamétrica de *Araucaria angustifolia* estimadas pelas funções testadas para cada sítio, traçada sobre seu respectivo histograma de frequências, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As diferenças observadas entre os sítios, indicam que as florestas estudadas apresentam diferenças em sua estrutura e dimensão, estando relacionada ao grau de intervenção passada e suas condições de recurso ao desenvolvimento (Tabela 2), e na atualidade, comprometimento de uma estrutura futura, pois o maior número de árvores concentra-se nos maiores diâmetros, indicando também que pode não estar ocorrendo novos ingressos, regeneração natural e mortalidade de árvores.

A análise e estudos anteriores tais como Minatti et al. (2016), Hess et al. (2016), indica estagnação do incremento médio anual em diâmetro, o que justifica a concentração de árvores nas classes intermediárias de diâmetro e menor número de indivíduos nas classes de menor e maior diâmetro, o que pode ser verificado para todos os locais de estudo (Figura 2).

### **6.2.2 Padrões morfométricos**

Os resultados da análise do valor padrão para os índices morfométricos por sítio são apresentados na Tabela 7, onde é possível observar os limites superior e inferior do padrão morfométrico para cada índice, bem como a proporção de árvores que o padrão representa no sítio. Também se observa a equação escolhida, seus parâmetros e a probabilidade da estatística de Anderson-Darling associada ao modelo.

Verifica-se, ainda, que o modelo de Weibull obteve melhor desempenho em mais de 50% das análises realizadas, indicando a grande capacidade de ajuste e flexibilidade dessa função, o que corrobora autores como Maragon et al. (2016), Machado et al. (2010), Machado et al. (1997) que também tiveram bons resultados no ajuste do modelo de Weibull.

Tabela 7 – Resultado da análise do padrão morfométrico, limite inferior e superior e modelo escolhido para a distribuição das variáveis dendrométricas e morfométricas para araucária em diferentes sítios no Planalto Sul de Santa Catarina.

Sítio	Índice morfométrico	Padrão morfométrico			Modelo (FDP)	Parâmetros			Prob. > A <sup>2</sup>
		Lim. Inferior	Lim. Superior	Frequência relativa (%)		Localção	Escala	Forma	
SJQ	DAP	32	68	65	Weibull	20,1	39,5	1,62	0,036
	GE	21	42	62	Weibull	14,26	25,44	1,77	0,250
	PC (%)	8	29	74	Weibull	1,31	21,88	1,89	0,078
	DC (m)	6	14	87	Normal	10,39	2,73	-	0,250
	FC	0,7	4,7	76	Gama	0,76	1,68	1,64	0,031
	IS	10	26	85	Normal	20,17	5,38	-	0,007
PNL	DAP	33	65	72	Normal	51,254	14,862	-	0,084
	GE	28	46	71	Weibull	19,35	19,40	1,66	0,010
	PC (%)	10	34	63	Weibull	2,66	27,79	1,75	0,250
	DC (m)	7	11	50	Normal	8,57	3,44	-	0,029
	FC	0	2	54	Gama	0,17	1,48	1,56	0,500
	IS	12	21	65	Normal	16,69	4,91	-	0,250
URU	DAP	26	58	74	Normal	46,308	14,344	-	0,25
	GE	27	43	70	Gama	19,90	6,88	2,38	0,021
	PC (%)	18	58	92	Normal	37,28	12,50	-	0,250
	DC (m)	7	10	57	Weibull	4,00	5,41	2,30	0,073
	FC	0,7	1,7	62	Gama	0,70	0,65	1,62	0,090
	IS	14	26	81	Weibull	8,60	12,69	2,55	0,021
LAG	DAP	10	19	31	Weibull	10,1	19,8	1,15	0,011
	GE	32	68	58	Gama	20,70	14,16	3,18	0,025
	PC (%)	10	52	87	Weibull	3,30	32,66	2,13	0,010
	DC (m)	3	6	46	Weibull	0,40	5,85	1,87	0,189
	FC	0	2	93	Weibull	0,11	1,12	1,50	0,010
	IS	14	26	68	Weibull	2,80	19,54	2,53	0,010
SJC	DAP	20	50	80	Gama	11,5	8,42	3,07	0,061
	GE	31	67	75	Weibull	13,60	10,00	3,51	0,051
	PC (%)	32	68	87	Weibull	5,08	45,60	2,77	0,011
	DC (m)	4	10	75	Gama	2,70	2,02	2,49	0,027
	FC	0	2	90	Weibull	0,26	1,03	1,27	0,015
	IS	16	24	72	Weibull	12,80	9,16	1,98	0,012
Geral	DAP	10	60	85	Weibull	10,1	32,1	1,63	0,010
	GE	21	54	69	Weibull	13,50	38,49	1,74	0,010
	PC (%)	8	48	80	Weibull	1,30	35,08	2,05	0,198
	DC (m)	2	12	85	Weibull	0,40	8,42	2,30	0,250
	FC	0	3	81	Weibull	0,11	2,03	1,27	0,010
	IS	10	30	92	Weibull	2,80	18,59	2,98	0,010

Onde: SJQ: São Joaquim; PNL: Painei; URU: Urupema; LAG: Lages; SJC: São José do Cerrito; DAP: diâmetro à altura do peito (cm); DC: diâmetro de copa (m); PC: proporção de copa (%); GE: grau de esbeltez; FC: formal de copa; IS: índice de saliência; Freq. (%): frequência relativa do intervalo; Prob. > A<sup>2</sup>: Probabilidade da estatística de Anderson-Darling associada ao modelo. Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

### 6.2.2.1 Grau de esbeltez

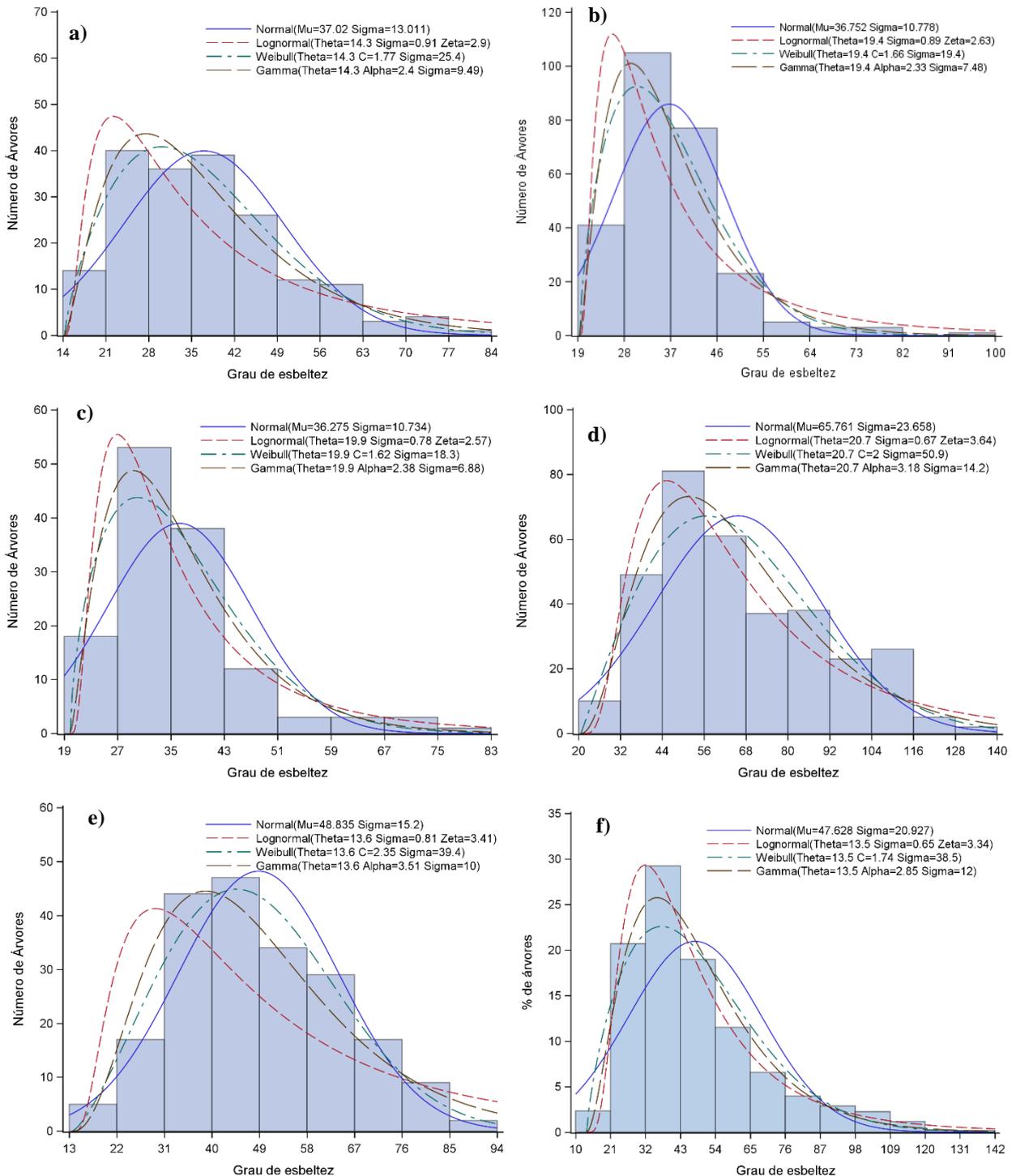
O grau de esbeltez demonstra a relação do crescimento em altura com o diâmetro. Maiores valores indicam árvores altas e estreitas, ou seja, onde a altura teve crescimento desproporcional ao diâmetro. Quanto maior o valor do grau de esbeltez mais instável é a árvore (ADEYEMI e ADESOYE, 2016). Portanto, quanto menor este valor mais estável é a árvore, ou seja, ela dispendeu o recurso disponível para seu desenvolvimento proporcionalmente entre altura e diâmetro. Estes autores ressaltaram a influência da densidade neste índice, onde áreas com maior densidade de árvores por hectare apresentam maior taxa de competição por luz entre as árvores, o que resulta em altos valores para o grau de esbeltez.

Nos sítios de São Joaquim, Paineira e Urupema os limites do padrão morfométrico são semelhantes (Tabela 7), onde a maior parte da amostra apresentou grau de esbeltez inferior a 43 (Figura 3), denotando que existe estabilidade no formato das árvores (DURLO e DENARDI, 1998). Isto caracteriza árvores adultas que já estabilizaram seu crescimento, e sítio com menor número de árvores por hectare (ADEYEMI e ADESOYE, 2016; COSTA, 2015).

Para estes sítios (SJQ, PNL e URU), no intervalo 21-46 fica caracterizado o ponto de equilíbrio morfométrico em decorrência da demanda das árvores pelos recursos como água, luz, nutrientes e estabilidade dimensional (SANQUETTA et al., 2014). Todavia, as árvores situadas acima do limite superior deste intervalo ( $GE > 46$ ) são árvores com maior instabilidade, pois devido a competição houve crescimento em altura desproporcional ao crescimento em diâmetro.

Em Lages e São José do Cerrito, o padrão morfométrico está localizado no intervalo entre 31-68 (Tabela 7). Isto demonstra que as árvores possuem maior instabilidade onde houve crescimento desproporcional da altura em relação ao diâmetro ocasionado pela competição, que obrigou as árvores a buscar luz nos estratos superiores da floresta. Além disto, em LAG, observa-se que aproximadamente 28% das árvores apresentaram grau de esbeltez superior a 80 (Figura 3d), este fato pode estar associado com o espaço de crescimento, área basal e número de árvores por hectare do sítio (Tabela 5). Contudo, quanto maior o número de árvores por hectare, maior a taxa de concorrência por luz entre as árvores o que resulta em maior valor para o grau de esbeltez (ADEYEMI e ADESOYE, 2016; COSTA, 2015; HARJA et al., 2012).

Figura 3 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o grau de esbeltez (GE) de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Paineira, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

A instabilidade da relação h/dap pode ocasionar um desequilíbrio e até a futura perda de indivíduos, conforme considerado por Adeyemi e Adesoye (2016), que altos valores do grau de esbeltez implicam que as árvores estão correndo alto risco de sofrerem dano, quebrarem ou

tombarem somente pelo seu próprio peso e/ou também em decorrência de algum desastre natural como ventos e tempestades.

As diferenças observadas nos sítios (SJQ, PNL, URU) provavelmente se devem ao menor número de árvores destes sítios (Tabela 5), ou seja, árvores sob menor competição onde no passado tiveram maior espaço para crescimento. Ao passo que isso também pode ser consequência da baixa densidade de indivíduos nas classes diamétricas iniciais e a baixa, ou até mesmo, inexistência de regeneração, seja por fatores bióticos ou abióticos, fazendo com que as árvores estabilizassem seu crescimento criando seu próprio padrão.

Pode ser observado que em Lages, a distribuição diamétrica apresentou formato de J-invertido (Figura 2d), ou seja, maior porção de indivíduos nas classes mais baixas, isto também teve forte influência no comportamento do grau de esbeltez deste sítio. Ademais, a regeneração também é baixa e, somado à ausência de intervenção durante quatro décadas, fez com que as árvores da floresta se desenvolvessem mais verticalmente do que horizontalmente. Conforme Liu et al. (2003) florestas que permaneceram por muitas décadas sem desbaste, o crescimento em altura se torna desproporcional ao crescimento em diâmetro.

Caracteriza-se assim um padrão para o grau de esbeltez entre 40 a 65, indicando ser o valor de referência para as condições atuais da floresta e de acordo com seu desenvolvimento passado. Os padrões diferenciam-se em relação aos valores em floresta plantada. Há que se considerar que como não ocorre intervenção na floresta, grande parte das árvores amostradas encontra-se estabilizada, pois alcançaram o seu desenvolvimento em altura, aumentando somente sua dimensão diamétrica.

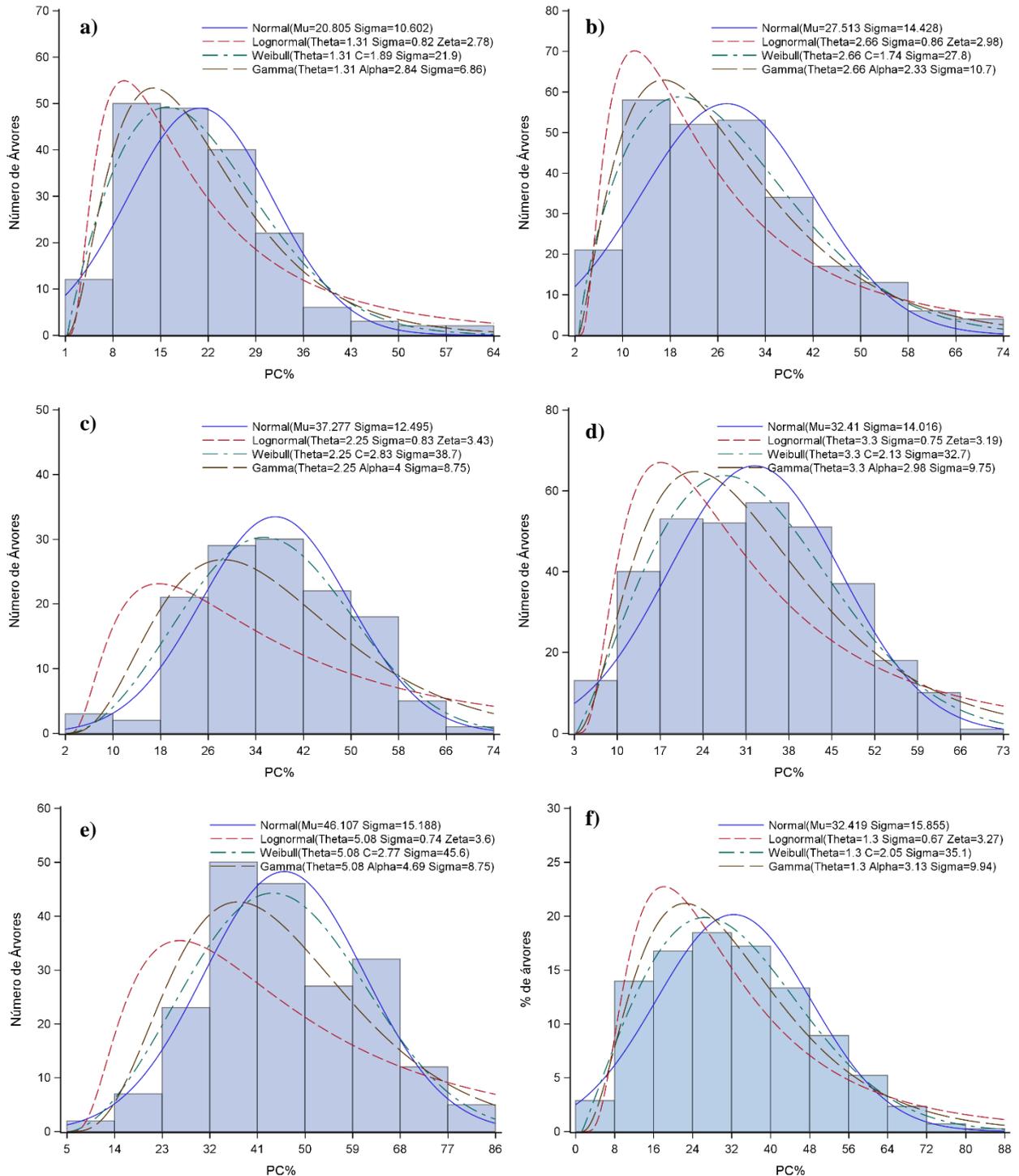
Portanto, considerando os fatores locais dos sítios estudados para as florestas de araucária o grau de esbeltez padrão encontrado é em torno de 55, acima deste ponto as árvores desta espécie são consideradas instáveis e provavelmente são resultado de fatores como densidade do sítio, competição e falta de regeneração.

#### *6.2.2.2 Proporção de copa*

Em araucária, conforme Seitz (1986) o formato da copa tende a se modificar conforme ocorre o desenvolvimento da árvore. A tendência em árvores jovens é apresentarem menor diâmetro de copa (DC), maior comprimento de copa (CC), e formato cônico (menor forma de copa), perfazendo grandes valores de proporção de copa. E conforme ocorre o desenvolvimento da árvore, espera-se que as árvores apresentem grande diâmetro (DAP), menor proporção de copa (PC%), maior idade, maior porção de fuste livre (menor CC), tenham grau de esbeltez

estável, pois já integram o dossel superior apresentando diminuição do incremento em altura (HESS et al., 2016). Na Figura 4, se observa a distribuição da proporção de copa por sítio estudado, bem como as funções densidade de probabilidade ajustadas para cada sítio.

Figura 4 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para a proporção de copa (PC%) de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Paineira, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

Nos sítios de São Joaquim e Paineira, verifica-se que o padrão de distribuição (Figura 4) bem como o padrão morfométrico (Tabela 7) são semelhantes, sendo possível observar que grande parte das araucárias apresentaram proporção de copa menor do que 35%, podendo isto ser devido ao formato característico que as copas das araucárias apresentam em sua fase adulta. Árvores com proporção de copa fora dos limites do padrão morfométrico, quando menor que 10% indicam que a copa é demasiadamente pequena, apresentando árvores com menos de 1m de comprimento de copa. No entanto, árvores com proporção de copa superior a 35% provavelmente se tratam de árvores que cresceram livres e isoladas, ou que venceram a competição.

Loiola (2016) ressaltou que quanto maior o percentual de copa, maior o manto de copa e conseqüentemente maior a capacidade fotossintética, no entanto árvores com maior proporção de copa possuem menos fuste livre.

Conforme ocorre crescimento em diâmetro (DAP) a proporção de copa tende a diminuir, e apesar da característica da espécie de modificar a forma geométrica da copa com o avanço da idade (SEITZ, 1986) o efeito da competição passada reflete os resultados obtidos, pois segundo Assmann (1970) o efeito da competição reflete diretamente no comprimento de copa e, conseqüentemente, na proporção de copa que são variáveis de medidas de vigor.

Árvore de maior dimensão e menor proporção de copa pode ter relação com indivíduos que obtiveram elevada taxa de crescimento e capacidade de sobressair da competição por recurso e espaço e que já realizaram o autodesbaste, constituindo dessa forma, o dossel superior (LOIOLA, 2016).

Em relação ao sítio de Urupema, pode ser observado através da Figura 4c, o gráfico da proporção de copa é mais uniforme e se assemelha a distribuição normal. O ponto de equilíbrio morfométrico encontra-se entre o intervalo 18-58%, com 120 árvores alocadas perfazendo cerca de 92% da densidade total. Também se observa a baixa quantidade de árvores nas classes mais inferiores (<18%), isto indica que o sítio em Urupema tem menor densidade de árvores por hectare, ocasionando mais espaço para crescimento lateral da copa, menor autodesbaste dos ramos inferiores e por isso maior comprimento de copa e proporção de copa.

Isto corrobora o apresentado por Hess et al. (2016), que em estudo sobre a relação da proporção de copa com o diâmetro a altura do peito em florestas com araucária, encontraram coeficiente de inclinação (b1) positivo, o que significa que árvores de maior diâmetro apresentaram maior proporção de copa, diferentemente do comportamento esperado para esta variável em árvores de araucária, onde árvore com maior dimensão apresente menor manto de copa, conforme assinalado por Loiola (2016) e Costa et al. (2016).

Em Lages, se observa grande amplitude do padrão morfométrico (Tabela 7) sendo situado entre o intervalo 10-52% representando 87% da amostra. Essa grande variação se deve principalmente aos efeitos de competição, pois espera-se que árvore com menor manto de copa tenha maior dimensão em diâmetro (COSTA et al., 2016; LOIOLA, 2016), porém esta premissa não foi verdadeira. Onde as árvores nas classes <20% apresentaram diâmetro médio de 22cm, ou seja, árvore de menor dimensão com menor proporção de copa.

Ao contrário do visualizado em SJQ e PNL, em São José do Cerrito a maior parte das árvores apresentam  $PC > 32\%$  (Figura 4). Este comportamento pode indicar que as árvores estão em grande concorrência, mantendo características de árvores jovens de maneira a conseguir se manter viva dentro da comunidade. A dinâmica de crescimento e desenvolvimento das árvores resultou em características peculiares, seja por fatores ontogenéticos ou por efeitos relacionados ao sítio (densidade, altitude, profundidade do solo, umidade, luminosidade).

Conforme os resultados apresentados, a proporção de copa dos sítios estudados apresenta grande variabilidade, onde pode ser encontrado árvores de mesma dimensão em diâmetro com comprimento de copa variável. Todavia, os efeitos da competição tendem a diminuir a proporção de copa, em consequência disso, também se diminui as taxas de crescimento, pois quanto menor a proporção de copa menor a capacidade fotossintética das árvores.

O padrão morfométrico de proporção de copa nas florestas com araucária estudadas é 30% de copa viva no fuste, na medida que os valores se distanciam deste valor constatam-se mudanças na forma-dimensão das árvores. Essas mudanças podem estar relacionadas aos efeitos da competição passada ocasionada pelo não manejo da estrutura das florestas, bem como podem estar relacionados com a localização da árvore na floresta e também a fatores ontogenéticos.

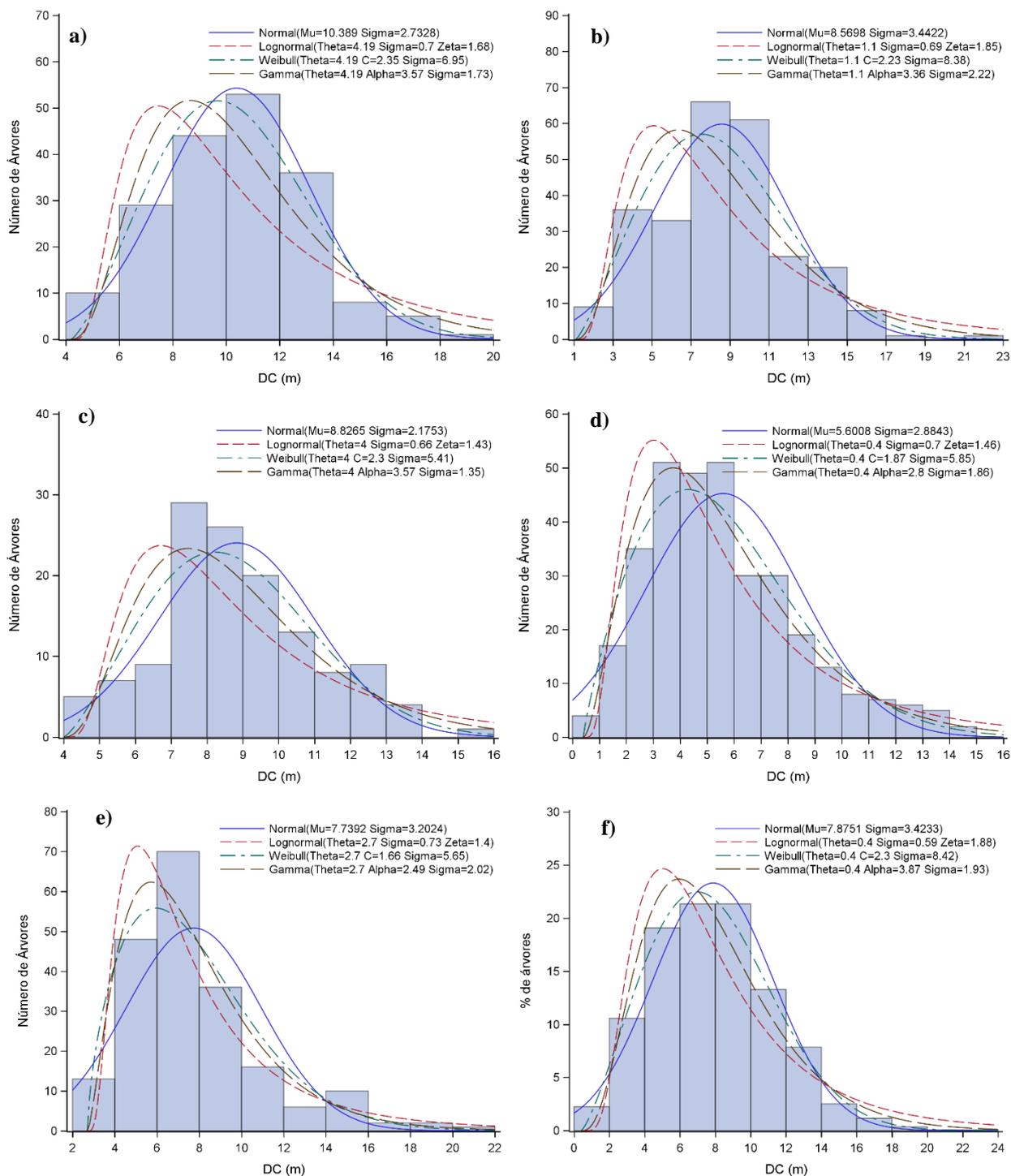
Loiola (2016) ressaltou que esta relação deve ser monitorada, pois serve como indicador da possibilidade de intervir na floresta com retirada de indivíduos para reduzir densidade e favorecer o crescimento de remanescentes.

### 6.2.2.3 *Diâmetro de copa*

Verifica-se que o comportamento da distribuição do diâmetro de copa nos sítios SJQ, PNL e URU são semelhantes, tendo maior porção de indivíduos com  $DC > 7m$  (Figura 5). Em São Joaquim nota-se que algumas árvores têm grandes diâmetros de copa, enquanto que em Painel e Urupema, a frequência de árvores com  $DC > 11m$  é menor. O padrão morfométrico fica

localizado no intervalo para SJQ é 6-14m, com 87% da amostra, enquanto que em PNL e URU está localizado no intervalo entre 7-11m. Isto indica que nestes sítios as árvores não tiveram restrições para o desenvolvimento horizontal da copa, o que pode estar associado com a densidade de árvores por hectare.

Figura 5 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o diâmetro de copa (DC) de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

Já para o sítio de Lages, a distribuição apresentou comportamento diferente em relação aos outros sítios, isto pode ser verificado pela assimetria positiva (Figura 5d). Também se observa que o padrão morfométrico deste sítio está entre os limites do intervalo 3-6m com 151 indivíduos, cerca de 46% da densidade total (Tabela 7). Nota-se a grande quantidade de árvores fora dos limites do padrão morfométrico, indicando que a forma-dimensão sofreu alterações devido à concorrência, por isto a distribuição deste sítio difere dos sítios SJQ, PNL e URU.

Em SJC, podem ser observadas características peculiares, onde tem-se grande variabilidade do diâmetro de copa, isso fica constatado no padrão morfométrico, que está caracterizado entre o intervalo 4-10m. Este sítio apresentou características que são encontradas em sítios de menor densidade (SJQ, PNL, URU) e também de maior densidade (LAG). Com grande número de árvores nas classes intermediárias, porém com grande presença nas classes de maior DC (Figura 5).

Portanto, com os resultados encontrados pode-se inferir que o diâmetro de copa tem padrões semelhantes nos sítios de São Joaquim, Paineira e Urupema, já nos sítios de Lages e São José do Cerrito, que são sítios com maior densidade de árvores, o comportamento da variável DC foi diferente, onde foi encontrado maior porção de árvores com copa de menores diâmetros, significando maior competição, ou sítios com algum impedimento ao crescimento e desenvolvimento das árvores.

De maneira geral, o padrão morfométrico para o diâmetro de copa está localizado entre os intervalos 6-10m, portanto, árvores com  $DC < 6m$  podem ser árvores de menor dimensão em diâmetro a altura do peito ou pode se tratar de árvores que tiveram restrição do crescimento lateral devido a competição, menor quantidade de luminosidade o que impediu o desenvolvimento em extensão de copa. Por outro lado, árvores com  $DC > 10m$  provavelmente são árvores que tiveram maior espaço disponível para crescimento ou venceram a competição no passado e ocupam o dossel superior atualmente.

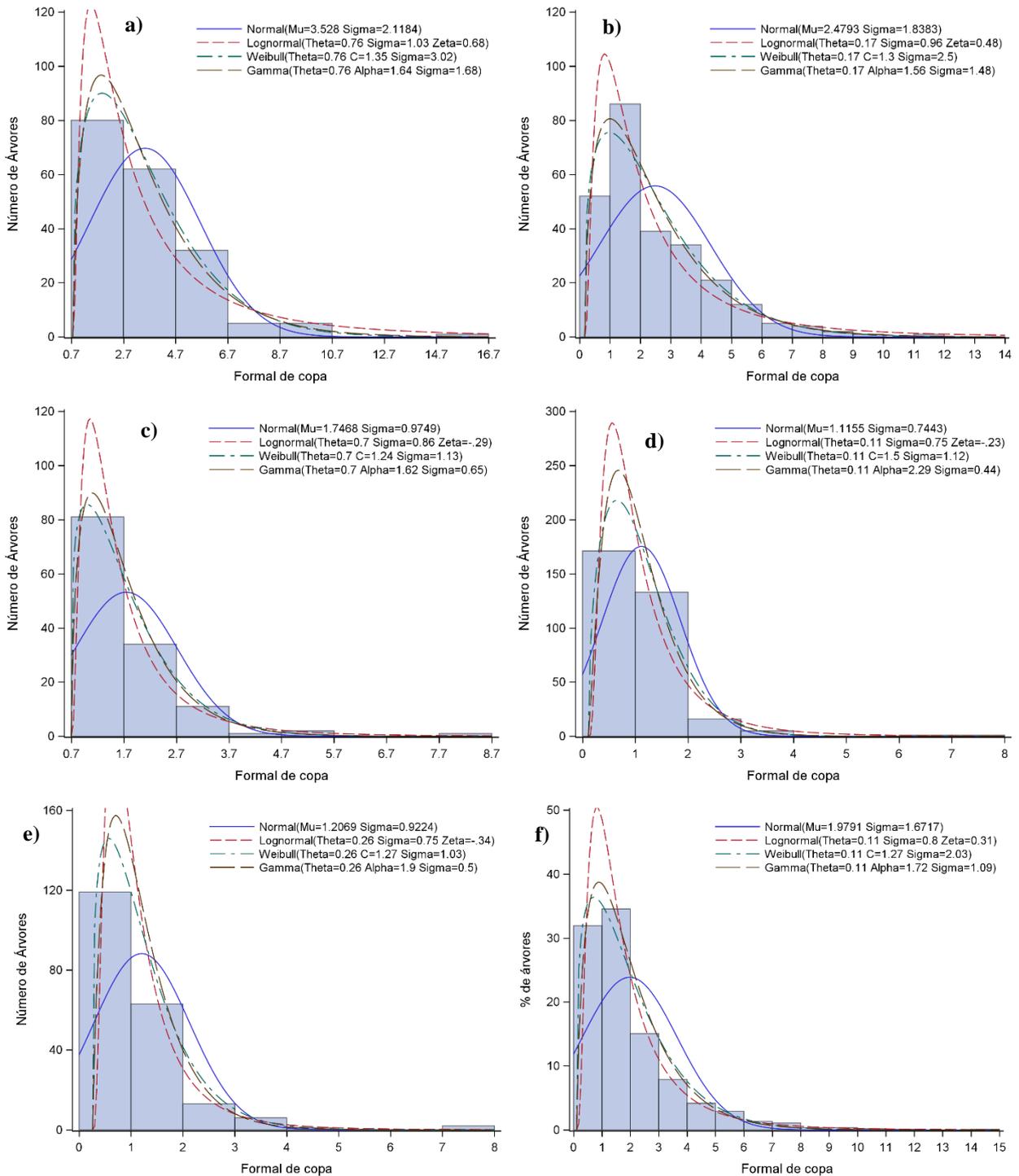
#### 6.2.2.4 *Formal de copa*

Em araucária o formal de copa é fortemente alterado com o decorrer do crescimento, onde o aumento da idade e do grau de concorrência modifica a forma da copa das araucárias (COSTA et al., 2016).

Os sítios de SJQ e PNL apresentaram distribuição com mesmo formato e simetria para o formal de copa (Figura 6), com maiores valores de formal de copa, isso significa que as

árvores possuem diâmetro de copa maior que o comprimento de copa, o que é característica de árvores adultas que já estabilizaram seu crescimento.

Figura 6 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o formal de copa (FC) de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

Em São Joaquim aproximadamente 3% dos indivíduos apresentam formal de copa menor do que 1, tendo comprimento de copa maior que o diâmetro de copa. Estas árvores apresentam formato cônico, fato que para araucária é esperado apenas em sua fase juvenil. Já em Painel, cerca de 20% das árvores têm formal de copa menor que 1. Isso indica que essas árvores têm copa cônica e estão crescendo mais em altura em decorrência da competição por espaço, mantendo este formato para sobreviver dentro da população (Figura 6).

Essa semelhança entre SJQ e PNL também foi visualizada nas subseções anteriores deste trabalho, onde observou-se semelhanças no comportamento morfométrico para as variáveis de copa (proporção de copa, diâmetro de copa).

O comportamento diferenciado do formal de copa para esses sítios pode ser resultado do espaço de crescimento, número de árvores por hectare de cada sítio, conforme foi apresentado anteriormente na Tabela 5, contudo, estes dois locais possuem relação h/dap mais estável que os demais denotando que as árvores estão mais espaçadas dentro da floresta.

Durlo e Denardi (1998) ressaltaram que quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade da árvore, considerando mesma espécie e sítio. Isto significa que, se duas árvores tiverem o mesmo diâmetro de copa, produzirá mais por unidade de projeção de copa aquela que tiver um menor formal de copa, ou seja, uma copa mais esbelta, pois terá maior manto de copa para mesma área de projeção.

Segundo Costa et al. (2016), em árvores jovens com crescimento em altura proporcionalmente maior que a expansão lateral dos galhos, a copa assume características cônicas (menor formal de copa). Porém, quando o incremento em altura diminui, a copa tem formato elipsoidal e em idade mais avançada alcançam a forma quase plana ou de umbela (grande formal de copa).

Em Urupema se observa que cerca de 15% das árvores apresentam copa de formato cônico (Figura 6). Este sítio possui dinâmica diferente dos anteriores, conforme se observa pela baixa frequência de árvores que possuem alto valor para o formal de copa, isso pode ser consequência de intervenção sofrida no passado que removeu árvores com maiores dimensões, porém com a evolução da floresta ao passar dos anos espera-se que estas árvores diminuam seu comprimento de copa, assim aumentando o formal de copa.

Em Lages e São José do Cerrito se verifica que as distribuições são semelhantes, tendo mesmo formato e simetria, além do mais (Figura 6). O padrão morfométrico também foi o mesmo, e está representado entre os intervalos 0-2 (Tabela 7).

LAG e SJC são sítios com grande densidade de árvores, onde os efeitos de competição fizeram que as árvores se desenvolvessem mais em altura do que em largura de copa (LANG

et al., 2010), de maneira a se estabelecer na floresta perante as outras competidoras. Como consequência, as árvores têm menor capacidade fotossintética e menor produção em volume (HESS et al., 2016).

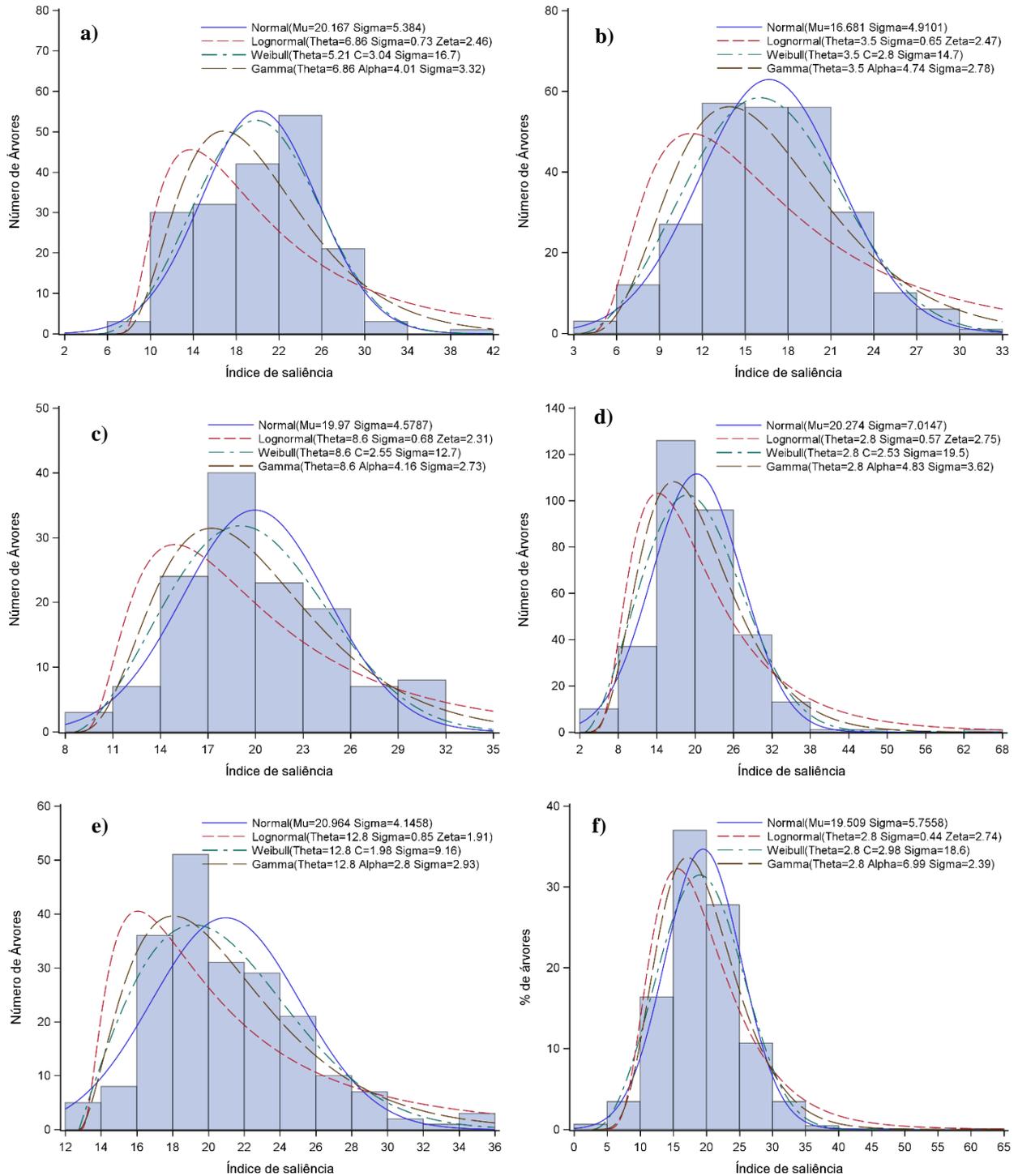
Portanto, o padrão morfométrico do formal de copa das florestas com araucária estudadas está caracterizado entre os valores de referência 1-3, onde espera-se que árvores mais juvenis tenham menor formal de copa, e a medida que o desenvolvimento da árvore acontece, o formal de copa tende a aumentar. No entanto, tem-se uma grande porção de árvores com  $FC < 1$ , que pode se tratar de árvores mais jovens (maior comprimento de copa e menor raio de copa) ou também árvores velhas que não conseguiram desenvolver lateralmente os galhos. Portanto, a densidade de árvores provavelmente é um fator limitante no comportamento desta variável em árvores de araucária.

#### 6.2.2.5 Índice de saliência

Os padrões morfométricos do índice de saliência para cada sítio foram apresentados na Tabela 7, onde é possível verificar que os limites superiores e inferiores são semelhantes, bem como o formato das distribuições (Figura 7). Isto indica que os níveis de competição em que as florestas estão submetidas são semelhantes, pois se houvesse espaço disponível para expansão lateral da copa o índice de saliência apresentaria maior amplitude e variação do padrão morfométrico. Portanto, o valor de referência para o IS é entre 14-26, representando as condições atuais das florestas de araucária.

Observa-se que independentemente do sítio a relação entre o diâmetro de copa e o dap tende a seguir o mesmo comportamento, além disto o padrão morfométrico está representado em todos os sítios por mais de 65% da amostra (Tabela 7). Isto demonstra que dentro de suas peculiaridades, as florestas apresentam proporcionalidade da largura de copa em relação ao diâmetro, denotando que essas variáveis (DC e DAP) possuem correlação para a espécie (COSTA, 2015; HESS et al., 2016).

Figura 7 - Distribuição observada, curvas estimadas e parâmetros das funções para o índice de saliência (IS) de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina, a) São Joaquim, b) Painel, c) Urupema, d) Lages, e) São José do Cerrito, f) geral.

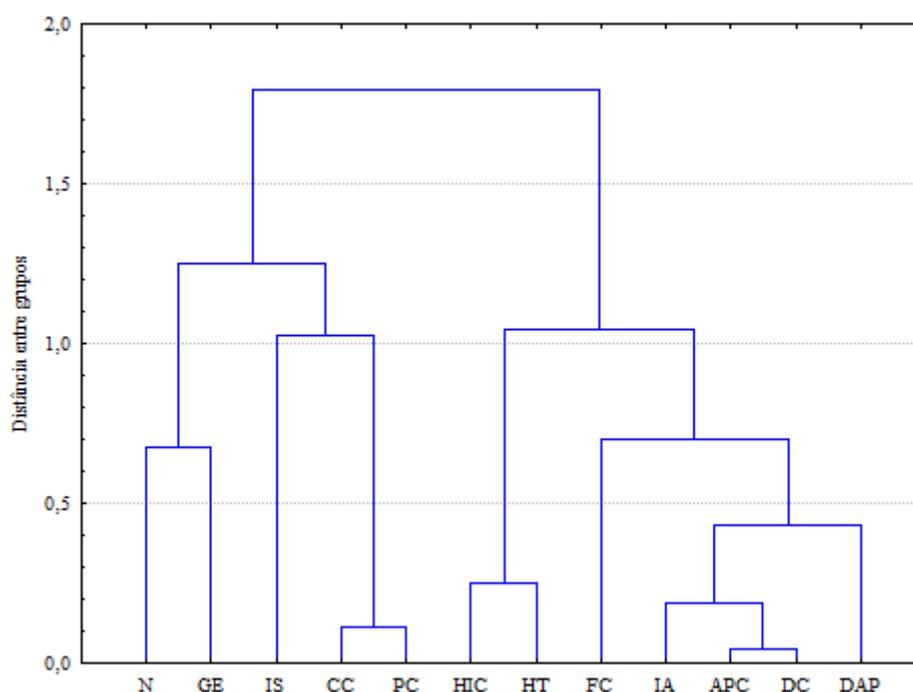


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2018).

### 6.3 ANÁLISE MULTIVARIADA

A técnica de análise de agrupamento (*Cluster*) para o conjunto de 1.111 árvores e 12 variáveis gerou o dendrograma com seus respectivos grupos e relações (Figura 8), sendo a linha vertical o índice de similaridade e a escala horizontal a ordem de agrupamento dos indivíduos. As linhas verticais partem dos indivíduos e, têm altura correspondente ao nível em que os indivíduos são considerados semelhantes.

Figura 8 – Dendrograma do comportamento morfométrico de *Araucaria angustifolia* no Planalto Sul de Santa Catarina.



Em que: N: número de árvores por hectare estimado; GE: grau de esbeltez; CC: comprimento de copa (m); PC: proporção de copa (%); HT: altura total (m); HIC: altura de inserção de copa (m); IA: índice de abrangência; APC: área de projeção de copa (m<sup>2</sup>); DC: diâmetro de copa (m); DAP: diâmetro à altura do peito (cm); IS: índice de saliência; FC: formal de copa. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Observando a Figura 8, com base na “Linha Fenon” na distância um do eixo vertical, percebe-se a existência de três grupos distintos: o grupo I, relacionando o DAP com variáveis de copa (DC, APC, IA, FC), indicando correlação das características da estrutura horizontal e vertical, dimensão, forma e área da copa. O agrupamento destas variáveis está relacionado com a estrutura horizontal da floresta e mudanças na sua dinâmica, indicando que as características morfométricas possuem relações semelhantes que provavelmente estão associadas ao sítio, tais

como competição, densidade, qualidade do solo, altitude, temperatura, umidade relativa, profundidade de solo e variações ontogenéticas, assim alteram a dimensão e o formato das árvores e explicam o comportamento morfométrico da araucária.

O grupo II foi formado pelos índices morfométricos IS, CC e PC, indicando que estes têm correlação com o espaço de crescimento, capacidade fotossintética, vitalidade, idade, produção e capacidade produtiva das árvores (Figura 8).

O índice de saliência demonstra quanto maior é o diâmetro de copa em relação ao DAP, essa correlação encontrada com a PC, denota que essas variáveis conseguem representar as modificações dimensionais ocorridas no passado, pois a proporção de copa é sensível aos efeitos de competição (ASSMAN, 1970) e o índice de saliência consegue expressar o comportamento da expansão lateral dos galhos. Portanto, estas características devem ser monitoradas pois podem indicar o nível de concorrência por espaço das florestas.

O grupo III, conforme observa-se na Figura 8, agrupou o número de árvores, área de ocupação de cada árvore, competição e estabilidade das árvores. Esta relação já era esperada, pois conforme Adeyemi e Adesoye (2016), a relação h/dap sofre influência da densidade, onde áreas com maior densidade de árvores por hectare apresentam maior a taxa de competição por luz entre as árvores, o que resulta em instabilidade no formato das árvores.

Os grupos II e III, explicam o comportamento morfométrico da araucária de forma mais representativa, pois apresentam maior altura em relação ao eixo y do que as demais variáveis. Isto ocorre porque tanto o grau de esbeltez quanto a proporção de copa, são variáveis suscetíveis aos efeitos relacionados à elevada concorrência, expressando as alterações na estabilidade dimensional das árvores, assim podendo auxiliar na compreensão dos efeitos de competição (HARJA et al., 2012; ASSMAN, 1970).

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.

Assim como salientou Roman et al. (2009), no estágio atual de desenvolvimento do manejo de espécies florestais nativas, o conhecimento da morfometria, das relações morfométricas e da dinâmica das formas das árvores tornam-se imprescindíveis para aprimorar as intervenções silviculturais, de modo especial, quando se deseja tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos com interesses econômicos.

Através da análise de correlação obtida por meio da análise fatorial, de acordo com a matriz de correlação apresentada na Tabela 8, demonstrou existir um número representativo de valores superiores a ( $r=0,5$ ), o que significa que a correlação entre as variáveis é moderada, assim tendo interligação entre as variáveis analisadas.

Tabela 8 – Matriz de correlação das variáveis dendrométricas e morfométricas para araucária em floresta nativa no Sul do Brasil.

Variáveis	DAP	HT	HIC	DC	APC	PC	CC	FC	GE	IS	IA	N
<b>DAP</b>	1,00	0,56	0,50	0,79	0,76	-0,20	0,02	0,30	-0,79	-0,34	0,57	-0,23
<b>HT</b>	-	1,00	0,75	0,45	0,41	-0,17	0,26	0,06	-0,20	-0,23	-0,04	-0,14
<b>HIC</b>	-	-	1,00	0,38	0,36	-0,77	-0,44	0,39	-0,14	-0,19	0,00	-0,06
<b>DC</b>	-	-	-	1,00	0,96	-0,12	0,06	0,35	-0,68	0,21	0,84	-0,31
<b>APC</b>	-	-	-	-	1,00	-0,14	0,03	0,33	-0,59	0,18	0,81	-0,21
<b>PC</b>	-	-	-	-	-	1,00	0,89	-0,54	0,01	0,08	-0,03	-0,06
<b>CC</b>	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,50	-0,06	-0,02	-0,06	-0,11
<b>FC</b>	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,26	0,10	0,37	-0,11
<b>GE</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,27	-0,67	0,33
<b>IS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,36	-0,25
<b>IA</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,30
<b>N</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Em que: DAP: diâmetro à altura do peito (cm); HT: altura total (m); HIC: altura de inserção de copa (m); DC: diâmetro de copa (m); APC: área de projeção de copa (m<sup>2</sup>); PC: proporção de copa (%); CC: comprimento de copa (m); FC: formal de copa; GE: grau de esbeltez; IS: índice de saliência; IA: índice de abrangência; N: número de árvores por hectare estimado. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

De maneira a corroborar com a informação da morfometria, apresentam-se os resultados dos autovalores, bem como a porcentagem de variância explicada por cada componente e a variância acumulada pelas mesmas (Tabela 9). Onde é possível observar que os quatro primeiros autovalores representam cerca de 86% da variância, portanto os dados foram resumidos e apresentados através destes quatro componentes principais, conforme sugerido por autores como Mardia et al. (1979), Vicini e Souza (2005) e Mainly (2008).

Observa-se ainda, que os três primeiros componentes possuem autovalores que correspondem a 39,47%, 21,65% e 15,61%, explicando 76% das variações das medidas originais.

Tabela 9 - Autovalores e percentual da variância explicada de cada componente.

Número de componentes	Autovalor	Total da variação explicada em %	Autovalores acumulados	% acumulada
<b>1</b>	4,736	39,47	4,736	<b>39,47</b>
<b>2</b>	2,598	21,65	7,334	<b>61,12</b>
<b>3</b>	1,873	15,61	9,207	<b>76,73</b>
<b>4</b>	1,149	9,58	10,357	<b>86,30</b>
5	0,855	7,13	11,212	93,43
6	0,485	4,04	11,696	97,47
7	0,157	1,31	11,853	98,78
8	0,067	0,56	11,920	99,34
9	0,042	0,35	11,963	99,69
10	0,024	0,20	11,987	99,89
11	0,013	0,11	12,000	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O peso de cada variável na composição da combinação linear permitiu melhor entendimento dos fatores, conforme se observa na Tabela 10, o Fator 1 que explica 42,54% da variância total, é representado pelo DAP (-0,89), DC (-0,93), APC (-0,89), GE (0,75) e IA (-0,75), sendo essas variáveis que mais contribuíram neste fator. O Fator 2 é representado pelas variáveis de copa PC (0,89) e CC (0,83), já para o Fator 3 pela HT (-0,69) e IS (0,73). O Fator 4 é representado pelo índice de saliência.

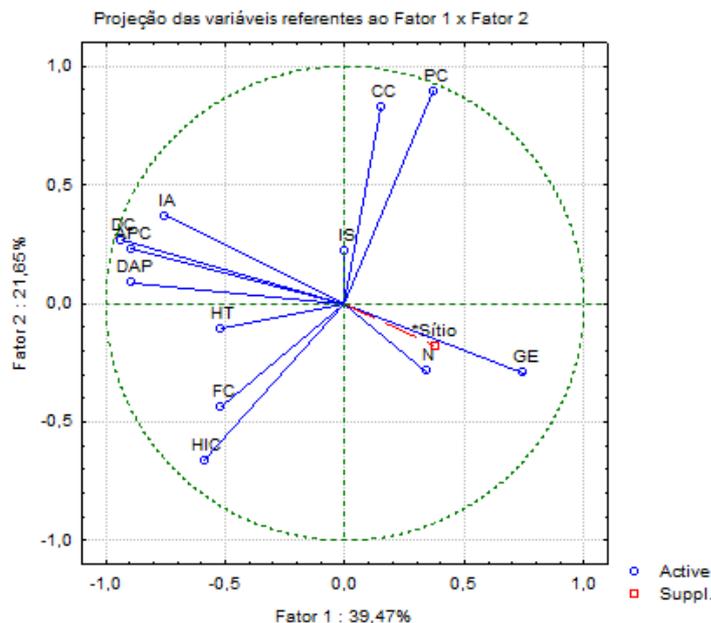
Tabela 10 – Extração das componentes principais para cada variável.

Variável	Componentes principais			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
DAP	-0,89	0,09	-0,32	-0,21
HT	-0,52	-0,11	-0,69	0,47
HIC	-0,59	-0,66	-0,34	0,31
DC	-0,93	0,27	0,09	0,11
APC	-0,89	0,23	0,09	0,08
PC	0,37	0,89	-0,15	-0,02
CC	0,15	0,83	-0,44	0,19
FC	-0,52	-0,43	0,39	-0,10
GE	0,75	-0,29	0,08	0,47
IS	0,00	0,22	0,73	0,60
IA	-0,75	0,37	0,48	-0,14
N	0,34	-0,29	-0,16	-0,34

Em que: DAP: diâmetro à altura do peito (cm); HT: altura total (m); HIC: altura de inserção de copa (m); DC: diâmetro de copa (m); APC: área de projeção de copa (m<sup>2</sup>); PC: proporção de copa (%); CC: comprimento de copa (m); FC: formal de copa; GE: grau de esbeltez; IS: índice de saliência; IA: índice de abrangência; N: número de árvores por hectare estimado. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com a ACP, Figura 9, observa-se que as variáveis proporção de copa, comprimento de copa, índice de abrangência, diâmetro de copa, área de copa, diâmetro à altura do peito, altura de inserção de copa e grau de esbeltez estão próximas ao círculo unitário, indicando que são mais representativas em relação as outras, que estão mais afastadas. Verifica-se, também, a influência da variável complementar, sítio, sobre as demais variáveis, onde verifica-se que o sítio está influenciando as variáveis presentes no terceiro e quarto quadrantes do círculo unitário. Em suma, conclui-se que em relação ao Fator 1 x Fator 2, mediante análise de componentes principais, que as variáveis que sofrem influência do sítio são: grau de esbeltez, número de árvores, altura total, altura de inserção de copa e formal de copa.

Figura 9 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 2.



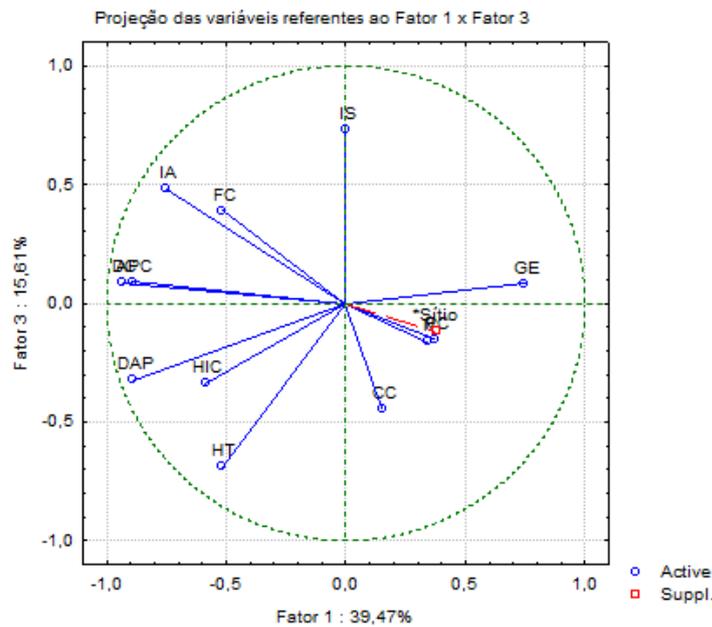
Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Pode-se observar que algumas variáveis morfométricas e dendrométricas estão sobrepostas (lado esquerdo do círculo), o que demonstra que essas possuem a mesma representatividade no gráfico (Figura 9). Segundo Vicini e Souza (2005), quanto maior a proximidade dos pontos-variáveis, maior a correlação entre essas variáveis, conforme pode ser observado a proximidade da PC-CC, DC-APC, DAP-DC, possuem alta correlação, o que também foi visto através da análise de agrupamento (Figura 8).

A análise do Fator 1 x Fator 3, ilustrada na Figura 10, revelou que as variáveis mais representativas são o índice de saliência, índice de abrangência, área de copa, diâmetro de copa, diâmetro à altura do peito e altura total. Ainda, verifica-se que o sítio se manteve no mesmo

quadrante influenciando o número de árvores, proporção de copa, comprimento de copa, altura de inserção de copa, altura total e diâmetro à altura do peito, conforme visualiza-se através do segundo e terceiro quadrantes do gráfico. Verifica-se também que o índice de saliência se correlacionou com o formal de copa, assim como o DAP esteve mais correlacionado com a altura das árvores, apresentando um agrupamento diferente do observado no gráfico da Figura 9, onde o DAP esteve mais próximo das medidas de copa.

Figura 10 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 3.

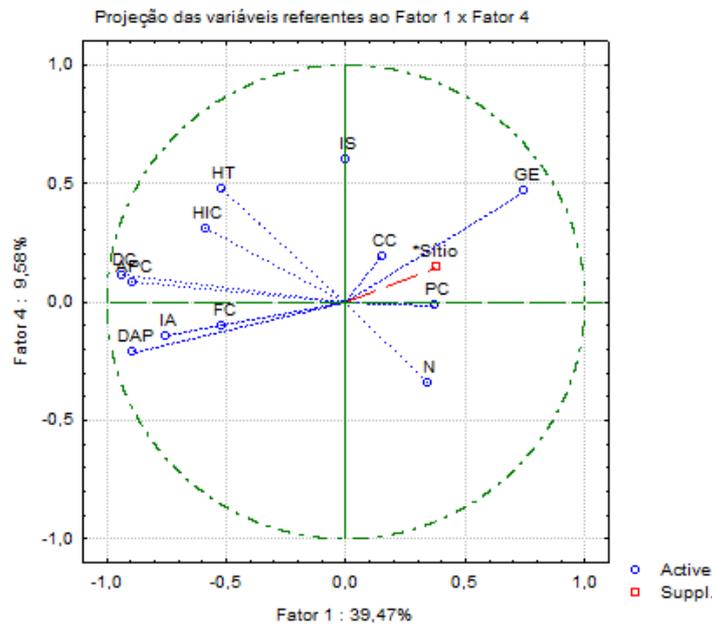


Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Observa-se ainda, que o IS, variável mais representativa no Fator 3, encontra-se isolada, o que representa fraca relação biológica com as demais variáveis (Figura 10). Conforme foi mostrado anteriormente neste trabalho, o índice de saliência seguiu o mesmo padrão morfométrico para os sítios estudados revelando não sofrer grande influência de outras características morfométricas.

Já no plano fatorial expresso pelo Fator 1 x Fator 4, na Figura 11, verifica-se que as variáveis mais representativas são o grau de esbeltez, diâmetro de copa, área de copa e diâmetro à altura do peito. Também se visualiza que a variável complementar, sítio, está influenciando as variáveis nos primeiro e quarto quadrantes, diferentemente do observado nos outros planos fatoriais. Sendo estas, o grau de esbeltez, índice de saliência, comprimento de copa, altura total e altura de inserção de copa, diâmetro de copa e área de copa.

Figura 11 – Gráfico da distribuição da nuvem de variáveis para o Fator 1 x Fator 4.



Fonte: elaborado pelo autor (2018).

Portanto, verifica-se a pelos planos fatoriais demonstrados anteriormente a estreita relação do sítio com a estabilidade, vitalidade, competição e densidade. Indicando que as alterações na dinâmica e na estrutura das florestas são fruto do comportamento da morfometria das árvores. Todavia, isso ocorreu devido a capacidade de inferência destas variáveis, já relatada por autores como Adeyemi e Adesoye (2016), Loiola (2016), Hess et al. (2016), Costa (2016), Harja et al. (2012).

Hess et al. (2016), ressaltaram que a competição provoca alterações na morfometria da copa e se correlaciona com o DAP, sítio, nível de competição entre as árvores e os recursos disponíveis para desenvolvimento, onde conforme ocorrem alterações destas variáveis visualizam-se mudanças na dinâmica e estrutura da floresta.

Conde et al. (2013), assinalaram que a morfologia das árvores pode sofrer alterações ao longo de seu crescimento, sendo suscetíveis a influência de fatores como espaçamento, solo, clima, competição entre as copas e tratamentos silviculturais.

## 7 CONCLUSÕES

Com o presente trabalho se verifica que para grande parte dos índices morfométricos foi possível determinar uma função densidade de probabilidade que estimasse a frequência por classes, portanto essas funções ajustadas podem servir como ferramenta para auxiliar no manejo florestal.

Os padrões morfométricos das árvores de araucária apresentaram diferenças em função de fatores relacionados ao sítio, onde os efeitos da competição passada alteraram a forma-dimensão das árvores.

Foi possível determinar um intervalo de referência para as variáveis morfométricas analisadas neste trabalho, portanto esses valores podem ser utilizados para balizar intervenções futuras na estrutura das florestas estudadas.

A análise de agrupamento demonstrou que o conjunto formado pelo grau de esbeltez, comprimento de copa, número de árvores, proporção de copa e índice de saliência explicam o comportamento morfométrico da araucária de maneira mais representativa.

A análise de componentes principais revelou ser possível reduzir o conjunto de variáveis a quatro componentes sem ocorrer perda de informação. Verifica-se, também, a alta representatividade observada das variáveis em cada fator.

A análise fatorial, revelou a influência do sítio na estabilidade, vitalidade e competição entre as árvores. Portanto, as diferenças observadas ao nível de sítio são devidas as características na dinâmica e na estrutura ocasionadas pelo não manejo da densidade, onde também se verifica que o comportamento dessas variáveis (grau de esbeltez, proporção de copa, número de árvores) são reflexo das alterações na forma-dimensão das árvores, sendo essas alterações prejudiciais para manutenção de características importantes da floresta.

Recomenda-se que estudos referentes ao comportamento probabilístico de índices morfométricos sejam realizados para esta espécie em outras áreas de ocorrência, assim como nas demais espécies que compõem os remanescentes de Floresta Ombrófila Mista, de maneira que se compreenda a situação morfométrica das florestas.

Este tipo de trabalho, somado aos inúmeros estudos já realizados sobre esta espécie poderão apontar o melhor momento para uma intervenção via manejo sustentável, onde seja possível explorar os recursos oriundos desta tipologia florestal, com consciência, aliando a produção com a conservação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMI, A. A.; ADESOYE, P. O. Tree slenderness coefficient and percent canopy cover in Oban Group Forest, Nigeria. **Journal of Natural Sciences Research**, v. 6, n. 4, p. 9-16, 2016.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, M. K. et al. Novo valor de cobertura desenvolvido por meio de análise fatorial para classificar espécies de florestas nativas. **Revista Brasileira Biometria**, São Paulo, SP, v. 32, n. 4, p. 478-494, 2014.

ARAÚJO JUNIOR, C. A. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função Gama. **Cerne**, Lavras, MG, v. 19, n. 2, p. 307-314, abr./jun., 2013.

ASSMAN, E. **Waldertargskunde**. München: Bayr. Landw 1961. 490p.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.

BOUROCHE, J.M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Tradução de: M. Penchel. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980. 116 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Anexo I da Instrução Normativa n. de set. de 2008. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/ascom\\_boletins/\\_arquivos/83\\_19092008034949.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/ascom_boletins/_arquivos/83_19092008034949.pdf)>. Acesso em: 05 de setembro de 2016.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Springer, New York, NY, USA. 2012. 457 p.

CARVALHO, D. F.; SANTANA, A. C. de; MENDES, F. A. T. Análise de *cluster* da indústria de móveis de madeira do Pará. **Novos Cadernos NAEA**, Belém, PA, v. 9, n. 2, p. 25-54, 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, v. 1, 2003. 1039 p.

CARVALHO, R. E. P. Pinheiro do Paraná. **Circular técnica, 60: EMBRAPA Florestas**, Colombo, PR, p. 1-9, 2002.

CASTRO, A. F. N. M. et al. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 6, p. 627-635, jun. 2013.

CLARK, D. A.; CLARK, D. B. Getting the canopy: tree height growth in a neotropical rain forest. **Ecology**, v. 82: p. 1460-1472, 2001.

CONDÉ, T. M. et al. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, n. 1, p. 18-27, jan.-abr., 2013.

COSTA, E. A. **Modelagem biométrica de árvores de crescimento livre e sob competição em floresta de araucária no Sul do Brasil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015. 226 p.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, RS, v. 26, n. 1, p. 225-234, 2016.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 11, p. 141-149, 2001.

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

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

FLORIANO, E. P. **Subsídios para o planejamento da produção de *Pinus elliottii* Engelm. na Serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. Tese (doutorado) – UFSM/PPGEF, Santa Maria, 2008. 193 p.

GERHARDT, E. J. et al. Contribuição da análise multivariada na classificação de sítios em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., baseada nos fatores físicos e morfológicos do solo e no conteúdo de nutrientes da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 11, n. 2, p. 41-57. 2001.

GETZIN, S. et al. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2478 – 2485, 2008.

GIRAUDO, A. R. et al. Biodiversity status of the interior Atlantic forest of Argentina. Edited by Galindo-Leal and Câmara, C. V. **The Atlantic Forest of South America: Biodiversity Status, Threats, and Outlook**. Washington, DC. Island Press. p. 160–180, 2013.

GUIMARÃES, D. P. **Uma função hiperbólica de distribuição probabilística de alta flexibilidade**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2002. 40 p.

HARJA, D. et al. Tree shape plasticity in relation to crown exposure. **Trees**, n. 26, p. 1275-1285, 2012.

HASENAUER, H. Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleichaltrige Fichten- Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände. **Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur**, Wien. Band 8, 1994. 152 p.

HASENAUER, H.; MOSER, M.; ECKMÜLLNER, O. Ein Programm zur Modellierung von Wachstumsreaktionen. **Allgemeine Forstzeitung** 4: 216-218. 1995.

HESS, A. F. et al. 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. et al. Morfometría de la copa de *Araucaria angustifolia* em sítios naturais em el sur de Brasil. **Bosque**, v. 37, n. 3, p. 603-611, 2016.

HESS, A. F. et al. 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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2. ed. Manuais Técnicos em Geociências, 1. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Portaria nº 37-N, de 03 de Abril de 1992**. Reconhece como lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção a relação que apresenta.

Disponível em:

<[http://www.mma.gov.br/estruturas/179/\\_arquivos/179\\_05122008033627.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/179/_arquivos/179_05122008033627.pdf)>. Acesso em: 05 de setembro de 2016.

JOHNSON, M. D. Comparability in customer satisfaction surveys: products, services, and government agencies. **Seminar on new directions in statistical methodology**, Washington-DC: Executive Office of the President, Office of Management and Budget, Statistical Policy Working Paper 23, v. 1, p. 99-120, 1995.

KLEIN, D. R. et al. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, out./dez., 2017.

LACERDA, A. E. B. et al. **Sustainable Forest Management in Rural Southern Brazil: Exploring Participatory Forest Management Plannin – Case Studies**. Julio J. Diez (Ed.), InTech, 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/sustainable-forest-management-case-studies/sustainable-forest-management-in-rural-southern-brazil-exploring-participatory-forest-management-pla>>. Acesso em: 05 de setembro de 2016.

LANG, A. C. et al. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. **Forest Ecology and Management**, n. 260, p. 1708-1715, 2010.

LIMPERT, E.; STAHEL, W. A.; ABBT, M. Log-normal Distributions across the sciences: Keys and Clues. **BioScience**, v. 51, n. 5, p. 341-352, 2001.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, Macaé/RJ, n. 4, p. 18-36, 2009.

LIU, X. et al. Wind, bending and thinning, affect the hydraulic conductivity of conifer stems. **Canadian Journal of Forest Research**, n. 33, p. 1295-1300, 2003.

LLANILLO, R. F. et al. Regionalização da agricultura do Estado do Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 36, n. 1, p. 120-127, jan-fev, 2006.

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

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

LONGHI, S. J. **Agrupamento e análise fitossociológica de comunidades florestais na sub-bacia hidrográfica do rio Passo Fundo-RS**. Curitiba: UFPR, 1997. 198 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1997.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, Nova Odessa: Plantarum, 1992. v. 1, 352 p.

LUNDGREN, W. J. C.; SOUSA, I. F.; AGUIAR NETTO, A. de O. Uso de distribuições de probabilidade para ajuste aos dados de precipitação mensal do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 1, p. 71-80, 2015.

MACHADO, S. A. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de quatro espécies de Lauraceae em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, PR, v. 12, n. 1, p. 91-105, 2010.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. Estudo da estrutura diamétrica para *Araucaria angustifolia* em florestas naturais nos estados da região sul do Brasil. **Revista Floresta**, n. 26. (1/2) p. 59-70, 1997.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados**: uma introdução. Tradução: S. I. Carmona. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229 p.

MARAGON, G. P. et al. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies lenhosas da Caatinga, semiárido Pernambucano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 26, n. 3, p. 863-874, jul.-set., 2016.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic, 1979.

MCINTOSH, A. C. S.; GRAY, A. N.; GARMAN, S. L. Estimating canopy cover from standard Forest Inventory Measurements in Western Oregon. **Forest Science**, v. 58, p. 154 – 167, 2012.

MEYER, P. L. **Probabilidade**: aplicações à estatística. Ed. Livros Técnicos e Científicos. São Paulo, 1978.

MINATTI, M. et al. Shape and size relationship of *Araucaria angustifolia* in South Brazil. **African Journal of Agricultural Research**. v. 11, n. 41, p. 4121-4127, 2016.

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

ORELLANA, E. **Funções densidade de probabilidade no ajuste da distribuição diamétrica de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR. 2009.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A. Uso do método da predição de parâmetros para projetar a distribuição diamétrica em florestas nativas com a função de Weibull. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 981-991, jul.-set., 2017.

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

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. São Paulo: Edusp, 2001.

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

PRODAN, M., et al. **Mensura Florestal**. San José – Costa Rica: GTZ - IICA. 1997. 586p.

PUCHALSKI, A. **Variações edafo-climáticas e ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no estado de Santa Catarina**. 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

REIS, E. **Estatística multivariada aplicada**. Lisboa, 1997.

RIBEIRO, C. M. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141 – 1153, 2009.

RICKEN, P. **Incremento, espaço horizontal e competição em povoamento natural de *Araucaria angustifolia* no planalto catarinense**. 2014. 105f. (Dissertação Mestrado Engenharia Florestal), Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC, 2014.

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, p. 473 – 480, out. – dez., 2009.

SANQUETTA, C. R. et al. Relação hipsométrica em inventários pré-corte em povoamentos de *Acacia mearnsii* De Wild. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 80-90, 2014.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. aum. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 355 p.

SAS Institute. **SAS Academic Edition**. Cary, 2012. Disponível em: <<http://www.sas.com>>. Acesso em: 23/07/2016.

SCHAAF, L. B. et al. Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 283-295, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. rev. e ampl. – Santa Maria: FACOS, 2009. 287 p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e Nativas**. UFLA/FAEPE, Lavras, MG, 1998. 441 p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCHI, A. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição Sb, por diferentes métodos de ajuste. **Scientia Florestalis**, n. 54, p. 93-106, dez. 1998.

SEITZ, R. A. Crown development of *Araucaria angustifolia* in its natural environment during sixty years. In: Fujimori, T.; Whitehead, D. (eds) **Crown and canopy structure in relation to productivity, Proceedings, Forestry and Forest Products Research Institute**, Ibaraki, Japan, p. 129-146, 1986.

SEYMOUR, L. **Probabilidade**. 4 ed. rev. Tradução de: R. R. Itacarabi. São Paulo: Makron Books, 1993. 261 p.

SILVA, E. Q. **Nova função densidade de probabilidade aplicável à Ciência Florestal**. 2003. 98f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba, 2003.

SILVEIRA, A. C. et al. Management of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze) based on the Liocurt model in a mixed ombrophilous forest in Southern Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 2, p. 311-317. 2018.

SOUZA, A. L.; SOUZA, D. R. Análise multivariada para estratificação volumétrica de uma Floresta Ombrófila Densa de terra firme, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 49-54, 2006.

STATSOFT INC. **Statistica**: data analysis software system, version 7. Tulsa. 2004. Disponível em: [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

STEPKA, T. F.; LISBOA, G. S.; KURCHAIT, S. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 7, n. 3, p. 429-439, set./dez., 2011.

STERBA, H. **Forstliche Ertragslehre**. Heft 4. Institut für Waldwachstumsforschung. Universität für Bodenkultur. Wien. 1991. 160 p.

THOM, H. C. S. A note on the gamma distribution. **Monthly Weather Review**, v. 86, p. 117-122, 1958.

VIALI, L. **Introdução a Estatística Multivariada**. 2002 (Material Didático). Disponível em: <<http://www.pucrs.br/ciencias/viali/especializa/realizadas/ceea/multivariada/textos/Introducao.pdf>>. Acesso em 09 de janeiro de 2018.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM/CCNE, 2005. 215 p.

WENDLING, W. T.; EMERECIANO, D. B.; HUSOKAWA, R. T. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 41, n. 2, p. 205-220, abr./jun. 2011.

WYKOFF, W. R. A basal area increment model for individual conifers in the northern Rocky Mountains. **Forest Science**, v. 136, p. 1077-1104, 1990.

**ANEXO A** – Qualidade do ajustamento dos modelos de distribuição Normal, Log-normal, Weibull, Gama e Exponencial em relação aos índices morfométricos de *Araucaria angustifolia* em cinco sítio no Planalto Sul de Santa Catarina

Sítio	Variável	Normal		Lognormal		Weibull		Gama	
		A <sup>2</sup>	p						
SJQ	GE	2,4465	0,005**	6,7165	0,005**	0,4637	0,250	0,9129	0,023*
	PC (%)	2,1297	0,005**	6,0956	0,005**	0,6795	0,078	0,8675	0,029*
	DC (m)	0,2525	0,250	7,5721	0,005**	0,4975	0,222	2,4265	0,001**
	FC	6,1278	0,005**	4,6049	0,005**	0,9698	0,015*	0,8667	0,031*
	IS	1,1080	0,007**	10,6001	0,005**	1,0830	0,003**	3,7785	0,001**
PNL	GE	5,2025	0,005**	10,2382	0,005**	2,1306	0,010**	2,4255	0,001**
	PC (%)	2,3547	0,005**	6,3679	0,005**	0,2365	0,250	1,0347	0,012*
	DC (m)	0,8520	0,029*	10,2349	0,005**	1,5697	0,010**	4,3220	0,001**
	FC	7,8275	0,005**	1,9384	0,005**	0,3774	0,250	0,2210	0,500
	IS	0,3207	0,250	15,0871	0,005**	0,8787	0,024*	4,3497	0,001**
URU	GE	4,3536	0,005**	2,5355	0,005**	1,4575	0,010**	0,9302	0,021*
	PC (%)	0,3111	0,250	13,9818	0,005**	0,9407	0,018*	4,3493	0,001**
	DC (m)	0,7158	0,063	5,0498	0,005**	0,6891	0,073	1,8536	0,001**
	FC	7,3262	0,005**	0,7075	0,067	1,1185	0,010**	0,6691	0,090
	IS	0,9748	0,015*	7,3952	0,005**	0,9077	0,021*	2,1127	0,001**
LAG	GE	5,2696	0,005**	2,9284	0,005**	1,5125	0,010**	0,8869	0,025*
	PC (%)	1,0404	0,010**	11,1193	0,005**	1,1211	0,010**	3,7627	0,001**
	DC (m)	4,0013	0,005**	4,5683	0,005**	0,5346	0,189	0,7147	0,069
	FC	11,3189	0,005**	3,6254	0,005**	2,9408	0,010**	1,1195	0,007**
	IS	1,9242	0,005**	12,0601	0,005**	2,8369	0,010**	4,3225	0,001**
SJC	GE	1,0766	0,008**	13,4601	0,005**	0,7532	0,051	2,7367	0,001**
	PC (%)	1,7044	0,005**	15,0837	0,005**	1,3299	0,011*	2,9607	0,001**
	DC (m)	6,0352	0,005**	2,4342	0,005**	1,6258	0,010**	0,8759	0,027*
	FC	18,2747	0,005**	1,8974	0,005**	6,8093	0,015*	4,9936	0,001**
	IS	2,7582	0,005**	11,7391	0,005**	1,7713	0,012*	3,0939	0,001**
Geral	GE	34,7700	0,005**	2,5502	0,005**	10,6212	0,010*	4,0310	0,001**
	PC (%)	4,8052	0,005**	17,8167	0,005**	0,5278	0,198	4,7043	0,001**
	DC (m)	2,3448	0,005**	19,4772	0,005**	0,4449	0,250	5,0865	0,001**
	FC	67,5455	0,005**	1,8382	0,005**	16,2863	0,010*	12,6174	0,001**
	IS	2,9541	0,005**	24,6587	0,005**	6,6275	0,010*	8,6647	0,001**

Onde: SJQ: São Joaquim; PNL: Paniel; URU: Urupema; LAG: Lages; SJC: São José do Cerrito; DAP: diâmetro à altura do peito (cm); DC: diâmetro de copa (m); PC: proporção de copa (%); GE: grau de esbeltez; FC: formal de copa; IS: índice de saliência; A<sup>2</sup>: estatística de Anderson-Darling para qualidade do ajustamento de modelo de distribuição; p: probabilidade associada ao modelo; (\*): significativo (5% de probabilidade); (\*\*): altamente significativo (1% de probabilidade). Valores em azul indicam ajuste do modelo. Fonte: Elaborado pelo autor (2018).