

TÁSCILLA MAGALHÃES LOIOLA

**MANEJO DA PAISAGEM EM FRAGMENTOS DE FLORESTA
DE ARAUCÁRIA NO SUL DO BRASIL COM BASE NO
INCREMENTO DIAMÉTRICO**

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

Orientador: Prof. Dr. André Felipe Hess

Lages, SC

2016

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

Magalhães Loiola, Tásilla

Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de
araucária no sul do Brasil com base no incremento
diamétrico / Tásilla Magalhães Loiola. Lages -
2016.

136 p.

Orientador: Andre Hess

Co-orientador: Geedre Borsoi

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. Araucaria angustifolia. 2. Manejo Florestal.
3. Modelagem do crescimento. 4. Análise
Geoestatística. I. Hess, Andre. II. Borsoi, Geedre.
- III. Universidade do Estado de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
- IV. Título.

TÁSCILLA MAGALHÃES LOIOLA

MANEJO DA PAISAGEM EM FRAGMENTOS DE FLORESTA DE ARAUCÁRIA NO SUL DO BRASIL COM BASE NO INCREMENTO DIAMÉTRICO

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

Banca examinadora:

Orientador/presidente:

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

Membro externo:

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

Membro interno:

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

Lages, SC, 19 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sempre me conduz para o caminho do bem, me iluminando, fortalecendo e colocando boas pessoas e boas oportunidades em meu caminho.

À minha família, meu pai Joel, minha mãe Albina e ao meu irmão Estéfano, pelo amor e por serem meus maiores incentivadores na vida.

Ao meu orientador, Prof. André Felipe Hess, pela orientação, paciência e incentivo ao longo desse período.

Aos amigos que encontrei em Lages, amigos queridos, Alana, Aline, Ana, Danieli, Dionéia, Juliana, Rafael, Roraí e Sandra por todo o companheirismo, amizade e os momentos de descontração. Sem vocês a caminhada não seria tão feliz.

Aos parceiros das saídas a campo, Alaércio Denega, Bruno Nascimento, Diego Campos, Isadora Arruda, Thyago Haut e Valmir Milani pela disposição e ajuda.

Aos proprietários das áreas, por permitirem o desenvolvimento dessa pesquisa em suas propriedades.

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

Aos órgãos de fomento à pesquisa FAPESC e CAPES, pela disponibilização da bolsa.

À todos, que de uma forma ou outra contribuíram para essa conquista.

Muito obrigada!

Dedico esse trabalho
especialmente aos meus pais,
Joel e Albina e ao meu irmão
Estéfano, minha família meu
porto seguro.

RESUMO

LOIOLA, Tásilla, M. **Manejo da paisagem em fragmentos de floresta de araucária no sul do Brasil com base no incremento diamétrico**. 2016. 136 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Área de concentração: Produção Florestal e Tecnologia da Madeira – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2016.

O objetivo do presente trabalho foi utilizar a geoestatística e a dendrocronologia em conjunto com as variáveis morfométricas e dendrométricas para, com base no incremento diamétrico, avaliar o crescimento no tempo de *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil, ajustar modelos de crescimento e gerar mapas da distribuição do incremento para manejo da paisagem visando intervenções sustentadas em seu ecossistema. Os dados foram coletados em fragmentos de floresta nativa, em quatro áreas distribuídas em três municípios do planalto serrano de Santa Catarina: São Joaquim, Urupema e Paineira. Foram amostradas 256 árvores, das quais coletou-se as variáveis dendrométricas e morfométricas, como também seu posicionamento no espaço. A análise dos índices morfométricos indicou que a espécie encontra-se em diferentes graus de competição. A análise de covariância demonstrou que há diferença na relação forma-dimensão nas áreas de amostragem. A altura de inserção de copa apresentou correlação positiva e melhor ajuste com a altura total, e correlação negativa com a proporção de copa. A correlação negativa com *pc%* indica que um maior percentual de copa corresponde a menor *hic*. A relação entre a proporção de copa em função do comprimento de copa indica que árvores com maior comprimento de copa apresentam maior manto e proporção de copa, consequentemente, melhor capacidade de crescimento. Para o diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito a correlação foi positiva, ou seja, com o aumento em dimensão aumenta proporcionalmente o diâmetro de copa. As relações interdimensionais, analisadas pela covariância, demonstraram diferenças entre árvores de crescimento na floresta e de crescimento livre. Árvores crescendo sem competição apresentam maior *pc%* e maior *cc* do que árvores crescendo em competição, assim como, apresentam maior *dc* do que sob crescimento no interior da floresta. Foi possível determinar o diâmetro de copa potencial, o espaço de crescimento, o número de árvores por hectare e área basal por hectare, servindo como subsídio para futuras intervenções de manejo florestal. Para a análise do

incremento em diâmetro e da idade, utilizou-se da análise parcial de tronco. Em São Joaquim 1 a média para o incremento médio anual em diâmetro foi de 0,45 cm.ano⁻¹, em São Joaquim 2, foi de 0,69 cm.ano⁻¹, em Urupema, 0,82 cm.ano⁻¹ e em Painei, 0,94 cm.ano⁻¹. A análise de covariância mostrou existir diferenças no incremento médio anual nos sítios de estudo. O ajuste do incremento em função do diâmetro à altura do peito e da idade mostrou que as árvores apresentaram diminuição gradativa do incremento com aumento do diâmetro e avanço da idade. A análise de correlação de Pearson para o incremento periódico anual em área basal com as variáveis morfométricas e dendrométricas, demonstrou que as variáveis com maior correlação foram proporção de copa e diâmetro, com correlação positiva de valor 0,40 e 0,30. O modelo linear generalizado *Gamma - identidade* apresentou os melhores critérios estatísticos no ajuste do incremento periódico anual em área basal em função do diâmetro, percentual de copa e altura. O uso de variáveis de dimensões da copa, podem ser inseridas na modelagem do incremento periódico anual em área basal de *Araucaria angustifolia*. Na análise geoestatística inicialmente avaliou-se os dados a partir da estatística clássica, em seguida procedeu-se o ajuste dos semivariogramas. Posteriormente, utilizou-se da Krigagem ordinária para a interpolação dos dados. Os valores do desvio padrão mostram que há maior variabilidade nos dados de Painei. Existe uma assimetria positiva para todos os dados, tornando necessária a transformação dos mesmos em alguns casos. O modelo exponencial demonstrou melhor ajuste para as áreas de São Joaquim e Painei, já em Urupema o melhor modelo resultou no modelo esférico. Com os mapas de interpolação dos dados foi possível visualizar a distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro nos quatro sítios abordados, identificando as áreas com maior e menor incremento em diâmetro. Os resultados gerados neste trabalho possibilitam perceber a estrutura e a distribuição de crescimento da araucária em cada sítio de estudo, contribuindo para o manejo da paisagem e da espécie no sul do Brasil. A legislação atual restringe o uso sustentável da espécie, sua regeneração natural e o aumento nas taxas de incremento, assim, são necessárias reformas na legislação vigente para garantir a perpetuidade da tipologia Floresta com Araucária.

Palavras-chave: *Araucaria angustifolia*, manejo florestal, modelagem do crescimento, análise geoestatística.

ABSTRACT

LOIOLA, Tásilla, M. **Landscape management in Araucaria forest fragments in southern Brazil, based on diameter increment.** 2016. 136 leaves. Dissertation (Masters in Forestry - Concentration Area: Forest Production and Wood Technology - University of the State of Santa Catarina Graduate Program in Forestry, Lages, 2015).

The objective of this study was used the geostatistics and dendrochronology together with morphometric variables and dendrometric for, based on the diameter increment, evaluate the growth in *Araucaria angustifolia* in southern Brazil, adjust growth models and generate mapping the distribution the increase for landscape management aimed at sustainable interventions in its ecosystem. Data were collected in native forest fragments in four areas distributed in three municipalities in the mountainous plateau of Santa Catarina: São Joaquim, Urupema and Panel. Were sampled 256 trees, which gathered up the dendrometric and morphometric variables, as well as its position in space. The morphometric analysis index indicated that the species is different degrees of competition. Covariance analysis showed no difference in the shape-size ratio in sample areas. The crown insertion height correlated positively and better fit with the overall height, and negatively correlated with the proportion of canopy. The negative correlation with pc% indicates that a higher percentage of canopy corresponding to minor hic. The relationship between the proportion of crown according to the canopy trees with length indicates that greater length cup mantle and have a higher proportion of canopy thus improved growth capacity. For the crown diameter according to the diameter at breast height it was a positive correlation, that is, with the increase in size increases with the diameter of the crown. Interdimensional relationships analyzed by covariance showed differences between growing trees in the forest and free growth. growing trees without competition have greater and greater pc% cc than trees growing in competition, as well as have higher DC than on growth in the forest. It was possible to determine the potential crown diameter, growth space, the number of trees per hectare and basal area per hectare, serving as a resource for future interventions of forest management. For the analysis of increment in diameter and the age, we used the trunk partial analysis. In São Joaquim 1 the average for the mean annual increment in diameter was 0, 45 cm.ano-1 in São Joaquim 2, was 0,69 cm.ano-1, Urupema, 0,82 cm.ano- 1 and

Painel, 0,94 cm.ano⁻¹. Covariance analysis showed no differences in the average annual increase in the study sites. The incremental adjustment in the diameter at breast height and age showed that the trees showed a gradual decrease in the increase with increase in diameter and advancing age. Pearson correlation analysis for the annual periodic increment in basal area with morphometric variables and dendrometric showed that the variables with the highest correlation were proportion of cup and diameter, with a positive correlation value of 0,40 and 0,30. The generalized linear model Gamma - identity presented the best statistical criteria in setting annual periodic increment in basal area by diameter, percentage of canopy and height. The use of cup dimensions variables can be inserted in the modeling of the annual periodic increment in basal area of *Araucaria angustifolia*. In geostatistical analysis initially evaluated the data from classical statistics, then proceeded to the adjustment of the semivariogram. Later, we used the ordinary kriging for the interpolation of data. The standard deviation values show that there is greater variability in the panel data. There is a positive skew for all data, making it necessary to be transformed in some cases. The exponential model demonstrated better adjustment to the areas of São Joaquin and Painel already in Urupema the best model resulted in the spherical model. With the data interpolation maps was possible to visualize the spatial distribution of mean annual increment in diameter covered the four sites, identifying the areas with the highest and lowest diameter increment. The results generated in this study can understand the structure and growth of distribution *Araucaria* in each study site, to facilitate the management of the landscape and the species in southern Brazil. Current legislation restricts the sustainable use of the species, its natural regeneration and the increase in the rates, so reforms are needed in the legislation to ensure the perpetuity of the type *Araucaria* Forest.

Keywords: *Araucaria angustifolia*, forest management, growth modeling, geostatistical analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa com a localização dos sítios amostrais.....	34
Figura 2 - Altura de inserção de copa e proporção de copa em função da altura total para <i>Araucaria angustifolia</i>	46
Figura 3 - Proporção de copa em função do comprimento de copa e diâmetro de copa em função do diâmetro para <i>Araucaria angustifolia</i>	48
Figura 4 - Altura de inserção de copa (hic) em função da altura total (ht), proporção de copa (pc%) em função do comprimento de copa (cc) e diâmetro de copa (dc) em função do diâmetro (dap) para <i>Araucaria angustifolia</i> em árvores de crescimento na Floresta (Flta) (competição) e crescimento Livre (sem competição).....	51
Figura 5 - Diâmetro de copa em função do diâmetro, valores estimados e observados, para <i>A. angustifolia</i> nos 3 sítios de estudo.....	52
Figura 6. Mapa de localização dos sítios amostrais.	70
Figura 7 – Resíduos gerados pelo ajuste de id (d) (a, c, e, g) e id(t) (b, d, f, h).	77
Figura 8 - Incremento médio em diâmetro em função do diâmetro (a) e da idade (b).	78
Figura 9 - Recuo do crescimento em d para todas as árvores nos quatro sítios de estudo.....	81
Figura 10 - Mapa de localização dos sítios e árvores amostrais.....	92
Figura 11. Distribuição dos resíduos dos ajustes do IPAg com os MLG's Gamma - μ . a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Urupema e d) Paineel.	99
Figura 12- Mapa de localização das árvore e sítios amostrais.....	110

Figura 13- Gráficos de tendência do incremento médio em diâmetro da araucária no planalto serrano catarinense: a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Paineel e d) Urupema.116

Figura 14 – Semivariogramas ajustados com os dados de incremento médio em diâmetro: a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Urupema e d) Paineel.....119

Figura 15 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área São Joaquim 1..... 121

Figura 16 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área São Joaquim 2.123

Figura 17 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área de Urupema.125

Figura 18 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área de Paineel.....127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características biométricas e morfométricas para <i>Araucaria angustifolia</i> no Sul do Brasil.....	39
Tabela 2 - Análise de covariância para altura de inserção de copa, proporção de copa e diâmetro de copa em função de variáveis dendrométricas e morfométricas.	42
Tabela 3 - Análise de covariância para altura de inserção de copa, proporção de copa e diâmetro de copa para árvores em floresta e de crescimento livre.....	43
Tabela 4 - Resumo estatístico e coeficientes dos modelos ajustados para relação forma-dimensão para <i>Araucaria angustifolia</i> no Sul do Brasil.	45
Tabela 5 - Espaço de crescimento estimado para <i>A. angustifolia</i> no planalto catarinense.....	55
Tabela 6. Comportamento do incremento médio em diâmetro para <i>A. angustifolia</i> nos diferentes sítios amostrais.	74
Tabela 7 - Análise de covariância para incremento em diâmetro de <i>A. angustifolia</i> em função do diâmetro e da idade no planalto serrano de Santa Catarina.	76
Tabela 8. Parâmetros estatísticos estimados a partir do ajuste dos MLG's.	77
Tabela 9 - Correlação de Pearson do IPAg com as variáveis dendrométricas e morfométricas testadas.	97
Tabela 10 – Parâmetros estatísticos e coeficientes dos modelos gerados com os Modelos Lineares Generalizados para descrever o incremento periódico anual em área basal de araucária em função das variáveis dendrométricas e morfométricas.	99
Tabela 11. Estatística descritiva do incremento médio em diâmetro para araucária no planalto serrano de Santa Catarina.....	115
Tabela 12 – Ajuste dos semivariogramas teóricos.	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FOM	Floresta Ombrófila Mista
MLG	Modelos Lineares Generalizados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
SJQ	São Joaquim
URU	Urupema
PNL	Painel
Rc ou rc	Raio de copa
Ac ou ac	Área de copa
Cc ou cc	Comprimento de copa
Pc% ou pc	Percentual de copa
Fc ou fc	Formal de copa
NP	Número potencial de árvores
N/ha	Número de árvores por hectare
IS	Índice de Saliência
GE	Grau de Esbeltez
IA	Índice de Abrangência
HIC ou hic	Altura de inserção de copa
Id ou id	Incremento em diâmetro
DAP ou d	Diâmetro à altura do peito
Dc ou dc	Diâmetro de copa
h	Altura total
cm	Centímetros

m	Metros
t ou T	Idade
SC	Santa Catarina
IPAg	Incremento periódico anual em área basal
ha	Hectare
N	Norte
S	Sul
L	Leste
O	Oeste
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
D	Função desvio
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
TSAP	<i>Time Series Analysis Program</i>
EC	Espaço de crescimento
Sc	Sobreposição das copas
G	Área basal por hectare
Obs.	Valores observados
Est.	Valores estimados
ha	Hectares
id (t)	Incremento anual em diâmetro em função da idade
id (d) à altura do peito	Incremento anual em diâmetro em função do diâmetro

p

Índice de correlação de Pearson

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
MODELAGEM DAS RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO E DO ESPAÇO DE CRESCIMENTO PARA <i>Araucaria angustifolia</i> NO SUL DO BRASIL	30
1.1 RESUMO	30
1.2 INTRODUÇÃO	32
1.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
1.3.1 Sítio de estudo	33
1.3.2 Aquisição das variáveis morfométricas e dendrométricas	35
1.3.3 Análise dos dados.....	38
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
1.4.1 Relações morfométricas	38
1.4.2 Ajuste forma-dimensão	41
1.4.2 Espaço de crescimento.....	53
1.5 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANÁLISE DENDROCRONOLÓGICA E AJUSTE DO INCREMENTO DIAMÉTRICO DE <i>Araucaria angustifolia</i> NO SUL DO BRASIL	67
2.1 RESUMO.....	67
2.2 INTRODUÇÃO	68
2.3 MATERIAIS MÉTODOS	70
2.3.1 Sítios de estudo.....	70
2.3.2 Aquisição dos dados.....	72

2.3.3 Análise estatística dos dados e modelos para o incremento diamétrico	73
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
2.4.1 Incremento em diâmetro de araucária para os sítios de estudo	74
2.4.2 Análise dendrocronológica do crescimento	81
2.5 CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL DE <i>Araucaria angustifolia</i> E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DENDROMÉTRICAS NO SUL DO BRASIL	89
3.1 RESUMO	89
3.2 INTRODUÇÃO	90
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	92
3.3.1 Sítios de estudo	92
3.3.2 Aquisição dos dados	94
3.3.3 Correlação de Pearson das variáveis dendrométricas e morfométricas com o incremento periódico anual em área transversal	96
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
3.4.1 Modelagem do incremento periódico anual em área basal	97
2.5 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MAPEAMENTO DO INCREMENTO DIAMÉTRICO DE <i>Araucaria angustifolia</i> COMO BASE PARA O MANEJO DA PAISAGEM NO SUL DO BRASIL	107
4.1 RESUMO	107

4.2 INTRODUÇÃO	109
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	110
4.3.1 Sítios amostrais	110
4.3.2 Aquisição dos dados	112
4.3.3 Análise Geoestatística	113
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	115
4.5 CONCLUSÃO	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131
CONSIDERAÇÕES FINAIS	136

INTRODUÇÃO GERAL

A formação florestal Floresta Ombrófila Mista (FOM), é um tipo de vegetação do planalto meridional, e trata-se de um ecossistema do Bioma Mata Atlântica característico da região Sul do Brasil e de algumas áreas da região Sudeste (VELOSO & Goes Filho, 1991). Sua principal característica é a presença predominante da *Araucaria angustifolia* (Bertol) O. Kuntze, sendo a FOM conhecida popularmente como Floresta de Araucaria ou Mata de Araucaria.

Esta formação florestal ocorre em regiões com altitudes superiores a 400 metros acima do nível do mar, ocorrendo no território do estado do Paraná, do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina e em algumas áreas de altitude elevada nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (KOCH & CORRÊA, 2002; ANSELMINI et al., 2005).

A vegetação que compõe as regiões de *Araucaria angustifolia*, segundo Klein (1960), não se trata de uma formação homogênea e contínua e sim, de agrupamentos e múltiplas associações representando diversos estágios de sucessão e espécies típicas de cada um desses estágios.

A *A. angustifolia* é uma típica conífera brasileira, trata-se de uma árvore de grande porte, perenifólia, que possui tronco reto quase cilíndrico, com altura variando entre 10 m e 35 m, normalmente quando adulta apresenta diâmetro à altura do peito (DAP) acima de 50 cm (AQUINO, et al., 2005).

Essa espécie possui madeira com boas características físicas e mecânicas, considerada leve (LORENZI, 1992). Possui superfície lisa e lustrosa, com coloração branca amarelada, apresenta boa trabalhabilidade e facilidade de colagem (CARVALHO, 2002).

Nos primeiros anos do século XX, houve uma intensa exploração das florestas de araucária para uso de sua madeira, bem como, uma drástica diminuição das áreas naturais de ocorrência da espécie para a implantação de áreas de agricultura e pecuária. O auge dessa exploração aconteceu no período entre 1950 e 1970, configurando a madeira da espécie como um dos principais produtos brasileiros de exportação, correspondendo a cerca de 90% da madeira enviada para fora do país, dessa forma contribuindo significativamente com o desenvolvimento da economia das suas regiões de ocorrência (SEITZ, 1991).

Esta exploração sem planejamento contribuiu para que atualmente a *A. angustifolia* esteja na lista de espécies ameaçadas de extinção, isso ocasionou a criação de uma legislação restritiva que impede a avaliação da viabilidade de implantação do manejo florestal sustentável nessas áreas, mas não restringe o conhecimento sobre seu crescimento e produção volumétrica dessas florestas.

Além disso, a ausência de uma política florestal com medidas eficazes, seguindo os preceitos de 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.

Entre os mecanismos de planejamento e manejo dos recursos naturais, com a intenção de diminuir a deterioração dos recursos naturais e genéticos, o manejo da paisagem é considerado uma das estratégias mais indicadas para a manutenção dos ecossistemas (VALENTE, 2005).

No manejo da paisagem são considerados os aspectos ambientais, sociais da região e as características estéticas das florestas, dessa forma diferenciando-se dos demais tipos de manejo. Estas associações permitem realizar inferências mais precisas e adequadas à realidade de cada ecossistema, resultando em um planejamento específico (TABARELLI & GASCON, 2005).

Quando há a intenção de realizar o manejo dos ecossistemas florestais visando a sustentabilidade e a conservação, é imprescindível que se tenha conhecimento sobre sua capacidade produtiva e seu potencial de crescimento, bem como, outras características que servirão como base na busca da perpetuidade da produção de produtos disponibilizados pela floresta e das espécies que a compõe (SOUZA et al., 2009). A proposta do manejo florestal consiste em promover melhores condições de crescimento às árvores, visando maximizar as taxas de incremento, de forma sustentável, sem comprometer as produções futuras.

Devido as árvores estarem constantemente susceptíveis às mudanças que ocorrem na floresta, sendo estas mudanças refletidas no seu desenvolvimento e crescimento, as características morfométricas e dendrométricas das árvores contribuem para a avaliação dos recursos de crescimento disponíveis para esses indivíduos, considerando fatores como competição e espaço de crescimento. As possíveis intervenções na dinâmica da floresta podem ser embasadas nestas informações.

De acordo com Pretzsch (1995), as características de dimensão e a forma das árvores em conjunto com suas variações no tempo, são passíveis de compor modelos de crescimento e de concorrência, devido sua importância, permitindo inferir sobre a produtividade de cada árvore.

Estudar de forma específica as variáveis que envolvem a dinâmica das florestas permitem o aperfeiçoamento de técnicas de manejo dos ecossistemas. Porém, é importante que se considere a dependência espacial dessas variáveis, assim como a sua representação no espaço, o que não ocorre na maioria desses estudos.

A geoestatística é utilizada na detecção e descrição da estrutura de dependência espacial, e consiste em um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados de atributos de determinada área estudada, sua ferramenta básica é a interpolação, obtendo como produto um mapa da área mostrando as estimativas de determinado atributo com mínima variância (LAMPARELLI et al., 2001).

Com o uso dessas técnicas, as recomendações quanto ao uso atual e futuro dos recursos florestais se tornam mais dinâmicos, proporcionando uma gestão florestal responsável e específica, devido o acompanhamento das mudanças nas variáveis e uma comparação entre os cenários atuais e os previstos pelo planejamento. (XAVIER-DASILVA, 2001).

Dessa forma, como objetivo geral da presente pesquisa, buscou-se utilizar a geoestatística e a dendrocronologia em conjunto com as variáveis morfométricas e dendrométricas para, com base no incremento diamétrico, analisar o crescimento no tempo de *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil e ajustar modelos que expliquem o crescimento da espécie. Dessa forma, contribuir com o manejo da paisagem e da araucária visando intervenções sustentadas em seu ecossistema.

Os objetivos específicos foram: descrever o comportamento do crescimento através da construção de modelos matemáticos envolvendo variáveis morfométricas e dendrométricas; com o uso da análise de covariância verificar a existência de diferença no crescimento entre os diferentes sítios de estudo; construir as curvas de crescimento no tempo para cada local; estudar o incremento periódico anual em área basal e as possíveis correlações com as variáveis de tamanho e dimensão da copa e utilizar ferramentas da geoestatística, para a detecção da dependência espacial e confecção de mapas de interpolação dos dados, e assim, contribuir para o manejo da paisagem e da espécie em sua região de ocorrência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELMINI, J. I.; ZANETTE, F.; BONA, C. Fenologia reprodutiva da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze, na região de Curitiba, **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 44-52, 2006.

AQUINO, M. F. et al. **Cultivo da *Araucaria angustifolia*: viabilidade econômico-financeira e alternativas de incentivo**. Florianópolis: BRDE, 2005, 53p.

CARVALHO, R. E. P. **Pinheiro do Paraná**. Colombo: EMBRAPA, 2002.

KLEIN, R.M. **O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro**. Sellowia, Itajaí, v. 12, n. 12, p. 17-48, 1960.

KOCH, Z.; CORRÊA, M. C. Araucária: **A Floresta do Brasil Meridional**. Curitiba: Olhar Brasileiro, 2002, 148 p.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão**. Ed. Agropecuária, p. 118, 2001.

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

PRETZSCH, H Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v.14, p. 188-209, 1995.

SEITZ, R. A. Avanços na silvicultura de *Pinus* sp. e *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL “O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS”, 1991, Curitiba. **O desafio das florestas neotropicais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Freiburg: Universidade Albert Ludwig, p. 153-176. 1991.

SOUZA, L. H. S.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Incremento volumétrico de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 305-314, jul.-set., 2009.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 1, p. 181-188, 2005.

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da Abordagem Multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. **Fitogeografia Brasileira: Classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical**. In: PROJETO RADAMBRASIL, Salvador. Bol. Técnico. Série vegetação, 1982.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, v. 1, p. 228, 2001.

CAPÍTULO 1

MODELAGEM DAS RELAÇÕES FORMA-DIMENSÃO E DO ESPAÇO DE CRESCIMENTO PARA *Araucaria angustifolia* NO SUL DO BRASIL

1.1 RESUMO

Estudos da relação forma-dimensão de árvores individuais proporcionam conhecimento sobre as características, tipo de competição, funções e serviços do ecossistema florestal, principalmente para o manejo da competição e suprimento do crescimento das árvores. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi analisar os índices morfométricos e ajustar equações das relações interdimensionais de 256 árvores individuais amostradas em três sítios de estudo na área de ocorrência da espécie no Sul do Brasil, para contribuir com o manejo de araucária. Os resultados do ajuste com os modelos lineares generalizados demonstrou equações com coeficiente angular positivo, indicando competição do tipo dimensão-simétrica por recurso sob o solo nas classes de menor diâmetro e, à medida que aumenta a dimensão a competição é do tipo dimensão-assimétrica por luz, indicando que nem todos os indivíduos recebem a mesma quantidade de recurso. As equações conseguem prever a relação forma-dimensão e as variações na morfometria das árvores. Os resultados mostram a relação das variáveis com a competição e as variações no diâmetro, indicando que o manejo florestal pode se basear nas diferenças de forma ao longo do desenvolvimento da floresta para prever intervenções silviculturais, reduzir competição e o aumento das taxas de crescimento.

Palavras-chave: competição, morfometria, Floresta Ombrófila Mista.

ABSTRACT

Studies of the relationship morphometry-sized trees provide knowledge about the characteristics, type of competition, functions and services of the forest ecosystem, especially for the management of competition and supply of tree growth. In this sense, the objective was to adjust equations of interdimensional relationships to establish accuracy in the management of araucaria. They were sampled 256 trees in phytoregion of occurrence of the species and measured the variables of size and shape. The linear equation with a positive slope indicates competition for scale-symmetric feature under the ground in classes and smaller diameter, as it increases the size of the competition is the dimension asymmetric-type by light, indicating that not all subjects receive the same amount of resource. Thus, monitoring the behavior of the regression line in relation scale-shape serves as indicative of the possibility of silvicultural interventions to reduce competition keep the diameter increment rates and understand the dynamics of dimensional structure on different growth conditions.

Keywords: Competition, morphometry, araucaria forest.

1.2 INTRODUÇÃO

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 torna-se imprescindível para aprimorar as intervenções silviculturais, principalmente quando se deseja tornar efetiva a utilização de espécies da flora nativa em reflorestamentos com interesses econômicos (Roman, et al., 2009).

As relações morfométricas de uma espécie florestal fornecem subsídios básicos para estimativas da biomassa de copa. Variáveis como a altura total da árvore, a altura de copa e o diâmetro de copa podem ser facilmente correlacionados com o diâmetro à altura do peito (ORELLANA et al., 2008). Segundo Bechtold (2003); Russell & Weiskittel (2011); McIntosh et al., (2012), a utilização de dados da forma da copa pode auxiliar no monitoramento de florestas, além de informar a zona de influência das copas (sobreposição) e o grau de concorrência da árvore (GILL et al., 2000; GETZIN et al., 2008).

As características da copa de árvores individuais, segundo Durlo (2001), facilitam a definição do espaço de crescimento necessário de cada árvore, além de apontar o grau de concorrência entre os indivíduos da floresta e fazer deduções sobre produtividade, vitalidade e estabilidade de cada indivíduo.

Segundo Lamprecht (1990), as condições ambientais influenciam diretamente na morfometria e no crescimento das árvores e na competição, que é um fator determinante para a captação de recursos. O arranjo dos indivíduos dentro do povoamento e a alocação de recursos determinam a sua sobrevivência, bem como a estrutura do povoamento, fazendo com que a competição seja um dos principais fatores reguladores do crescimento secundário (KRAMER & KOZLOWSKI, 1972).

A relação forma-dimensão-competição se expressa pela inclinação da reta de regressão de equações com variáveis morfométricas. Indivíduos jovens possuem inclinações acentuadas, contudo à medida que aumenta a dimensão há inversão no sinal do coeficiente angular, com mudanças nas variáveis morfométricas (menor percentual de copa, maior altura de inserção de copa, etc), indicativo de árvores com maior idade ou em competição possibilitando ajustes na densidade e dinâmica da estrutura com intervenções silviculturais (MINATTI, 2015; COSTA et al., 2013).

Assim o conceito de série dimensional e seu acompanhamento possibilita uma metodologia para o manejo florestal (ROMAN et al., 2009), e auxilia na modelagem do crescimento e da competição, como por exemplo, os diagramas de manejo da densidade (MÁRQUEZ-LINARES; ALVAREZ-ZAGOYA, 1995; SELLE, 2010).

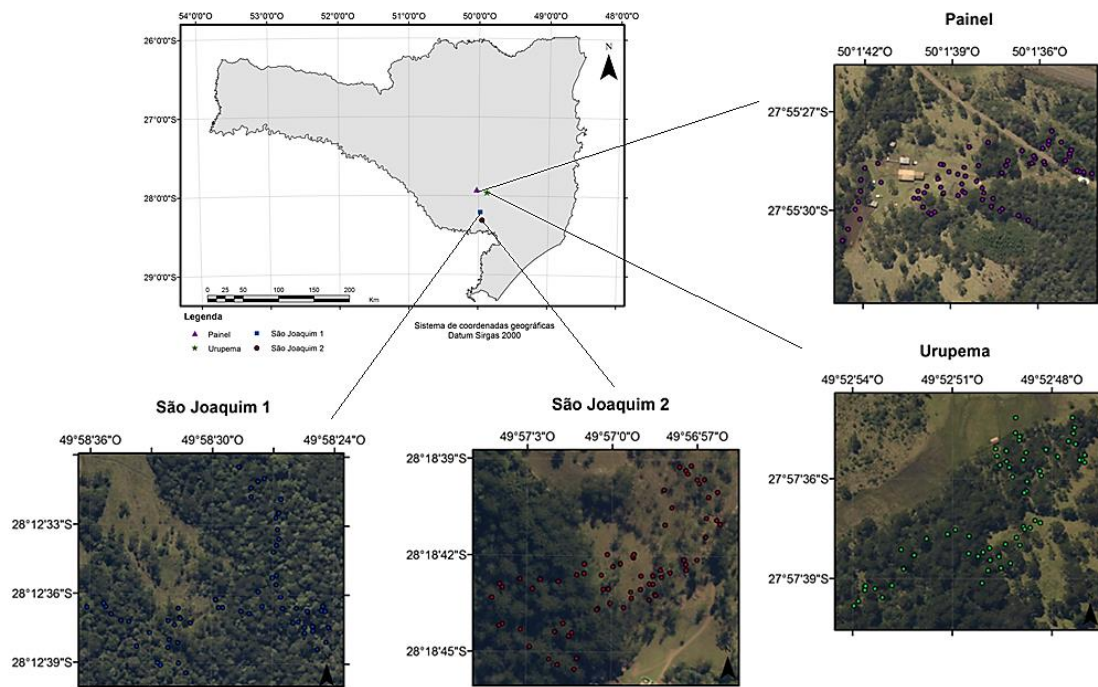
Este trabalho teve como objetivo modelar os índices morfométricos e relações interdimensionais para *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil, como subsídio a intervenções sustentadas no manejo florestal de florestas nativas da tipologia Floresta Ombrófila Mista.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Sítio de estudo

Os sítios amostrados tratam-se de remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados no planalto serrano de Santa Catarina (Figura 1). Os sítios encontram-se nos municípios de São Joaquim (SJQ), com área total de 73,46 ha e 19,72 ha, e área amostral de 1,86 ha e 1,4 ha, Urupema (URU) com 18,08 ha de área total e 1,2 ha amostrados, Paineal (PNL) área total de 50,47 ha e 1,3 ha de área amostral. Em São Joaquim foram amostrados dois sítios, um com árvores de floresta e o outro com árvores de crescimento livre (campo) para análise comparativa das relações interdimensional.

Figura 1 – Mapa com a localização dos sítios amostrais.



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Foram amostradas 256 árvores optando-se por uma abordagem baseada em árvores individuais com objetivo de cobrir as amplitudes de distribuição diamétrica, em floresta nativa irregular inequidânea (densidade <250 a +300 indivíduos por hectare), (HESS et al., 2010; HESS et al., 2014) a 40 anos sem manejo e intervenções silviculturais, ocorrendo competição, comprometimento da regeneração natural e da perpetuidade desta tipologia florestal. A suficiência amostral foi calculada conforme equação em Sanquetta et al. (2014).

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima cfb, temperado, constantemente úmido e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). Em São Joaquim, a altitude é de 1.352 m, temperatura média anual de 14°C e precipitação de 1.683 mm, em Urupema a altitude é de 1.324 m, 14,1°C e 1.634 mm, Paineis 1.123 m de altimetria, 15,3°C e 1.543 mm de precipitação anual.

Em São Joaquim os solos são classificados como Associação Neossolo Litólico + Cambissolos Háplicos + Neossolos Litólicos Eutróficos, relevo forte ondulado (substrato efusivos da Formação Serra Geral) todos fase pedregosa campo e floresta subtropical. Para o município de Urupema os solos predominantes são classificados como Associação Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico, textura argilosa, fase pedregosa, relevo ondulado (substrato efusivos da Formação Serra Geral) + Nitossolo Bruno distrófico, textura muito argilosa, relevo ondulado. E em Paineis os solos predominantes são classificados como Neossolos Litólicos Distroúmblicos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivos de Formação da Serra Geral) + Cambissolos Háplicos, textura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2012).

1.3.2 Aquisição das variáveis morfométricas e dendrométricas

De todas as árvores foram medidos o diâmetro altura do peito (d), altura total (h), altura de inserção de copa (hic), os 4 raios de copa tomados nas direções cardeais, tendo como limite a extremidade dos galhos, sendo este número de mensurações aceitável para a espécie, pois a araucária possui copa simétrica (Costa et al., 2013). Foram também obtidas as coordenadas geográficas de cada indivíduo amostrado e com os dados levantados no campo, foi possível calcular as seguintes variáveis:

- Raio de copa médio (\bar{rc}):

$$\bar{rc} = \sum_{i=1}^{n=4} \frac{rc}{4}$$

Em que: rc : raios da copa, em metros.

- Diâmetro da copa (dc):

$$dc = 2 \cdot \bar{rc}$$

Em que: \bar{rc} : raio da copa médio, em metros.

- Área de projeção de copa (ac):

$$ac = \pi \cdot \bar{rc}^2$$

Em que: \bar{rc} : raio da copa médio, em metros.

- Comprimento de copa (cc):

$$cc = h - hic$$

Em que: h: altura total em metros, hic: altura de inserção de copa em metros.

- Índice de Saliência (IS):

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

Em que: Dc: diâmetro da copa, em metros e DAP: diâmetro à altura do peito, em centímetros.

- Índice de abrangência (IA):

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

Em que: Dc: diâmetro da copa, em metros e h: altura total, em metros.

- Grau de esbeltez (GE):

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

Em que: Dc : diâmetro da copa, em metros e h: altura, em metros.

- Proporção de copa (pc%):

$$pc\% = \left(\frac{cc}{ht} \right) * 100$$

Em que: CC: comprimento de copa, em metros e h: altura total, em metros.

Para o cálculo do espaço de crescimento das árvores, foi utilizada a seguinte expressão:

$$Ec = \frac{dc^2 \cdot \pi}{40000}$$

Em que: Ec: espaço de crescimento em m² por hectare, dc: diâmetro de copa em metros.

O número de árvores por hectare foi calculado pela expressão:

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

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

O cálculo da área basal por hectare (G) foi realizado pela seguinte expressão:

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

Em que: G: área basal por hectare (m²/há), DAP: diâmetro à altura do peito, N/ha: número de árvores por hectare.

1.3.3 Análise dos dados

As análises estatísticas foram processadas no pacote estatístico SAS 9.3. Os dados da relação interdimensional foram submetidos a análise de covariância para testar as diferenças de inclinação e nível da regressão (Kaps e Lamberson, 2004), isto é, diferenças nos padrões de forma para araucária nos sítios de estudo, usando variáveis da forma da copa como variável dependente e sua variabilidade explicada pela interação com o local e variáveis de dimensão, como variáveis independentes contínuas.

O modelo (KAPS & LAMBERSON, 2004) incluindo o efeito de grupo e a regressão linear simples é : $y_{ij} = \beta_0 + \tau_i + \beta_1 x_{ij} + \sum_i \beta_{2i}(\tau^*x)_{ij} + \varepsilon_{ij}$, onde: $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, n$; y_{ij} = observação j no grupo i ; τ_i = o efeito do grupo i ; β_0 , β_1 e β_{2i} = parâmetros da regressão; x_{ij} = valor da variável independente contínua para observação j no grupo i ; $(\tau^*x)_{ij}$ = interação do grupo x covariante; ε_{ij} = erro aleatório.

Adotou-se o modelo linear simples para a análise de covariância, a fim de evitar a diminuição dos graus de liberdade do resíduo de uma unidade e a perda de poder do modelo. Na modelagem das relações morfométricas, a variável independente mais usada é o diâmetro, pela alta correlação existente entre elas (BECHTOLD, 2003; LOCKHART et al., 2005; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al., 2007).

Os resíduos do modelo não apresentaram violação dos condicionantes de regressão (normalidade, homogeneidade da variância e independência dos erros) e a acurácia dos modelos foi verificada pelos critérios do coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa (S_{yx}) e análise gráfica dos resíduos

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

1.4.1 Relações morfométricas

Os resultados obtidos no cálculo da suficiência amostral mostraram que seria necessário a amostragem de $n=36$ e $n=39$ árvores nas áreas situadas em São Joaquim, $n= 25$ em Urupema e $n= 35$ árvores em Painel, totalizando 135 árvores amostra, portanto o levantamento realizado abrange a suficiência amostral com um total de 256 árvores amostradas, tornando-se representativo para os sítios considerados.

As características biométricas e morfométricas para as árvores observadas nos quatro sítios de estudo estão resumidas na Tabela 1. As

araucárias amostradas possuem uma amplitude de distribuição diamétrica de 18,8 a 127,6cm. O desvio padrão apresentou baixos valores, indicando que os dados se aproximam da média.

Tabela 1 - Características biométricas e morfométricas para *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil.

Variável	Médio	Máximo	Mínimo	σ
<i>D</i>	41,7	127,6	18,8	14,8
<i>Ht</i>	15,9	32,6	7,9	3,9
<i>hic</i>	11,2	28,6	3,5	4,5
<i>dc</i>	8,3	18,4	1,3	3,3
<i>ap</i>	62,5	24,5	1,2	46,7
<i>cc</i>	4,7	13,1	0,2	2,5
<i>pc</i>	30,8	72,7	1,3	16,1
<i>ge</i>	40,6	82,7	14,3	11,7
<i>is</i>	20,3	41,2	3,5	5,9
<i>ia</i>	0,53	1,8	0,09	0,2
<i>fc</i>	2,9	3,9	0,2	3,9

Em que: *d*: diâmetro à altura do peito (cm); *ht*: altura total (m); *hic*: altura de inserção de copa (m); *dc*: diâmetro de copa (m); *ap*: área de projeção de copa (m²); *cc*: comprimento de copa (m); *pc*: proporção de copa (%); *ge*: grau de esbeltez; *is*: índice de saliência; *ia*: índice de abrangência; *fc*: formal de copa.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Os índices morfométricos indicam que nos sítios estudados as árvores sofreram competição passada por espaço de crescimento, restringindo a expansão lateral da copa e favorecendo o crescimento vertical. Contudo, o regime de distúrbio auxiliou o crescimento para as árvores de maior dimensão (PRETZSCH & SCHÜTZE, 2005). Os baixos valores do desvio padrão indicam que os dados estão próximos da média.

Os valores de altura de inserção de copa (*hic*) indicam uma possibilidade de seccionamento do fuste com uma média de 03 a 05 toras de. O comprimento de copa variou de 0,2 a 13,1 m, com média de 4,7. Menor valor do comprimento de copa é indicativo de maior fuste

aproveitável, autodesbaste, competição e menor proporção de copa, o que reduz a capacidade fotossintética e o crescimento. O diâmetro de copa apresentou variação de 1,3 a 18,4 m com média de 8,3 m, sendo que menores valores indicam menor espaço lateral para crescimento e desenvolvimento das árvores.

O espaço médio ocupado pelas árvores (área de copa) foi de 62,5 m², sendo a variação explicada pela amplitude dimensional dos indivíduos, esse valor indica uma densidade ideal de 152 árvores por hectare. A proporção de copa (*pc%*) foi de 30,8%, variando de 1,3 a 72,7%. O valor de 30,8%, por se tratar de conífera e devido às características de forma da araucária, é menor do que o encontrado para folhosas, valor médio de 58% para *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Orellana e Koehler, 2008) e 54,5% para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. (Roman et al. 2009).

A amplitude de variação desse índice demonstrou associação com os fatores bióticos e abióticos (LANG et al., 2010) de cada sítio com as dimensões da árvore e competição, o que significou menor desenvolvimento do comprimento de copa, maior taxa de crescimento em altura e menor incidência de luz para árvores sob o dossel. Takenaka (2000) apud Lang et al., (2010) afirmam que sob forte competição, árvores individuais promovem maiores taxas de crescimento em altura do que em crescimento lateral, resultando em menor área de projeção horizontal de copa para níveis mais elevados de competição por luz e copas assimétricas.

Condé et al., (2013) encontraram para Castanheira-do-Brasil uma média de *pc%* igual a 35,18% indicando que o fuste representa a maior parte da morfometria ($\pm 65\%$) em relação a copa. Os autores concluem assim que a variação na morfometria das plantas pode sofrer mudanças ao longo de seu crescimento, estando suscetível a influência de fatores como espaçamento, condições edafoclimáticas, competição entre copas e tratamentos silviculturais.

O formal de copa (*fc*) médio foi de 2,9, máximo de 3,9 e mínimo de 0,2. O valor indicou que a espécie apresentou copas mais curta e largas, forma plana ou de umbella, característica da espécie quando atinge a maturidade (REITZ & KLEIN, 1966). A variação ocorreu assim, em conformidade com a idade e grau de concorrência. Em árvores novas, o crescimento em altura é maior que o crescimento lateral dos galhos, formando assim copa mais cônica (menor valor do formal de copa).

O grau de esbeltez médio de 40,6 mostrou árvores com menor manto de copa, competição por espaço-recurso, maior crescimento em altura do que diâmetro e ocupando estratos de codominante e dominada, portanto, baixa vitalidade e eficiência em espaço de crescimento.

O índice de abrangência revelou valor médio de 0,53, sendo utilizado como indicador de desbaste, devido à necessidade de espaço com aumento da altura das árvores. Dessa forma, para uma mesma altura total, atingirá maior espaço o indivíduo que tiver maior diâmetro de copa (CUNHA & FINGER, 2013).

O índice de saliência apresentou valor de 20,3 indicando que a espécie tem um diâmetro de copa 20 vezes maior que o diâmetro à altura do peito. Esse índice pode ser usado como indicador do espaço necessário para cada árvore, ao ser atingido determinado diâmetro, Roman et al., (2009). Pelo valor médio pode-se estipular que para produzir indivíduos com 40 cm de diâmetro, equivaleria a um diâmetro de copa de 8,12m e um número de 193 árvores por hectare, crescendo sem competição, como descrito em Roman et al., (2009).

1.4.2 Ajuste forma-dimensão

A análise de covariância para a relação forma-dimensão (Tabela 2), demonstrou a existência de diferenças entre os níveis e inclinação (slope) das linhas de regressão para hic, pc% e dc para local e interação*local, assim como também foi significativa para árvores de crescimento livre e em competição (Prob.<0,0001), (Tabela 3). Assim, com base na análise de covariância há necessidade de regressões distintas para as relações interdimensionais. As variáveis independentes utilizadas nas equações obtiveram alto grau de significância com coeficiente de determinação explicando entre 61 a 87% da variação interdimensional e erro padrão da estimativa entre 1,64 a 5,8.

Tabela 2 - Análise de covariância para altura de inserção de copa, proporção de copa e diâmetro de copa em função de variáveis dendrométricas e morfométricas.

Variável (<i>hic</i>)		R ² . 0,46		S _{yx} 3,32	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	6	34532,15	5755,36	520,83	<0,0001
Erro	250	2762,61	11,05	-	-
Local	3	33881,48	11293,83	1022,02	<0,0001
<i>d</i> *local	3	650,66	216,88	19,63	<0,0001
Total	256	37294,76	-	-	-
Variável (<i>hic</i>)		R ² . 0,79		S _{yx} 2,1	
FV	<i>Gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	6	36228,5	6038,1	1415,8	<0,0001
Erro	250	1066,21	4,26	-	-
Local	3	33881,5	11293,8	2648,1	<0,0001
<i>ht</i> *local	3	2347,1	782,35	183,4	<0,0001
Total	256	37294,8	-	-	-
Variável (<i>hic</i>)		R ² . 0,61		S _{yx} 2,8	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	6	35260,7	5876,8	722,3	<0,0001
Erro	250	2034,03	8,14	-	-
Local	3	33881,5	11293,8	1388,1	<0,0001
<i>pc</i> *local	3	1379,2	459,7	56,51	<0,0001
Total	256	37294,8	-	-	-
Variável (<i>pc</i>)		R ² . 0,87		S _{yx} 5,8	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	6	301796,7	50299,45	1495,1	<0,0001
Erro	250	8410,52	33,64	-	-
Local	3	266815,18	88938,39	2643,7	<0,0001
<i>cc</i> *local	3	34981,52	11660,5	346,6	<0,0001
Total	256	310207,23	-	-	-
Variável (<i>dc</i>)		R ² . 0,75		S _{yx} 1,64	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	6	19690,49	3281,75	1218,66	<0,0001
Erro	250	673,23	2,69	-	-
Local	3	18814,68	6271,56	2328,92	<0,0001
<i>d</i> *local	3	875,82	291,94	108,41	<0,0001
Total	256	20363,73	-	-	-

Em que: *hic*: altura de inserção de copa; *pc*: proporção de copa; *dc*: diâmetro de copa; R^2 : coeficiente de determinação; *ht*: altura total; *cc*: comprimento de copa; *d*: diâmetro a altura do peito; S_{yx} : erro padrão da estimativa; FV: fonte de variação; *gl*: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: probabilidade de F.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Tabela 3 - Análise de covariância para altura de inserção de copa, proporção de copa e diâmetro de copa para árvores em floresta e de crescimento livre.

Variável (<i>hic</i>)		R^2 . 0,86		S_{yx} 1,68	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	4	27288,26	6822,1	2403,8	<0,0001
Erro	129	366,11	2,83	-	-
Local	2	25420,52	12710,26	4478,5	<0,0001
<i>ht</i> *local	2	1867,74	933,87	329,1	<0,0001
Total	133	27654,37	-	-	-
Variável (<i>pc</i>)		R^2 . 0,86		S_{yx} 4,61	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	4	81003,69	20250,92	953,3	<0,0001
Erro	129	2740,34	21,24	-	-
Local	2	71575,66	35787,83	1684,7	<0,0001
<i>cc</i> *local	2	9428,03	4714,02	221,9	<0,0001
Total	133	83744,05	-	-	-
Variável (<i>dc</i>)		R^2 . 0,70		S_{yx} 1,69	
FV	<i>gl</i>	SQ	QM	F	PR>F
Modelo	4	14021,05	3505,26	1233,96	<0,0001
Erro	129	366,44	2,84	-	-
Local	2	13325,39	6662,69	2345,5	<0,0001
<i>d</i> *local	2	695,66	347,83	122,45	<0,0001
Total	133	14387,49	-	-	-

Em que: *hic*: altura de inserção de copa; *pc*: proporção de copa; *dc*: diâmetro de copa; R^2 : coeficiente de determinação; *ht*: altura total; *cc*: comprimento de copa; *d*: diâmetro a altura do peito; S_{yx} : erro padrão da estimativa; FV: fonte de variação; *gl*: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Prob.>F: probabilidade de F.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Os resultados da análise de covariância demonstraram um efeito linear e significativo indicando que as variáveis morfométricas variam

com as mudanças de dimensão em diâmetro, competição e sítio de ocorrência. Os modelos da relação forma-dimensão de cada local são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resumo estatístico e coeficientes dos modelos ajustados para relação forma-dimensão para *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil.

Local	Coeficientes hic (m)		Estatística		
	Φ_0	Φ_1	St	t	$Pr>t$
São Joaquim (SJQ)	-1,93005	$0,89596*h_i$	0,04	21,4	<0,0001
Urupema (URU)	-0,98756	$0,69830*h_i$	0,09	7,44	<0,0001
Painel (PNL)	4,10912	$0,27408*h_i$	0,12	2,27	0,0270
Local	Coeficientes hic (m)		Estatística		
	Φ_0	Φ_1	St	t	$Pr>t$
São Joaquim (SJQ)	18,35473	$-0,21225*pc_i$	0,65	-8,18	<0,0001
Urupema (URU)	15,01942	$-0,16221*pc_i$	0,68	-9,52	<0,0001
Painel (PNL)	13,17463	$-0,11787*pc_i$	0,009	-12,58	<0,0001
Local	Coeficientes pc (m)		Estatística		
	Φ_0	Φ_1	St	t	$Pr>t$
São Joaquim	2,40369	$5,20349*cc_i$	0,19	26,5	<0,0001
Urupema	9,70951	$5,25577*cc_i$	0,41	12,55	<0,0001
Painel	9,35976	$5,41433*cc_i$	0,32	17,02	<0,0001
Local	Coeficientes dc (m)		Estatística		
	Φ_0	Φ_1	St	t	$Pr>t$

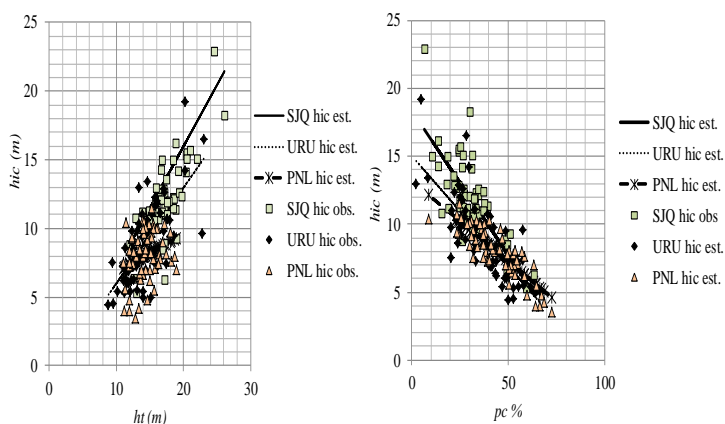
São Joaquim	4,28321	$0,12452*d_i$	0,09	13,63	<0,0001
Urupema	2,14368	$0,16525*d_i$	0,01	11,36	<0,0001
Painel	0,066188	$0,12597*d_i$	0,02	4,39	<0,0001
Floresta	Coeficientes <i>hic</i> , <i>pc</i> , <i>dc</i> (m)			Estatística	
	Φ_0	Φ_1	<i>St</i>	<i>t</i>	<i>Pr>t</i>
(SJQ) <i>hic</i>	-0,36009	$0,87852*h_i$	0,03	25,4	<0,0001
(SJQ) <i>pc</i>	3,61630	$4,23162*cc_i$	0,07	-3,4	0,0012
(SJQ) <i>dc</i>	4,82182	$0,10936*d_i$	0,01	10,91	<0,0001
Livre	Coeficientes <i>hic</i> , <i>pc</i> , <i>dc</i> (m)			Estatística	
	Φ_0	Φ_1	<i>St</i>	<i>t</i>	<i>Pr>t</i>
(SJQ) <i>hic</i>	-1,12808	$0,77052*h_i$	0,08	9,51	<0,0001
(SJQ) <i>pc</i>	4,28512	$5,09168*cc_i$	0,30	16,94	0,0012
(SJQ) <i>dc</i>	0,23693	$0,22804*d_i$	0,02	11,31	<0,0001

Em que: Φ : coeficientes do modelo; *St*: erro padrão; *t*: valor de *t*; *Pr>t*: probabilidade de *t*; *hic*: altura de inserção de copa; *ht_i*: altura total da i-ésima árvore; *cc_i*: comprimento de copa da i-ésima árvore; *d_i*: diâmetro a altura do peito da i-ésima árvore; *pc_i*: proporção de copa da i-ésima árvore.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

A altura de inserção de copa apresentou correlação positiva e melhor ajuste com a altura total, do que com diâmetro, e correlação negativa com a proporção de copa (Figura 2). A correlação positiva indica que à medida que a altura aumenta a altura de inserção de copa aumenta, indicando maior fuste aproveitável, e autodesbaste devido ao maior crescimento em altura com aumento da competição, pois são sítios naturais sem intervenções silviculturais e controle de densidade, refletindo para uma mesma altura uma maior recessão da copa.

Figura 2 - Altura de inserção de copa e proporção de copa em função da altura total para *Araucaria angustifolia*.



Em que: SJQ: São Joaquim; URU: Urupema; PNL: Painei; hic est.: altura de inserção de copa estimada pela função; hic obs.: altura de inserção de copa observada. (R^2 . 0,79 e Syx 2,1 para $hic: f(ht)$ e R^2 . 0,61 e Syx 2,8 para $hic: f(pc\%)$).

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

A correlação negativa com $pc\%$ indica que um maior porcentual de copa corresponde a menor hic , isto é, menor fuste livre, maior manto de copa e maior potencial fotossintético. Árvores de mesma altura de inserção de copa e com $pc\%$ variável, são resultado da competição por espaço que acaba restringindo a expansão lateral, principalmente para árvores que compõe as menores classes de diâmetro.

Os resultados mostram que existe variação na proporção de copa, sendo a espécie flexível na adaptação ao seu ambiente local. Lang et al., (2010) em estudo conduzido em Floresta Subtropical no leste da China

observaram que indivíduos de todas as espécies são altamente flexíveis em resposta do crescimento da copa para o meio ambiente local. Hubbel (2001) argumentou que é precisamente a equivalência ecológica das espécies que permite a sua coexistência. Assim, estudos com espécies adicionais podem ser justificáveis em próximos estudos.

Quanto maior o valor da *pc%* maior a produtividade da árvore, pois mede seu potencial fotossintético e é sensível aos efeitos da competição diminuindo o comprimento de copa sendo, por esta razão, altamente correlacionado com o crescimento (DANIELS et al., 1986, NUTTO et al., 2001).

Assman (1970) mencionou que árvores com copas estreitas e longas seriam preferidas por poderem crescer em espaço reduzido, com maior número de árvores por unidade de área. Como medida de eficiência de copa o autor empregava o incremento volumétrico ou em área basal por metro quadrado de área de copa.

O resultado indica que apesar da característica da espécie de modificar a forma geométrica da copa com o avanço da idade (SEITZ, 1986), o efeito da competição reflete diretamente no comprimento de copa e, conseqüentemente, na *pc%*, que são variáveis de medidas de vigor (Assmann, 1970), sendo essenciais para uso em modelos de mortalidade, crescimento e produção florestal (WEISKITTEL et al., 2011).

A relação para *pc%* depende das condições em que a árvore se desenvolveu na floresta, podendo-se encontrar árvores de mesma dimensão em diâmetro com comprimento de copa variável. Contudo, maior densidade e concorrência tende a diminuir a proporção de copa significando diminuição na taxa de crescimento (menor fotossíntese), portanto, o monitoramento dessa relação serve como indicador da possibilidade de intervir na floresta com retirada de indivíduos para reduzir densidade e favorecer o crescimento de remanescentes, como preconiza o manejo florestal.

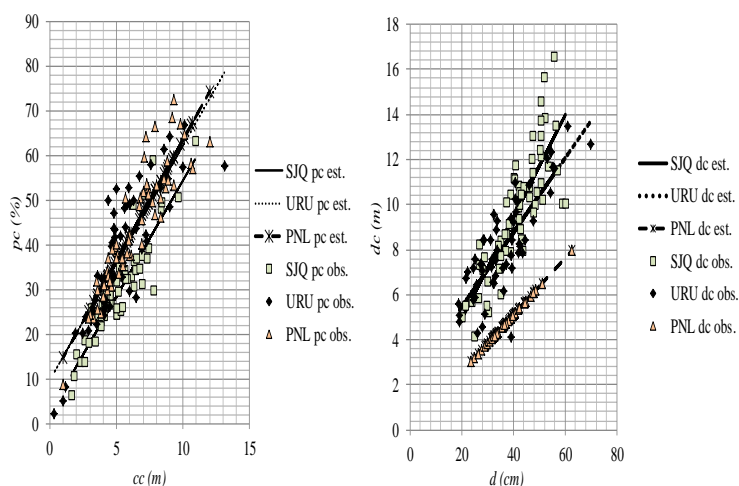
Com base no ajuste dos modelos, a relação forma-dimensão pode servir como um indicador para interferências silviculturais na floresta, pois quanto menor a proporção de copa, menor a capacidade de incremento, maior competição, tendo espaço restrito de crescimento e menor capacidade fotossintética nos estratos inferiores da floresta. A relação indica também, que nos sítios dessas regiões as mudanças nas condições ambientais e dinâmica da floresta contribuíram na aceleração do crescimento e desenvolvimento das dimensões do povoamento durante as últimas décadas (PRETZSCH, et al., 2014).

A linha de regressão da relação (*hic-hi*) confirma a hipótese de competição parcial simétrica entre as árvores da floresta. Nesse tipo de competição prevalece a limitação por recurso abaixo do solo (água e nutrientes), conforme Pretzsch & Dieler (2011).

Para proporção de copa em função do comprimento de copa, Figura 3, a equação ajustada explicou 87% da variação. Essa relação indica que árvores com maior comprimento de copa (menor fuste livre) apresentam maior manto e proporção de copa, consequentemente, melhor capacidade de crescimento e não sofrem competição. Essa relação depende das condições em que a árvore se desenvolveu na floresta, podendo-se encontrar árvores de mesma dimensão em diâmetro com comprimento de copa variável.

Contudo, maior densidade e concorrência tende a diminuir a proporção de copa significando diminuição na taxa de crescimento (menor fotossíntese), portanto, o monitoramento dessa relação serve como indicador da possibilidade de intervir na floresta com retirada de indivíduos para reduzir a densidade e favorecer o crescimento de remanescentes, como preconiza o manejo florestal.

Figura 3 - Proporção de copa em função do comprimento de copa e diâmetro de copa em função do diâmetro para *Araucaria angustifolia*.



Em que: SJQ: São Joaquim; URU: Urupema; PNL: Paineira; hic est.: altura de inserção de copa estimada pela função; hic obs.: valor observado em campo.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

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. Também é um indicativo que no processo inicial de sua formação em estrutura as plantas eram portadoras de elevada velocidade de emergência e de crescimento inicial e que possuem prioridade na utilização dos recursos do meio e, por isso, geralmente levam vantagem na utilização destes (GUSTAFSON et al., 2004).

Árvores em estratos médios e algumas do superior apresentam maior proporção de copa e maior competição intraespecífica, como resultado dos processos de mudança na relação forma-dimensão. Assim, as relações forma-dimensão expressam as condições em que a competição se desenvolveu, bem como expressam a dinâmica da estrutura do povoamento.

Indicam também habilidade competitiva, pois os indivíduos irão desenvolver rapidamente uma arquitetura de copa para interceptar luz, com rápida colonização do dossel superior e crescimento em altura, bem como competição por radiação solar no nível de copa e, para ter sucesso, a árvore deve competir por sua posição na estrutura vertical da comunidade. Dessa forma, a altura e profundidade de copa poderiam ser um aspecto relevante influenciando a competição por luz e os padrões de coabitação das espécies (PELTZER & KOCHI, 2001).

Para o diâmetro de copa (dc) em função do diâmetro à altura do peito (Figura 3), a correlação foi positiva, indicando que com o aumento em dimensão de diâmetro ocorre proporcionalidade do aumento em diâmetro de copa. Contudo, Nutto (2001) conclui que a partir do momento em que a árvore atinge maior dimensão, elas continuam crescendo em diâmetro, mas tendem a estabilizar o seu crescimento e diâmetro de copa.

Em geral, o raio de copa (variável para cálculo do dc) e o índice de espaçamento relativo declinam com o tempo, mas seguem padrões diferentes. Nos primeiros anos, o raio de copa continua a ser elevado, com galhos vivos sendo retidos ao longo de quase 100 por cento do caule. Quando os indivíduos na floresta entram no período de rápido desenvolvimento da altura total, o raio de copa diminui rapidamente. Então como a floresta envelhece e a altura diminuiu em crescimento o raio de copa atinge valores mínimos (ZHAO et al., 2012).

Dean (1999) encontrou que a média do raio de copa decresce linearmente com aumento da densidade relativa do povoamento para *Pinus taeda* em plantações em West Gulf. O autor desenvolveu um modelo linear para a relação e usou como objetivo de manejo da qualidade.

Seitz (1986); Nascimento et al., (2010) descreveram a relação do diâmetro de copa em função do diâmetro para a mesma espécie (araucária) referindo a tendência linear ou levemente curvilínea entre essas variáveis. A tendência linear simples observada na maioria dos trabalhos pode se tornar quadrática (NUTTO et al., 2005) com o aumento do porte das árvores ($d > 90$ cm), tendência a qual não ocorreu no presente estudo.

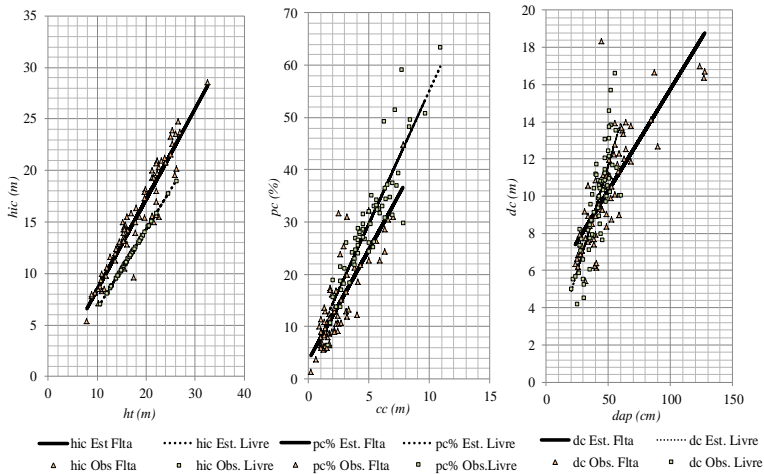
As dimensões dos indivíduos amostrados nesse trabalho permite concluir que ainda não ocorreu a estabilização do aumento em diâmetro de copa, justificando a utilização do modelo linear simples sem adição do termo quadrático.

Árvores de menor diâmetro possuem menor diâmetro de copa, como consequência da pouca luminosidade, o que inibe o crescimento em largura da copa e assimilação fotossintética. E, por conclusão, alta competição (maior densidade de indivíduos) podendo ocorrer o comprometimento em vitalidade da copa e produção final e, mesmo com abertura de espaço dificultar a retomada do crescimento.

Segundo Roman et al., (2009) a determinação dessa variável permite realizar a projeção do espaço a ser reservado para uma árvore conseguir se desenvolver. O conhecimento desse espaço, por sua vez, permite que se revele antecipadamente o número de indivíduos a serem selecionados e conduzidos até o final da rotação, quando se fixa um “diâmetro objetivo”.

As relações interdimensionais, analisada pela covariância, demonstraram diferenças nas relações para árvores de crescimento na floresta e crescimento livre (Figura 4), indicando que quanto maior a *h*, maior a altura total das árvores na floresta do que em crescimento livre. Esse ajuste demonstra que árvores em competição tendem a investir mais em crescimento em altura do que árvores crescendo sem competição, apresentando assim maior altura total e dependendo do grau de competição maior fuste livre (autodesbaste) e menor proporção de copa.

Figura 4 - Altura de inserção de copa (hic) em função da altura total (ht), proporção de copa (pc%) em função do comprimento de copa (cc) e diâmetro de copa (dc) em função do diâmetro (dap) para *Araucaria angustifolia* em árvores de crescimento na Floresta (Flta) (competição) e crescimento Livre (sem competição).



Em que: SJQ: São Joaquim; URU: Urupema; PNL: Paineira.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

A competição por luz, assimétrica, pode ser quantificada por índices quantitativos e relacionada com seus concorrentes, podendo-se inferir na magnitude desse efeito nas dimensões de árvores objetivo. Árvores que crescem sem competição apresentam maior *hic*, indicando maior tempo para realizar autodesbaste e menor altura total, que no fim se traduz em maior proporção de copa e capacidade fotossintética.

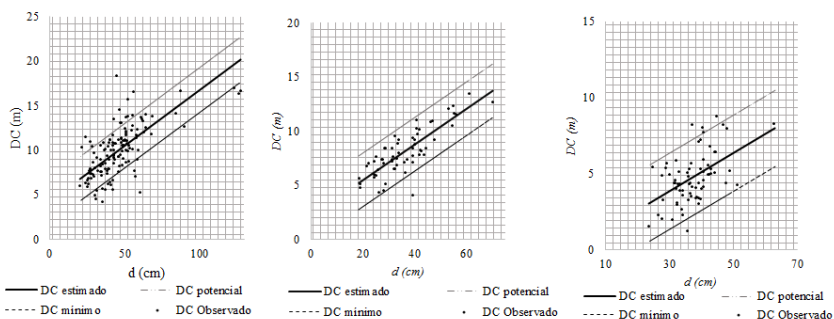
Árvores crescendo sem competição apresentam maior proporção de copa (*pc*%) e maior comprimento de copa (relação linear) do que árvores crescendo em competição, assim como para uma mesma dimensão de diâmetro apresentam maior diâmetro de copa (*dc*) do que sob crescimento no interior da floresta. A análise dimensional dessas relações indica que há necessidade de manejo da densidade para que os índices interdimensionais mantenham-se em condições de continuar o crescimento e desenvolvimento dos indivíduos no conjunto da estrutura da floresta. Árvores crescendo sem competição tem capacidade de expansão lateral o que contribui para a maior proporção da copa.

A morfometria de árvores de crescimento livre de competição descreve a dimensão máxima de algumas variáveis para o local, constituindo em um referencial do limite potencial da espécie quando comparado com árvores que crescem em diferentes condições e níveis de competição no povoamento florestal (SMITH et al., 1992; HASENAUER, 1997). Estas informações indicam que conhecer as relações e dinâmica das modificações nas dimensões de árvores livres de competição, auxilia na modelagem do crescimento e da competição e na elaboração de estratégias de manejo florestal, como nos diagramas de manejo da densidade (MÁRQUEZ-LINARES; ALVAREZ-ZAGOYA, 1995; SELLE, 2010).

1.4.2 Espaço de crescimento

Para delimitar as dimensões máximas e mínimas do diâmetro de copa, foram definidos dc potencial e dc mínimo das árvores em estudo (Figura 5). Isso foi possível com o emprego de um novo intercepto definido analiticamente de acordo com as dimensões da copa das árvores observadas, onde se adicionou 2,5 vezes o valor do intercepto estimado para obtenção do dc potencial, e para calcular o dc mínimo subtraiu-se 2,5 do intercepto estimado, assim delimitando os maiores e menores valores observados para dc, ou seja, as dimensões máximas e mínimas para a espécie.

Figura 5 - Diâmetro de copa em função do diâmetro, valores estimados e observados, para *A. angustifolia* nos 3 sítios de estudo.



Em que: a) sítio amostral de São Joaquim, b) sítio amostral de Urupema, c) sítio amostral de Painel.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Com os dados obtidos a partir da equação ajustada para $dc(d)$ e os valores estabelecidos para dc mínimo e dc potencial, realizou-se a simulação do espaço de crescimento para cada classe de diâmetro, número de árvores por hectare e área basal por hectare, para os cenários dc mínimo, dc médio e dc potencial (Tabela 5).

Tabela 5 - Espaço de crescimento estimado para *A. angustifolia* no planalto catarinense.

DAP	dc_{mínimo}									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
dc	2,78	3,88	4,23	6,03	8,4	9,3	11,2	12,4	13,0	17,5
Ec	0,001	0,0006	0,001	0,003	0,005	0,006	0,009	0,012	0,013	0,023
N/ha	1899	4229	1899	674	224	187	117	95	87	48
G	53,82	88,59	180,5	98,91	50,31	58,54	45,01	54,68	55,44	60,04
DAP	dc_{estimado}									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
dc	5,28	6,38	6,73	8,53	10,9	11,8	12,6	14,9	15,5	20,0
Ec	0,002	0,003	0,003	0,006	0,009	0,011	0,014	0,017	0,018	0,031
N/ha	527	479	432	250	129	111	78	66	61	37
G	14,93	26,63	42,18	37,25	28,88	34,79	30,10	37,94	39,0	45,95
DAP	dc_{potencial}									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
dc	7,78	8,88	9,23	8,37	13,4	14,3	16,2	17,5	18,0	22,5
Ec	0,004	0,006	0,007	0,009	0,014	0,016	0,020	0,023	0,025	0,039
N/ha	242	210	200	136	84	74	56	48	45	29
G	6,88	11,69	19,60	20,38	18,89	23,26	21,54	27,86	28,92	36,29

Em que: DAP: diâmetro a altura do peito; dc: diâmetro de copa; Ec: Espaço de crescimento; N/ha: número de árvores por hectare; G: área basal por hectare.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Observando os resultados para dc estimado tem-se que, os valores de referência para dc nas diferentes classes de dap demonstram, que as árvores das classes de 80, 90 e >100 apresentam dc de 14,9 m, 15,5 m e 20 m respectivamente, estas classes representam um espaço de crescimento de 0,066, incidindo em um N/ha de 164 árvores representantes das classes superiores, sendo estes os indivíduos que compõe o estrato superior do dossel, estando assim, menos suscetíveis à competição por luz.

As classes inferiores, considerando os diâmetros entre 10, 20 e 30 cm, possuem diâmetro de copa menor, com os valores de 5,28 m, 6,38 m e 6,73m, desta forma o espaço de crescimento é reduzido nestas classes, neste caso, o N/ha é de 1438 árvores.

Assim, quando as medidas do diâmetro de copa e do espaço de crescimento são maiores, diminui o N/ha, consequentemente ocorre um aumento nos valores de área basal por hectare.

É possível observar que o comportamento das variáveis elucidadas na Tabela 6 para o dc estimado segue o mesmo cenário, tanto para o dc potencial, quanto para dc mínimo.

O espaço de crescimento disponível para as árvores afeta suas variáveis dendrométricas e, consequentemente, influencia na capacidade produtiva e nas demais características do povoamento. Assim, informações sobre o comportamento das variáveis da copa e suas relações com as demais variáveis, bem como com o espaço de crescimento, são de grande utilidade estratégica, a curto e médio prazo para os planejamentos que envolvem o manejo florestal sustentável dos remanescentes florestais.

De acordo com Selle (2009), a densidade pode ser descrita pelo número de árvores por hectare e está relacionada com a idade e sítio. Já a taxa de crescimento das árvores é influenciada pela ocupação do espaço, o qual é afetado pela área das copas e sistema radicular.

A ocupação do espaço físico pela área das copas das árvores, interfere diretamente no número de árvores do povoamento. Schneider (1993) salienta que a medida em que ocorre o desenvolvimento das árvores, suas copas precisam cada vez mais de maiores espaços para continuarem a se desenvolver. Porém, quando o espaço de crescimento não é suficiente uma situação de concorrência entre os indivíduos é desencadeada. Desta forma, alguns indivíduos presentes nos estratos inferiores sucumbem, mostrando a necessidade de intervenções sustentáveis dentro da floresta, com a intenção de proporcionar melhores condições de crescimento à estas árvores.

Por isso, os valores demonstrados para espaço de crescimento, N/ha e G , podem servir como referência para o planejamento de futuras intervenções silviculturais, pois permitem inferir sobre como serão as condições de densidade dos povoamentos, tornando possível a construção de importantes ferramentas para a condução desses povoamentos florestais, como os dendrogramas para o manejo da densidade. Além disso, é possível prever rendimentos futuros com diferentes situações de densidade, no entanto é importante ressaltar a influência direta do ambiente nas dimensões das árvores, ocasionando uma variabilidade dimensional dos indivíduos.

1.5 CONCLUSÃO

O cálculo dos índices morfométricos indica que a espécie se encontra em diferentes graus de competição na floresta para os diferentes sítios do estudo em Santa Catarina. A amplitude de variação dos índices e mudanças da forma é resultado do processo contínuo do crescimento no tempo, o qual influencia a vitalidade, estabilidade, capacidade fotossintética, produção e dinâmica da estrutura da floresta.

Os índices morfométricos associados com a influência do sítio servem para compreender o fracionamento entre recurso, crescimento e aumento nas dimensões em comunidades florestais. O monitoramento dos índices possibilita balizar intervenções silviculturais e proporcionar suporte ao manejo sustentável.

Os resultados da análise de covariância para a relação forma-dimensão de araucária em Santa Catarina demonstraram que há diferença de inclinação e nível para os modelos ajustados para prever essa relação. Assim, os indivíduos apresentam características de crescimento de forma e dimensão diferente em sua área de ocorrência em Santa Catarina.

As características diferenciadas da relação interdimensional percebida nas diferenças de inclinação linear da relação demonstra a dependência relativa à limitação de recurso, espaço, prevalente no sítio de ocorrência, acentuando ou minimizando a inclinação.

A mudança no intercepto da equação do diâmetro de copa foi realizada com certa facilidade, dessa forma proporcionou visualizar o dc potencial para araucária nos diferentes sítios amostrados, bem como foi possível determinar o espaço de crescimento, N/ha e G , servindo como subsídio para futuras intervenções de manejo florestal.

Os resultados obtidos são importantes para o manejo florestal, pois as relações interdimensionais indicam aumento, e declínio demonstrando nesse momento a possibilidade de intervenção para reduzir competição e favorecer o crescimento dos remanescentes e a estabilidade estrutural da floresta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

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

BECHTOLD, W. A. Crown-diameter prediction models for 87 species of stand-grown trees in the eastern United States. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.27, p.269-278, 2003.

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.; LIMA, M. L. M. de; NETO, E. M. L. de; TONINI, H. Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho, Rondônia. **Revista Agro@mbiente On-Line**, Boa Vista, v. 7, n. 1, p. 18-27, 2013

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; CUNHA, T. R. Influência da posição social e do número de raios na estimativa da área de copa em araucária. **Revista Floresta**, v. 43, n. 3, p. 429-438, 2013.

COSTA, E. A. **Influências de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. 2011, 140 P. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G. Competição assimétrica e o incremento diamétrico de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na

Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 43, n. 1, p. 9 – 18, 2013.

DEAN, T. J. Using live-crown ratio to control wood quality: Na example of quantitative silviculture. In J. D. Haywood (Ed.), **Proceedings of the Tenth Biennial Southern Silvicultural Research Conference**, Asheville, NC: US Forest Service Southern Research Station, p. 511-514, 1999.

DEL RIO, M.; CONDÉS, S. e PRETZSCH, H. Analyzing size-symmetric vs. size-asymmetric and intra- vs. inter-specific competition in beech (*Fagus sylvatica* L.) mixed stands. **Forest Ecology and Management**. n. 325, p. 90–98, 2014.

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

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-150, 2011.

EMBRAPA - **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS**. Brasília.418 p, 2012.

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

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

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, J. A.; BORTOLUZZI, R. L. C.; MANTOVANI, A.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana no município de Pánel, SC. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 153-164, 2013.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F. Floristic composition and phytogeography of the componente os Araucaria Forest fragments in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 35, n. 2, p. 145-157, 2012.

HUBBELL S.P.A. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press, Princeton/Oxford, 2001.

HASENAUER, H. Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 96, p. 197-206, 1997.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**, v. 2, 271 p, 2012.

GETZIN, S.; WIEGAND, K.; SCHUMACHER, J.; GOUGEON, F. A. Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2478-2485, 2008.

GILL, S. J.; BIGING, G. S.; MURPHY, E. C. Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. **Forest Ecology and Management**, v.126, p. 405-416, 2000.

GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J. E NICKRENT, D.L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**. v. 18, p. 451-457, 2004

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

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 745 p, 1972.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas**. Universidade Gottingen. Eschborn. Alemanha, 1990. 343 p, 1990.

LANG AC, W HÄRDTLE, H BRUELHEIDE, C GEIBLER, K NADROWSKI, A SCHULDT, M YU, G VON OHEIMB. Tree morphology responds to neighbourhood competition and slope in species-rich forests of subtropical China. *Forest Ecology and Manangement* (260), 1708-1715, 2010.

Larocque, G. R. Examining diferente concepts for the development of a distance-dependent competition model for red pine diameter growth using long-term stand data differing in initial stand density. **Forest Science**, v. 48, p. 24-34, 2002.

LOCKHART, B. R.; WEIH, R. C.; SMITH, J. K. M. Crown radius and diameter at breast height relationships for six bottomland hardwood species. **Journal of the Arkansas Academy of Science**, v. 59, p.110-115, 2005.

MÁRQUEZ – LINARES, M. A.; ALVAREZ-ZAGOYA, R. Construcción de uma guia de densidade para *Pinus cooperi* var. *ornelasi* com base em la classe de copa em Durango, México. **Madera y Bosques**, v.1, n. 2, p. 23-36, 1995.

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.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Serrano, SC**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina. 121 p, 2015.

NASCIMENTO, A. R. T.; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de floresta ombrófila mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 105-119, 2011.

NUTTO, L.; SPATHELF, P.; ROGERS, R. Managing diameter growth and natural pruning of Parana pine, *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze., to produce high value timber. **Ann. For. Sci.**, v. 62, p. 163-173, 2005.

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

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

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

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R. E VALCI,

F. V. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, CD-ROM, 2002.

PELTZER, D.A.; KÖCHY, M. Competitive effects of grasses and woody plants in mixed-grass prairie. **Journal of ecology**. v. 89, p. 519-527, 2001.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v.14, p. 188-209, 1995.

PRETZSCH H. **Forest dynamics, growth and yield**. Springer, 671 p. 2009.

PRETZSCH, H.; DIELER, J. The dependency of the size-growth relationship of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in forest stands on long-term site conditions, drought events, and ozone stress. **Trees-Structure and Function**. p. 355-369, 2011.

PRETZSCH H.; BIBER P.; SCHUTZE G.; UHL E. E ROTZER T. Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. **Nature Communications**. v. 5, p. 4967, 2014.

RUSSEL, M. B.; WEISKITTEL, A. R. Maximum and largest crown width equations for 15 tree species in Maine. **Northern Journal of Applied Forestry**, v. 28, p. 84-91, 2011.

SEITZ, R. A. Avanços na silvicultura de *Pinus* sp. e *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL “O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS”, 1991, Curitiba. **O desafio das florestas neotropicais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Freiburg: Universidade Albert Ludwig, p. 153-176, 1991.

SELLE, G.L. Guias de densidade e índices de sítios para *Holvenia dulcis* Thunberg na Região Central do Estado Rio Grande do Sul, Brasil. 2009. 97p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

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

SÁNCHEZ-GONZÁLES, M.; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G. Generalized heighth-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forest in Spain. **Invest. Agrar: Sist. Recur. For.**, v. 16, p.76-88, 2007.

SANQUETTA, C. R et al., **Inventários Florestais: Planejamento e Execução** - 3ª. edição. 1. ed. Curitiba: Dos Autores, v. 1. 406 p, 2014.

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 an Forest Products Research Institute**, Ibaraki, Japan, p.129-146, 1986.

SELLE, G. L.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; ALBERNARD, L. A., VUADEN, E.; BRAZ, E. M. Dendrograma de densidade para *Hovenia dulcis* Thunberg na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 3, p. 477-492, 2010.

SILVA, A. C.; HIGUSCHI, P.; AGUIAR, M. D.; NEGRINI, M.; FERT NETO, J.; HESS, A. F. Relações florísticas e fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Mista Montana secundária em Lages, Santa Catarina. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 193-206, 2012.

SMITH, W. R.; FARRAR JR, R. M.; MURPHY, P. A.; YEISER, J. L.; MELDAHL, R. S.; KUSH, J. S. Crown and basal area relationships of open-grown southern pines for modeling competition and growth.

Canadian Journal of Forest Research, v. 22, p. 341-347, 1992.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa**

Agropecuária Brasileira, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

ZHAO, D.; KANE, M.; BORDERS, B. E. Crown ratio an relative

spacing relationships for Loblolly Pine plantations. **Open Journal of Forestry**, v. 2 p.110-115, 2012.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DENDROCRONOLÓGICA E AJUSTE DO INCREMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria angustifolia* NO SUL DO BRASIL

2.1 RESUMO

O objetivo do presente estudo foi determinar o incremento médio anual em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função do diâmetro à altura do peito e idade, avaliando suas taxas atuais e passadas para inferir sobre a necessidade de manejo florestal, em fragmentos naturais localizados no Sul do Brasil. Para tanto, foram utilizadas informações dendrocronológicas de 256 árvores individuais amostradas nos municípios de Paineira, São Joaquim e Urupema. A análise de covariância avaliou a existência de diferença no crescimento e capacidade produtiva para araucária nos diferentes sítios de amostragem. Os Modelos Lineares Generalizados foram testados para modelar o incremento em diâmetro em função do diâmetro à altura do peito e da idade, de acordo com os critérios de seleção o modelo mais adequado foi o modelo Gamma identidade. Os resultados demonstram que a espécie em São Joaquim possui maiores diâmetros e idade, consequentemente, apresentam um incremento médio em diâmetro menor com 0,45 e 0,62 cm.ano⁻¹. Em Paineira as árvores possuem maior incremento médio (0,94 cm.ano⁻¹), menores dimensões e idade, já em Urupema ocorreu média de incremento em diâmetro de 0,82 cm.ano⁻¹. A média geral para o incremento em diâmetro foi de 0,72 cm.ano⁻¹. Nos sítios de estudo aconteceu uma redução gradativa do incremento em diâmetro com aumento da dimensão e idade, elucidando uma perda na capacidade de crescimento da espécie e necessidade de intervenções com manejo sustentável.

Palavras-chave: Modelos Lineares Generalizados, manejo florestal, dendrocronologia.

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the annual average increase in diameter of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze due to breast height diameter and age, evaluating your current and past rates to infer the need for forest management in natural fragments located in southern Brazil. To this end, we used information dendrocronológicas of 256 individual trees sampled in the Paineiras municipalities, São Joaquim and Urupema. The covariance analysis evaluated the existence of differences in the growth and production capacity to araucaria at different sampling sites. The Generalized Linear Models were tested to model the increase in diameter depending on the diameter at breast height and age. The results demonstrate that the species São Joaquim have larger diameters and age, consequently, have an average diameter smaller increment 0,45 and 0,62 cm.ano⁻¹. In Paineiras trees have larger average increase (0,94 cm.ano⁻¹) and smaller age, already occurred Urupema average increment in diameter of 0,82 cm.ano⁻¹. The overall average for the increment in diameter was 0,725 cm.ano⁻¹. In the study sites there was a gradual reduction of the increase in diameter with increasing size and age, elucidating a loss in growth capacity of the species and the need for interventions with sustainable management.

Keywords: Generalized Linear Models, forest management, dendrochronology.

2.2 INTRODUÇÃO

Dentre as formações florestais que compõem o Estado de Santa Catarina, encontra-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM). Esta formação é caracterizada pela presença dominante da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. A FOM abriga um grande número de espécies arbóreas, com a presença marcante das famílias Myrtaceae e Lauraceae.

No entanto, as florestas com araucária possuem a necessidade de preservação do seu genótipo florestal, tornando essencial a aquisição de informações que possam ser utilizadas em planos de manejo sustentável, assegurando a perpetuidade da espécie e a conservação dos remanescentes florestais.

Assim, conhecer as taxas de crescimento e a produção de espécies florestais é de grande relevância para a manutenção dos

fragmentos naturais, bem como colabora para a introdução do manejo florestal nessas áreas. Expressar o crescimento de variáveis dendrométricas no tempo constitui na capacidade de conduzir as florestas para suprir as necessidades do homem e também auxilia na não depredação dos ecossistemas (HESS, 2006).

Para a aquisição de dados sobre o crescimento, incremento e idade das árvores a dendrocronologia contribui de maneira eficaz, proporcionando uma aplicação direta no manejo florestal (MATTOS et al., 2011). Essa técnica consiste na análise e interpretação do crescimento anual dos anéis das árvores, isto só é possível devido à sensibilidade das espécies arbóreas aos fatores ambientais e climáticos, tornando a dendrocronologia um dos métodos científicos mais utilizados para a aquisição desses dados (GONÇALVES, 2010).

Além de oferecer referências valiosas sobre a vida das árvores, as informações contidas nos anéis de crescimento tem sido importante na análise de eventos ecológicos e ambientais. A análise dos anéis de crescimento possibilitam identificar e reconstruir as condições ambientais do passado, assim como a dinâmica das populações florestais (BOTOSSO & MATTOS, 2002).

De acordo com Oliveira (2007), evidências dendrocronológicas demonstram que a *Araucaria angustifolia* apresenta uma periodicidade de formação de anéis de crescimento anuais, sendo este um requisito essencial para a aplicação da dendrocronologia.

Aliados aos dados obtidos pela técnica da dendrocronologia estão os modelos de árvores individuais que, segundo Della-Flora (2001), permitem analisar a estrutura do povoamento de forma mais detalhada, pois consideram as características particulares de cada árvore, das suas vizinhas e da floresta em geral, levando a um melhor entendimento das relações entre as características do ambiente e o crescimento, justificando a sua utilização em florestas naturais, apesar de sua maior complexidade.

Para realizar inferências sobre o futuro dos recursos florestais, os modelos matemáticos tornam-se imprescindíveis, assegurando a escolha correta das práticas silviculturais que possam vir a ser empregadas, apoiando a tomada de decisões futuras (ZANON, 2007).

Assim, os objetivos deste estudo foram ajustar modelos para o incremento diamétrico de *Araucaria Angustifolia*, para conhecer as taxas de incremento e inferir sobre as condições atuais do seu crescimento e necessidade de intervenções silviculturais nos remanescentes desta tipologia florestal, bem como realizar um

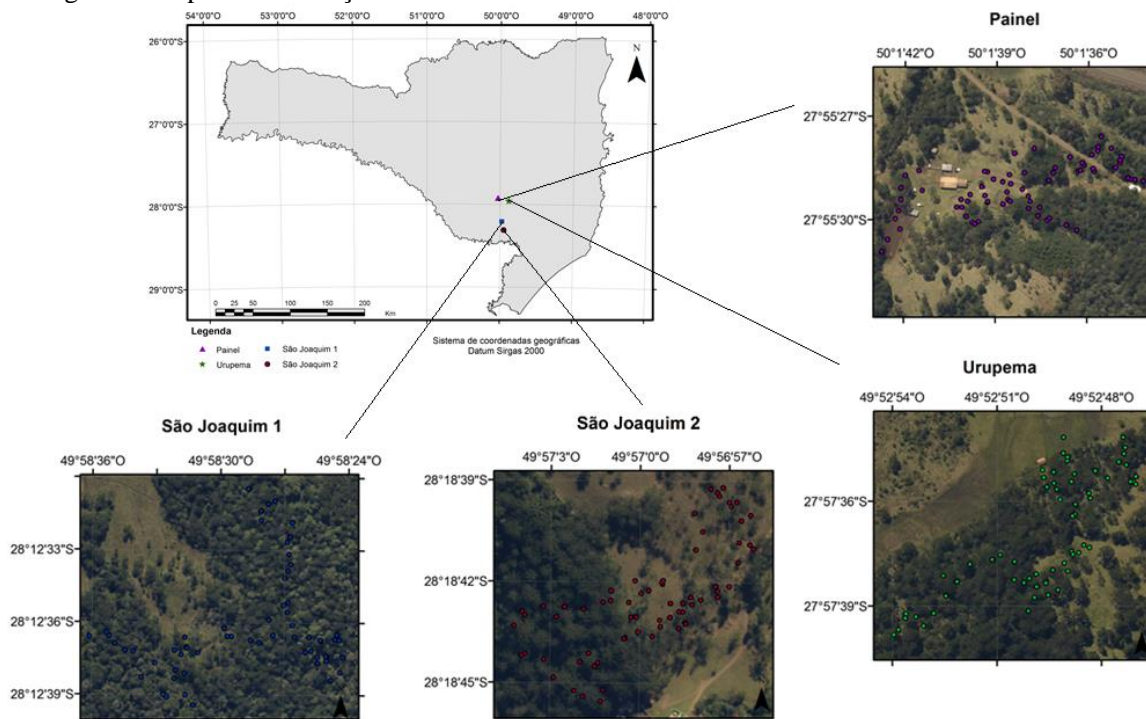
diagnóstico dendrocronológico do crescimento diamétrico acumulado para a compreensão da sua variabilidade e auxiliar nas ações de manejo da espécie.

2.3 MATERIAIS MÉTODOS

2.3.1 Sítios de estudo

Os sítios amostrados foram em remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados em Santa Catarina (Figura 6). Os sítios encontram-se nos municípios de São Joaquim (SJQ), com área total de 73,46 ha e 19,72 ha, e área amostral de 1,86 ha e 1,4 ha, Urupema (URU) com 18,08 ha de área total e 1,2 ha amostrados, Paineira (PNL) área total de 50,47 ha e 1,3 ha de área amostral.

Figura 6. Mapa de localização dos sítios amostrais.



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

Na região ocorre, segundo a classificação de Köppen, clima cfb, isto é, temperado constantemente úmido e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). Em São Joaquim, a altitude é de 1.352 m, temperatura média anual de 14°C e precipitação de 1.683 mm, em Urupema a altitude é de 1.324 m, 14,1°C e 1.634 mm, Paineel 1.123 m de altimetria, 15,3°C e 1.543 mm de precipitação anual.

Em São Joaquim os solos são classificados como Associação Neossolo Litólico + Cambissolos Hápicos + Neossolos Litólicos Eutróficos, relevo forte ondulado (substrato efusivas da Formação Serra Geral) todos fase pedregosa campo e floresta subtropical. Para a cidade de Urupema os solos predominantes são classificados como Associação Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico, textura argilosa, fase pedregosa, relevo ondulado (substrato efusivas da Formação Serra Geral) + Nitossolo Bruno distrófico, textura muito argilosa, relevo ondulado. E em Paineel os solos predominantes são classificados como Neossolos Litólicos Distróficos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivas de Formação da Serra Geral) + Cambissolos Hápicos, textura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2012).

2.3.2 Aquisição dos dados

Foram amostradas 256 árvores individuais com objetivo de cobrir as amplitudes de distribuição diamétrica, em floresta nativa irregular inequiana (densidade <250 a +300 indivíduos por hectare), (Hess et al., 2010; Hess et al., 2014) a 40 anos sem manejo e intervenções silviculturais, ocorrendo competição, comprometimento da regeneração natural e da perpetuidade desta tipologia florestal. A suficiência amostral foi calculada conforme equação em Sanquetta et al. (2014).

Para o estudo do incremento coletou-se das 256 árvores suas variáveis dendrométricas, e para a análise dendrocronológica dos anéis de crescimento utilizou-se da análise parcial de tronco.

De cada árvore foram amostrados radialmente dois rolos de incremento perpendiculares entre si e tomados à altura do peito (1,30 m), utilizando o trado extrator de Pressler. As amostras foram acondicionadas em porta baguetas e, posteriormente em laboratório, foram fixadas com cola específica, tomando atenção quanto a orientação correta dos anéis de crescimento. Após a secagem em temperatura

ambiente os rolos de incremento foram polidos com lixas de diferentes granulometrias, com o intuito de facilitar a visualização dos anéis.

Os anéis de crescimento foram delimitados previamente, e em seguida fez-se a medição do incremento, utilizando a mesa de mensuração do aparelho *Lintab 6*, com precisão de 0,0001 mm, acoplada ao computador. Os dados obtidos nas medições foram registrados pelo programa *Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. A datação cruzada dos anéis de crescimento foi feita a partir da análise visual dos dados e gráficos gerados com o suprimento do programa *Action* integrado ao Excel 2014.

2.3.3 Análise estatística dos dados e modelos para o incremento diamétrico

Fez-se uso da análise de covariância para testar a hipótese de diferença significativa de nível e inclinação das regressões ajustadas para o incremento anual em diâmetro (id) em função do diâmetro e da idade. Assim, quando verificada a existência de diferença de nível e inclinação, é necessário ajustar equações separadas para cada sítio de estudo.

Os Modelos Lineares Generalizados (MLG) foram utilizados para o ajuste do incremento em diâmetro e testados dois campos aleatórios, Normal e Gamma, e função de ligação identidade (μ) e logarítmica $\ln(\mu)$. Utilizou-se a regressão linear simples sendo o modelo (1) expresso por:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot x_1 \quad (1)$$

Em que: Y: incremento em diâmetro (cm.ano⁻¹), x_1 : variável de dimensão e idade, B_0 , B_1 : coeficientes do modelo.

A seleção do melhor modelo foi com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), Critério de Informação Bayesiano (BIC), do desvio (D) e na análise gráfica dos resíduos. Para interpretação dos resultados, quanto menor os valores dos critérios (AIC), (BIC) E (D) melhor o ajuste do modelo. Os resíduos do modelo não apresentaram violação dos condicionantes de regressão (normalidade, homogeneidade da variância e independência dos erros).

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.4.1 Incremento em diâmetro de araucária para os sítios de estudo

A tabela 6 mostra os valores mínimo, médio e máximo do incremento médio em diâmetro obtidos da análise dos anéis de crescimento para araucária nos sítios de estudo.

Tabela 6 - Comportamento do incremento médio em diâmetro para *Araucaria angustifolia* nos sítios de estudo no Sul do Brasil.

São Joaquim 1			
	Mínimo	Médio	Máximo
id	0,20	0,45	0,72
dcor.	127,64	49,97	50,29
São Joaquim 2			
	Mínimo	Médio	Máximo
id	0,31	0,69	1,42
dcor.	29,60	41,66	35,01
Urupema			
	Mínimo	Médio	Máximo
id	0,40	0,82	1,43
dcor.	33,1	36,54	31,83
Painel			
	Mínimo	Médio	Máximo
id	0,37	0,94	1,8
dcor.	27,70	37,44	44,24

Em que: id: incremento em diâmetro (cm/ano), dcor.: diâmetro à altura do peito correspondente ao incremento diamétrico mínimo, máximo e médio em (cm).

Fonte: produção do autor, 2016.

Dentre os quatro sítios, São Joaquim 1 apresentou o id médio mais baixo, pois neste local encontram-se as árvores com maiores dimensões de diâmetro, com média de idade de 51 anos, variando entre 16 e 78 anos, considerando as árvores nas quais foi possível observar todos os anéis até a medula. O sítio 2 de São Joaquim possui id médio com valor maior em relação ao sítio 1, porém com o recuo dos anéis de crescimento foi possível perceber que as árvores de maior idade estão neste local, chegando a uma idade de 96 anos nos casos em que foi possível chegar próximo a medula, e deste modo, possibilitando uma

inferência correta sobre a idade, incidindo em uma média de idade de 68 anos.

No entanto em alguns indivíduos, tanto em São Joaquim 2 como nos demais sítios, não foi possível observar os anéis mais próximos a medula, e deste modo pode-se inferir que entre as árvores amostradas, existem indivíduos com idade muito superior a 100 anos.

Painel e Urupema possuem araucárias com maior média de incremento em diâmetro, pois esses sítios apresentam uma menor densidade de indivíduos e menor idade, com médias de idade de 30 anos em Painel e 36 anos em Urupema.

Os resultados demonstram que em todos os sítios de estudo as árvores de menor diâmetro estão com média de incremento menor que as de maior diâmetro. Isso mostra que a espécie está em competição, isto é, condições desfavoráveis ao seu desenvolvimento, enquanto que em período anterior havia melhores condições de crescimento e que permitiram aos indivíduos de maior diâmetro, atualmente, atingir taxas maiores de incremento, bem como comprova hipótese de necessidade de manejo com intervenções silviculturais.

As médias do id para São Joaquim são superiores às observadas por Minatti (2015), que encontrou um incremento médio de $0,34 \text{ cm.ano}^{-1}$ nesse local, sendo que em Urupema a autora encontrou média de incremento de $0,90 \text{ cm.ano}^{-1}$ e em Painel a média foi de $0,68 \text{ cm.ano}^{-1}$, valores próximos aos mencionados nos trabalhos de Stepka (2012) e Durigan (1999).

No sítio de Urupema, nota-se que tanto o valor mínimo como o valor máximo ocorreu na mesma classe de diâmetro, o que denota a alta variabilidade no valor do incremento, o qual está associado às condições de crescimento das árvores individuais (competição e disponibilidade de recursos do ambiente).

A média geral do incremento em diâmetro incluindo todos os sítios de estudo foi de $0,72 \text{ cm.ano}^{-1}$, corroborando com o trabalho de Ricken (2012), que encontrou um incremento médio geral de $0,71 \text{ cm.ano}^{-1}$. Já Mattos et al. (2007) obtiveram média de incremento de $0,90 \text{ cm.ano}^{-1}$.

No entanto, algumas árvores apresentaram incremento superior à média, chegando a próximo de 2 cm.ano^{-1} , demonstrando o potencial de crescimento e produção da espécie, porém, carece de manejo adequado com o objetivo de aumentar seu crescimento e rendimento, principalmente para redução da densidade, aumento das taxas de

incremento de árvores com diâmetro menor e garantia futura de perpetuidade da floresta.

2.4.2 Ajuste de modelos dendrométricos e temporais do incremento

A análise de covariância foi significativa para diferença de nível e inclinação no ajuste do modelo do incremento anual em diâmetro. O que demonstra a diferença no padrão de crescimento e na capacidade produtiva da espécie em relação ao sítio de estudo. (Tabela 7). Sendo assim, procedeu-se o ajuste de equações individuais para cada sítio.

Tabela 7 - Análise de covariância para incremento em diâmetro de *Araucaria. angustifolia* em função do diâmetro e da idade no Sul do Brasil.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	7	549,03	78,43	509,14	0,0001
Local	3	356,44	118,81	771,28	0,0001
d*local	4	192,58	48,14	312,54	0,0001
Erro	11776	1814,08	0,15		
Total	11783	2363,11			
FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	7	929,83	132,83	1091,37	0,0001
Local	3	356,44	118,81	976,20	0,0001
t*local	4	573,38	143,34	1177,75	0,0001
Erro	11776	143328	0,12		
Total	11783	2363,11			

Em quem: FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: valor de F; Pr>F: probabilidade de significância para o valor de F; d: diâmetro à altura do peito; t: idade.

Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

O ajuste dos MLG para id: $f(d)$ e id: $f(t)$ é apresentado na Tabela 8. O resultado mostrou que o melhor modelo pelos critérios utilizados foi Gamma com função de ligação identidade.

Tabela 8 - Parâmetros estatísticos e coeficientes dos modelos testados para incremento em diâmetro para araucária em sítios de estudo no Sul do Brasil.

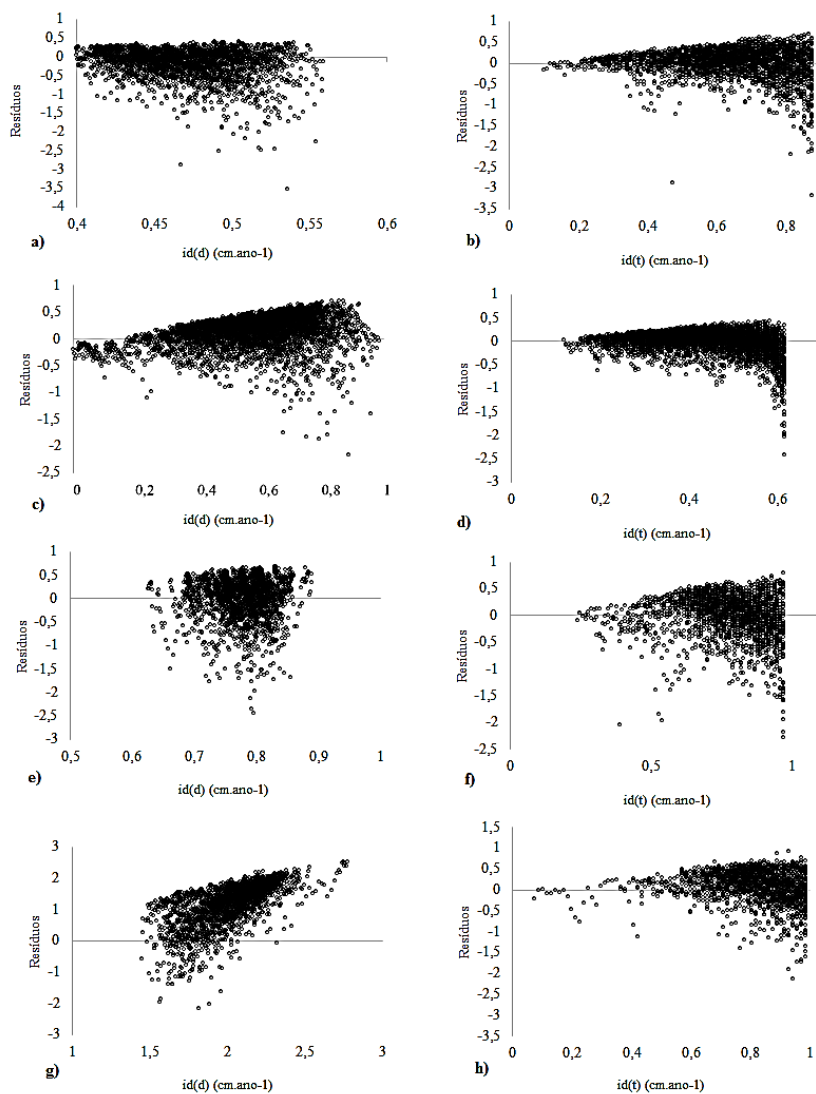
São Joaquim 1	Parâmetros	Critérios estatísticos		
<i>Gamma - μ</i>		D	AIC	BIC
Intercepto	0,5594	1654,63	-893,27	-873,87
<i>bl</i>	-0,0029*d			
Intercepto	0,8876	675,32	702,99	720,71
<i>bl</i>	-0,0101*t			
São Joaquim 2				
<i>Gamma - μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	0,9876	852,19	1363,53	1381,25
<i>bl</i>	-0,0111*d			
Intercepto	0,6223	1172,03	-2608,86	-2589,46
<i>bl</i>	-0,0054*t			
Urupema				
<i>Gamma - μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	0,9063	703,96	2040,97	2059,02
<i>bl</i>	-0,0040*d			
Intercepto	0,9785	587,54	1629,19	1646,25
<i>bl</i>	-0,0100*t			
Painel				
<i>Gamma - μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	1,4454	591,52	3324,54	3341,54
<i>bl</i>	0,0212*d			
Intercepto	1,0967	677,72	2297,16	2314,15
<i>bl</i>	-0,0138*t			

Em que: d: diâmetro a altura do peito (cm), t: idade (anos), D: desvio, AIC: critério de informação de Akaike, BIC: critério de informação Bayesiano.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O exame dos resíduos gerados pelo ajuste dos modelos lineares generalizados contribuiu para a escolha do modelo que melhor representou os dados do estudo (Figura 7).

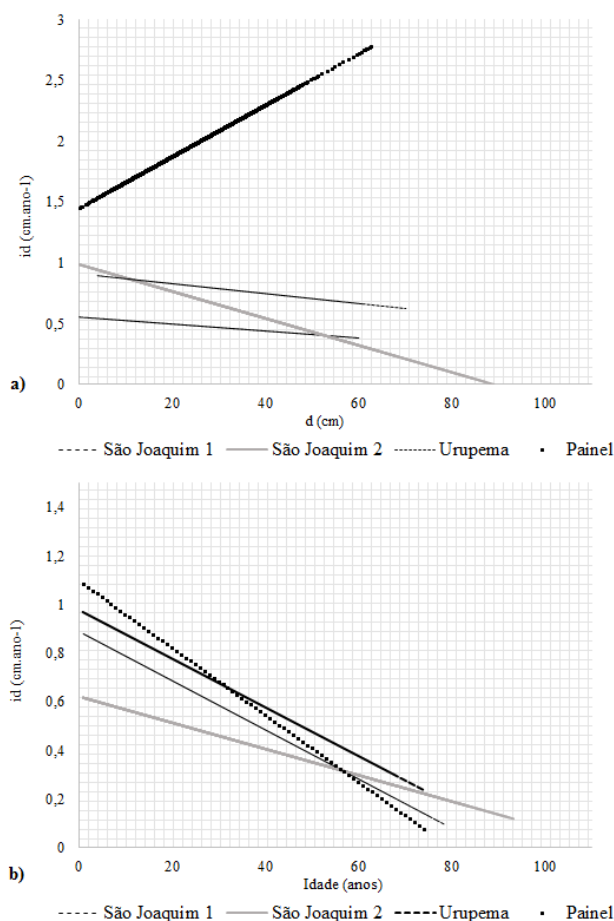
Figura 7 – Resíduos gerados pelo ajuste de id em função do diâmetro e da idade.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Os ajustes dos modelos para id em função do diâmetro e da idade demonstram que as árvores diminuem o incremento em diâmetro com o aumento da dimensão e da idade, exceto em Painei. Na Figura 8 estão os valores ajustados e observados para incremento em função do diâmetro e da idade para as quatro áreas de estudo.

Figura 8 – Incremento médio anual em diâmetro em função do diâmetro (a) e da idade (b).



Em que: id: incremento em diâmetro (cm.ano⁻¹), d: diâmetro a altura do peito (cm).

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

As linhas de regressão mostram que nos sítios de São Joaquim e Urupema ocorre diminuição gradativa do incremento enquanto ocorre o aumento em diâmetro, ocasionando perda em capacidade de crescimento das árvores. No sítio São Joaquim 1, o comportamento do Δd com o d é mais estável, ou seja, a diminuição do Δd é menor. Nas áreas de São Joaquim encontram-se os indivíduos com diâmetro maior e, conseqüentemente, incremento em diâmetro com menor valor, principalmente no local São Joaquim 2, onde o Δd fica próximo de zero nos maiores diâmetros.

O mesmo comportamento de queda no incremento em diâmetro, à medida que ocorre acréscimo em dimensão é observado no sítio de Urupema, porém, a linha de ajuste para esse sítio mostra que a perda nas taxas de incremento com o aumento do d é menos íngreme, quando comparado com as taxas de incremento das árvores de São Joaquim.

Para Chassot (2009), o crescimento não é constante durante a vida das árvores, na maioria das espécies ocorre uma estabilização dos incrementos em diâmetro em relação ao d , ou seja, o crescimento é maior até um certo ponto, decrescendo em seguida. Ao estudar o incremento em diâmetro de árvores de *A. angustifolia* a autora constatou que apenas árvores com diâmetro superior a 75 cm apresentaram decréscimo no incremento, porém ressalta que este fato pode estar relacionado a escassa amostragem.

Um comportamento oposto acontece com o crescimento das araucárias amostradas em Paineira, pois é possível observar que o incremento em diâmetro desses indivíduos ainda encontra-se em auge à medida em que ocorre o avanço em diâmetro, este comportamento está relacionado ao fato de que neste sítio as árvores possuem menor idade e diâmetro, demonstrando que as mesmas, em sua maioria, ainda encontram-se em fase de rápido crescimento.

De modo geral, pode-se inferir (PRETZSCH & DIEHLER, 2011), que a redução nas taxas de incremento significa que o crescimento e os recursos que as árvores e competidores recebem são independentes de sua dimensão. Assim, quanto mais íngreme a inclinação da linha de regressão, maior a redução nas taxas de incremento, significando que nesses sítios ocorre intensa competição nas classes de menor diâmetro e redução devido a estagnação do crescimento para as árvores de classes maiores.

Com o avanço da idade das árvores ocorre um decréscimo no incremento em diâmetro, mostrando o mesmo comportamento da linha de regressão para o diâmetro à altura do peito na maioria dos sítios.

De acordo com a análise retrospectiva dos anéis de crescimento de araucária, a idade máxima das árvores amostradas é superior a 100 anos, porém pode-se inferir que dentre estes indivíduos existem alguns com idade superior a 200 anos.

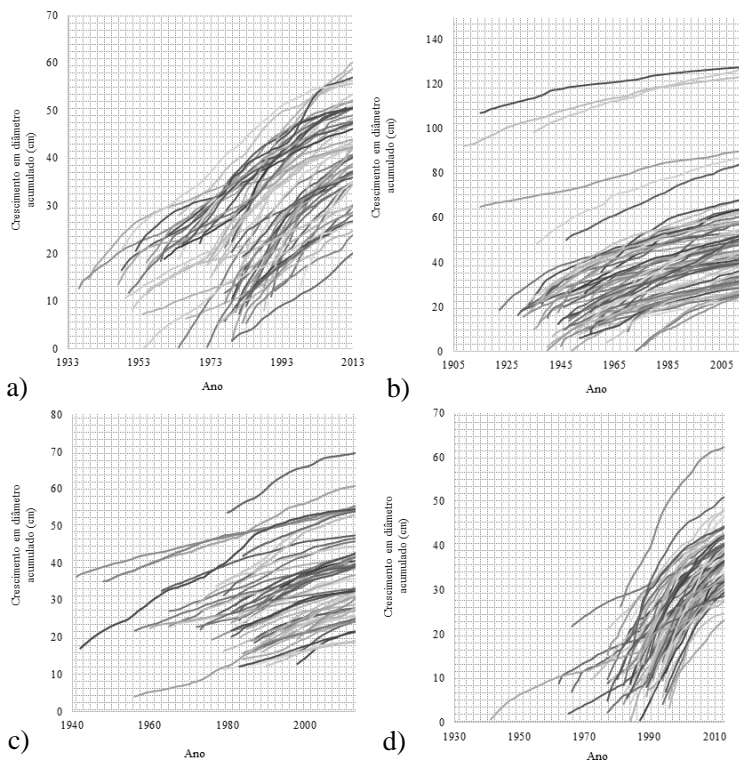
A perda na capacidade de crescimento das araucárias à medida que ocorre acréscimo em sua idade, permite visualizar que as árvores mais velhas já estagnaram seu crescimento, não ocorrendo uma recuperação no ritmo de crescimento mesmo que ocorram intervenções silviculturais na floresta. Bem como, esses indivíduos estão inibindo o desenvolvimento das árvores mais jovens, a regeneração natural, aumento da competição e diminuindo a capacidade produtiva da floresta.

Os resultados confirmam a hipótese de redução das taxas de incremento e necessidade de intervenção com manejo florestal, pois o ajuste do id em função do d e da t , mostra que indivíduos de menor diâmetro estão com taxas de incremento diamétrico inferiores a sua capacidade de crescimento.

2.4.2 Análise dendrocronológica do crescimento

O incremento anual acumulado em diâmetro está representado na Figura 9, estes são os valores medidos no rolo de incremento sem ajuste de modelo matemático. As figuras com os valores de incremento foram traçadas individualmente para cada sítio de estudo.

Figura 9 - Recuo do crescimento em d para todas as árvores nos quatro sítios de estudo: a) São Joaquim 1; b) São Joaquim 2; c) Urupema e d) Painei.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Com a análise das curvas do incremento no sítio de São Joaquim 1 observa-se a característica sigmoidal, isto é, período de inflexão do crescimento, indicando a capacidade de rápido desenvolvimento inicial da espécie, e após, determinada idade, a estagnação da curva, demonstrando que alguns indivíduos atingiram a capacidade máxima de suporte em crescimento, neste sítio a idade média observada foi de 51 anos. O crescimento das árvores ao longo do seu ciclo de vida está condicionado a diversos fatores que influenciam o crescimento, tais como disponibilidade de luz, nutrientes e a presença de competição entre os indivíduos.

Em São Joaquim 2 encontram-se árvores mais velhas, com média de idade de 68 anos, refletindo em maiores valores de diâmetro à altura do peito. As curvas das árvores de São Joaquim 2, demonstram claramente o rápido crescimento inicial das árvores com diâmetro entre 20-30 cm, já nas árvores com diâmetro superior esse crescimento inicial não acontece de forma tão acelerada, isso pode ter ocorrido devido a presença de fatores inibidores do crescimento dessas árvores.

Algumas das amostras medidas estão representadas por árvores centenárias, pois foi possível análise retrospectiva dos anéis de crescimento, aproximadamente, até o ano de 1900. Assim percebe-se que, a mais de 100 anos estes indivíduos já haviam alcançado sua capacidade máxima de crescimento, pois neste período, as curvas assumem características mais estáveis, e desta forma podem estar bloqueando o crescimento de árvores vizinhas e, de certo modo, da floresta, sendo esta uma justificativa para a implantação de planos de manejo florestal sustentável.

As trajetórias individuais do crescimento acumulado das árvores de Urupema, não demonstram claramente a inflexão do crescimento, contrariando o que ocorre nos demais sítios. Em Urupema as árvores apresentam média de idade próxima a 36 anos.

Diversos fatores podem ter impedido o desenvolvimento pleno dessas árvores no início do seu ciclo de vida, principalmente a competição, ocasionada pela presença de árvores das classes superiores que venceram a competição inicial, impedindo que os indivíduos mais jovens conseguissem acesso à luz e nutrientes.

As curvas do crescimento em diâmetro das araucárias de Paineel mostram que algumas árvores com menor diâmetro tiveram crescimento rápido nos primeiros anos, atingindo os 25 cm de diâmetro em aproximadamente 20 anos, devido um elevado incremento em diâmetro acima de 1 cm/ ano. As árvores amostradas em Paineel apresentam, em maioria, diâmetros entre 30 e 40 cm e média de idade de 30 anos, nesse estágio ainda não observa-se a estabilização do crescimento, ou seja, estão sendo favorecidas pela disponibilidade de espaço de crescimento e menor competição, pois a incidência de árvores de maior porte é menor nessa área.

Em geral, analisando as curvas geradas a partir do crescimento real, obtido através da leitura dos anéis de crescimento, percebe-se que o crescimento culmina próximo a idade de 40 anos, e por isso é possível inferir que as árvores já atingiram sua capacidade máxima de crescimento. De acordo com Hess et al. (2009) a araucária possui idade

técnica de rotação aos 30-35 anos, indicando que seria este o momento de realizar intervenções na floresta para manejo de densidade.

Segundo Minatti (2015), a idade em que o crescimento da araucária culmina está em torno de 35 a 50 anos, considerando que na fase juvenil a araucária apresenta taxas de crescimento altas com rápida inflexão da curva de crescimento.

Para Mattos (2011), o crescimento em diâmetro é mais intenso quando a planta alcança os 20 a 30 anos. Após essa fase, o ritmo de crescimento vai cessando gradativamente, com o acontecimento da maturidade das árvores.

Assim, a retirada das árvores mais velhas proporcionaria aos indivíduos mais jovens maior acesso aos recursos essenciais para o crescimento, como nutrientes e luz, além disso, a capacidade de regeneração da floresta seria favorecida, e assim a perpetuidade da espécie seria assegurada.

Portanto, é possível dizer que com o aumento da dimensão e da idade o incremento em diâmetro diminui, havendo a necessidade de manejo das araucárias, de forma a promover um aumento da produção e do crescimento dos indivíduos mais jovens, bem como proporcionar o favorecimento da regeneração da floresta.

2.5 CONCLUSÃO

Os Modelos Lineares Generalizados mostraram-se eficientes para a modelagem do incremento em diâmetro em função do diâmetro e da idade para *A. angustifolia*.

Há uma diminuição do incremento diamétrico com aumento do diâmetro e da idade das araucárias.

A análise dendrocronológica demonstrou a capacidade da espécie de crescer rapidamente no início do seu ciclo de vida, como também mostrou uma estabilização do crescimento na idade de aproximadamente 40 anos.

Com o recuo do crescimento em diâmetro das árvores percebe-se a presença de competição imposta pelos indivíduos das maiores classes diamétricas.

Ficou evidente o grande potencial de crescimento e produção da espécie e a necessidade de intervenções sustentáveis através do manejo florestal realizado de forma correta, possibilitando ter perspectiva de retorno econômico aliado à conservação da *A. angustifolia*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BOTOSSO, C. P.; MATTOS, P. P. Conhecer a Idade das Árvores: Importância e Aplicação. Colombo: Embrapa Florestas; 2002. 25 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 75).

CHASSOT, T. **Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze na Floresta Ombrófila Mista**. 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness**. 2001. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

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

EMBRAPA - **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 2012.

GONÇALVES, V. G. **Dendrocronologia: Princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade**. - Universidade de Évora, 2010. Disponível em: http://old.www.cidehus.uevora.pt/textos/artigos/gerardo_dendrocronologia.pdf . Acesso em: 4 de novembro de 2015.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L..
Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucária angustifolia*).
In: **Sustentável mata atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: SENAC, 2002.

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

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

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

HESS, A. F.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento em diâmetro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em função da idade, em três regiões do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 7-22, jan./mar. 2009

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

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

MCCULLOCH, C.E.; SEARLE, S.R. **Linear and generalized linear mixed models**. New York: Wiley, 2001. 358p.

MINATTI, M. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para Araucaria angustifolia na fitorregião do Planalto Serrano, SC**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

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

PRETZSCH, H.; DIELER, J. The dependency of the size-growth relationship of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* [L.]) in forest stands on long-term site conditions, drought events, and ozone stress. **Trees-Structure and Function**. p. 355–369, 2010.

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

SANQUETTA, C. R. Fragmentação da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. In: SANQUETTA, C. R et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução** - 3a. edição. 1. ed. Curitiba: Dos Autores, v. 1. 406 p, 2014.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008.

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

ZANON, M. L.B. **Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) kuntze diferenciado por dióica**. 2007. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CAPÍTULO 3

INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL DE *Araucaria angustifolia* E SUA RELAÇÃO COM VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DENDROMÉTRICAS NO SUL DO BRASIL

3.1 RESUMO

O objetivo do estudo foi modelar o incremento periódico anual em área basal em função das variáveis de dimensão e forma de copa de árvores de *Araucaria angustifolia* no sul do Brasil, utilizando a técnica dos modelos lineares generalizados. Foram medidas as características dendrométricas e morfométricas de 256 árvores individuais, bem como, extraídos rolos de incremento à 1,30 m do solo. Utilizou-se a correlação de Pearson para verificar as variáveis com maior representatividade para geração do modelo. As árvores de São Joaquim 1 apresentaram média do incremento periódico anual em área basal, no período avaliado, de 22,88 (cm²/ano), em São Joaquim 2 de 16,40 (cm²/ano), em Urupema 13,65 (cm²/ano) e em Paineis 28,57 (cm²/ano). As variáveis com maior correlação de Pearson foram porcentagem de copa ($p=0,40$) e diâmetro à altura do peito ($p=0,30$), sendo estas variáveis incluídas no ajuste dos modelos. O modelo de melhor ajuste foi Gama identidade para os sítios de São Joaquim, Urupema e Paineis. As variáveis referentes às dimensões de copa podem ser indicadas com segurança para a modelagem do IPAg de *A. angustifolia*.

Palavras-chave: Floresta Ombrófila Mista; modelagem do crescimento; dimensões da copa.

ABSTRACT

The aim of the study was to model the annual periodic increment in basal area due to the variables of size and shape of *Araucaria angustifolia* tree canopy in southern Brazil, using the technique of generalized linear models. Were measured characteristics morphometric and dendrometric of 256 individual trees and extracted increment rolls to 1.30 m above the ground. Was used Pearson's correlation to check the variables with greater representation for model generation. The trees

São Joaquim 1 had average annual periodic increment in basal area, during this period, of 22.88 (cm² / year), in São Joaquim 2 of 16.40 (cm² / year) in Urupema 13.65 (cm² / year) and Panel 28.57 (cm² / year). The variables with the highest correlation of Pearson were percentage crown ($p = 0.40$) and diameter at breast height ($p = 0.30$), these variables were included in the model adjustment. The best model was Gama identity for the São Joaquim sites, and Urupema Panel. The variables relating to crown dimensions can be given safely to model the IPAG of *A. angustifolia*.

Key-words: Mixed rain forest; growth modeling; dimensions of the crown.

3.2 INTRODUÇÃO

A realização de estudos sobre a dinâmica das florestas é fundamental para que sua preservação seja assegurada, bem como, é importante quando há a intenção de se realizar o manejo dessas áreas.

Identificar os aspectos que influenciam no crescimento das árvores e que refletem nas mudanças de suas dimensões, permite traçar estratégias adequadas para elaborar planos de manejo sustentáveis dos ecossistemas florestais. Além disso, conhecer as relações do crescimento com fatores da forma pode contribuir para a melhoria da produtividade das florestas e conhecimento de sua estrutura e dinâmica (HIGUCHI et al., 2008).

Os fatores como a disponibilidade dos recursos ambientais, espaço físico, recursos edáficos, topográficos, fatores de competição, composição genética da árvore bem como seu histórico de desenvolvimento, são aspectos controladores do crescimento, podendo influenciar de forma isolada ou em conjunto (POORTER & BONGERS, 1993).

De acordo com Assmann (1970), as variáveis de dimensões da copa podem servir na avaliação do vigor e crescimento das árvores. As características da copa das árvores podem indicar a presença de competição em sua vida passada, como também são indicadoras do potencial desses indivíduos em utilizar os recursos disponíveis (PRETZSCH, 2009; HASENAUER, 2006).

O manejo florestal propõe fornecer melhores condições de crescimento às árvores, através da maximização do incremento. A morfometria das árvores contribui para a avaliação dessas condições,

considerando fatores como competição e espaço de crescimento, dessa forma permitindo realizar intervenções na estrutura da floresta (COSTA et al., 2015).

Segundo Pretzsch (1995), a dimensão e a forma das árvores em conjunto com suas variações no tempo, são passíveis de compor modelos de crescimento e de concorrência, devido sua importância, permitindo inferir sobre a produtividade de cada árvore.

Estudos realizados no Brasil relacionam as dimensões da copa da árvore com o seu crescimento, tais como o trabalho de Nogueira (1989), o qual verificou que quando há vitalidade a forma de copa é cônica e hemisférica nas árvores de *A. angustifolia*, sendo possível promover um acréscimo no crescimento. Costa (2011), ao analisar a influência de variáveis dendrométricas e variáveis de dimensão de copa no crescimento de *A. angustifolia*, notou que o formal de copa e a proporção de copa são variáveis que explicaram 76% da variação no modelo de incremento periódico em área basal, corroborando a eficiência das variáveis que representam as dimensões da copa na definição do incremento.

Destacam-se também os trabalhos realizados por Durlo & Denardi (1998), Durlo (2001), Tonini & Arco-Verde (2005), Roman et al., (2009) e Padoin & Finger (2010), onde os autores explicam a relação de variáveis morfométricas com variáveis de fácil obtenção.

Padoin & Finger (2010), tomando como base as relações entre diâmetro de copa, porcentagem de copa, comprimento de copa e altura em plantios de *Pinus taeda* L, delimitaram a quantidade de indivíduos que deveriam continuar no povoamento devido ao seu crescimento, dessa forma constituindo o espaço ideal de desenvolvimento para cada árvore.

Planos de manejo embasados na árvore individual é uma prática comum em países da Europa, onde se originou os primeiros estudos que abordam a relação das características da copa com o incremento diamétrico, porém no Brasil a utilização dessa metodologia não é frequente.

No entanto, entre os modelos desenvolvidos para florestas mistas, estão os modelos de árvores individuais, que consideram cada árvore como unidade básica, possibilitando a simulação de cada árvore com relação ao crescimento e à mortalidade. A produção do povoamento é resultante da soma dos valores estimados para cada árvore (SANQUETTA, 1996).

O incremento em área transversal pode ser usado para expressar o crescimento em diâmetro das árvores, e dessa forma estimar o diâmetro futuro com a mesma precisão obtida com as equações de crescimento (VANCLAY, 1994).

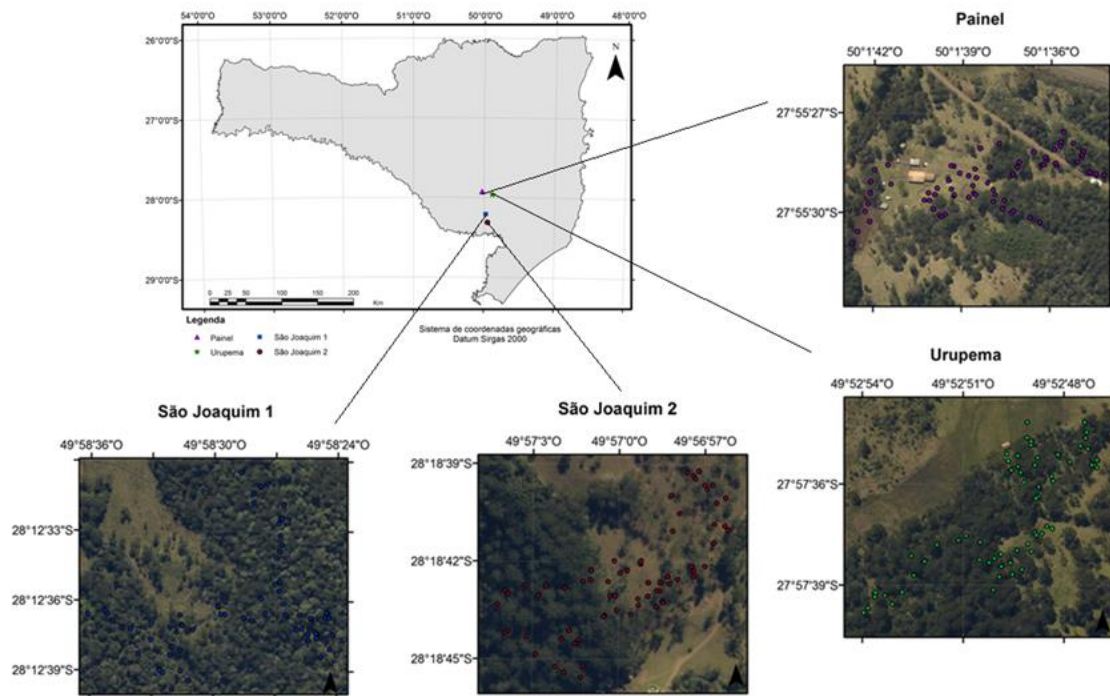
Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi modelar o incremento periódico anual em área basal em função das variáveis dendrométricas e morfométricas, para árvores individuais de *Araucaria angustifolia* em três sítios de estudo no estado de Santa Catarina utilizando a técnica de regressão dos Modelos Lineares Generalizados.

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1 Sítios de estudo

Os sítios amostrados são remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados no Sul do Brasil. Os sítios encontram-se nos municípios de São Joaquim (SJQ), com área total de 73,46 ha e 19,72 ha, e área amostral de 1,86 ha e 1,4 ha, Urupema (URU) com 18,08 ha de área total e 1,2 ha amostrados, Paineira (PNL) área total de 50,47 ha e 1,3 ha de área amostral (Figura 10).

Figura 10 - Mapa de localização dos sítios e árvores amostrais.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Foram amostradas 256 árvores individuais com objetivo de cobrir as amplitudes de distribuição diamétrica, em floresta nativa irregular inequiana (densidade <250 a +300 indivíduos por hectare), (Hess et al., 2010; Hess et al., 2014) a 40 anos sem manejo e intervenções silviculturais, ocorrendo competição, comprometimento da regeneração natural e perpetuidade desta tipologia florestal. A suficiência amostral foi calculada conforme equação em Sanquetta et al., (2014).

A região apresenta clima cfb segundo a classificação de Köppen, , isto é, temperado constantemente úmido e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). Em São Joaquim, a altitude é de 1.352 m, temperatura média anual de 14°C e precipitação de 1.683 mm, em Urupema a altitude é de 1.324 m, 14,1°C e 1.634 mm, Paineis 1.123 m de altimetria, 15,3°C e 1.543 mm de precipitação anual.

Em São Joaquim os solos são classificados como Associação Neossolo Litólico + Cambissolos Hápicos + Neossolos Litólicos Eutróficos, relevo forte ondulado (substrato efusivos da Formação Serra Geral) todos fase pedregosa campo e floresta subtropical. Para a cidade de Urupema os solos predominantes são classificados como Associação Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico, textura argilosa, fase pedregosa, relevo ondulado (substrato efusivos da Formação Serra Geral) + Nitossolo Bruno distrófico, textura muito argilosa, relevo ondulado. E em Paineis os solos predominantes são classificados como Neossolos Litólicos Distroúmbricos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivos de Formação da Serra Geral) + Cambissolos Hápicos, textura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2012).

3.3.2 Aquisição dos dados

Para a análise do incremento periódico anual em área transversal da *A. angustifolia* no planalto catarinense, coletou-se das 256 árvores suas variáveis dendrométricas e morfométricas, tais como: diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura de inserção de copa (hic), quatro raios de copa (rc) tomados em distintas direções cardeais, com isso foi possível obter os valores para diâmetro de copa, porcentagem de copa (pc%) e comprimento de copa (cc) conforme as seguintes expressões:

- Diâmetro da copa (dc):

$$dc = 2 \cdot \bar{rc}$$

Em que: \bar{rc} : raio da copa médio, em metros.

- Proporção de copa (pc%):

$$pc\% = \left(\frac{cc}{ht} \right) * 100$$

Em que: CC: comprimento de copa, ht: altura total.

- Comprimento de copa (cc):

$$cc = ht - hic$$

Em que: ht: altura total em metros, hic: altura de inserção de copa em metros.

Para obter informações sobre o incremento em diâmetro das araucárias, foi realizada a análise dos anéis de crescimento.

De cada árvore foram amostrados radialmente dois rolos de incremento perpendiculares entre si e tomados à altura do peito (1,30 m), utilizando o trado de Pressler. As amostras foram acondicionadas em porta baguetas e, posteriormente em laboratório, foram fixadas com cola específica, tomando atenção quanto a orientação correta dos anéis de crescimento. Após a secagem em temperatura ambiente os rolos de incremento foram polidos com lixas de diferentes granulometrias, com o intuito de facilitar a visualização dos anéis. Os anéis de crescimento foram delimitados previamente, e em seguida fez-se a medição do incremento, utilizando a mesa de mensuração de anéis *Lintab 6*, com precisão de 0,0001 mm, acoplada ao computador. Os dados obtidos nas medições foram registrados pelo programa *Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. A datação dos anéis de crescimento foi feita a partir da análise visual dos dados e gráficos gerados com o suprimento do programa *Action* integrado ao Excel 2014.

3.3.3 Correlação de Pearson das variáveis dendrométricas e morfométricas com o incremento periódico anual em área transversal

Foi utilizada a análise da correlação de Pearson para identificar a relação entre o incremento periódico anual em área transversal com as variáveis dendrométricas e morfométricas a fim de identificar as que possuem maior grau de correlação com o incremento periódico em área basal.

Para calcular o incremento periódico anual em área transversal (IPAg) de cada árvore, utilizou-se a expressão 1:

$$IPAg = \left[\frac{\pi}{4} \cdot (DAP^2 - DAP_{-t}^2) \right] / t \quad (1)$$

Em que: *IPAg*: incremento periódico em área transversal (cm²/ano), *DAP*: diâmetro à altura do peito no final do período (cm), *DAP_{-t}*: diâmetro à altura do peito no início do período (cm) e *t*: número de anos considerados.

Para isso, foram considerados os últimos 5 anos registrados nos rolos de incremento, respectivamente o período entre 2008 e 2013.

Para o ajuste do modelo de incremento periódico anual em área transversal com as variáveis de dimensão, forma e sítio utilizou-se a técnica dos modelos lineares generalizados (MLG), nos campos aleatórios, *Normal* e *Gamma*, valendo-se das funções de ligação identidade e logarítmica. A utilização do MLG justifica-se, pois os resíduos do modelo com regressão linear apresentam violação das condicionantes de normalidade e homogeneidade da variância.

Para a seleção do melhor modelo foi considerado os critérios de informação de Akaike (AIC), Bayesiano (BIC), desvio (D) e análise gráfica dos resíduos. Para interpretação dos resultados, quanto menor o valor dos critérios de AIC, BIC e D melhor o ajuste do modelo. O modelo foi determinado conforme equação (2):

$$Y = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 + B_3 \cdot x_3 \quad (2)$$

Em que: *Y*: incremento periódico anual em área basal (cm²/ano), *x₁*: variável dendrométrica, *x₂*: variável de dimensão de copa, *x₃*: variável de sítio *B₀*, *B₁*, *B₂* e *B₃*: coeficientes.

Todas as análises estatísticas foram processadas no SAS 9.3.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.4.1 Modelagem do incremento periódico anual em área transversal

Em São Joaquim 1 a média do incremento periódico anual em área transversal, no período avaliado, foi de 22,88 (cm²/ano), em São Joaquim 2 de 16,40 (cm²/ano), em Urupema 13,65 (cm²/ano) e em Paineal 28,57 (cm²/ano).

A correlação de Pearson permitiu inferir sobre o grau de associação entre o IPAg e as variáveis dendrométricas e morfométricas (Tabela 9).

Tabela 9 - Correlação de Pearson do IPAg com as variáveis dendrométricas e morfométricas testadas.

Correlação	IPAg	dc	pc%	hic	cc	d	h
IPAg	1,00	-0,017	0,40*	-0,12	0,20	0,30*	0,04
dc		1,00	-0,36*	0,50*	-0,09	0,67*	0,34*
pc%			1,00	-0,68*	0,30*	-0,21	-0,23
hic				1,00	-0,32*	0,43*	0,61*
cc					1,00	-0,16	-0,12
d						1,00	0,40*
h							1,00

Em que: IPAg: incremento periódico em área basal, d: diâmetro à altura do peito, cc: comprimento de copa, pc%: porcentagem de copa, hic: altura de inserção de copa, dc: diâmetro de copa, h: altura total, *: correlação significativa.

Fonte: produção do autor, 2016.

Entre as variáveis dendrométricas o incremento periódico em área transversal apresentou correlação significativa somente com o diâmetro com um índice de $p=0,30$. Das variáveis morfométricas a porcentagem de copa apresentou correlação de $p=0,40$, ambas variáveis apresentaram correlação positiva indicando que à medida que estas dimensões aumentam o incremento em área basal também aumenta. Salienta-se que a *pc%* apresentou maior correlação quando comparado com o *d*. Desse modo, estas variáveis são importantes para gerar

modelos de prognose da produção em área basal e da representatividade do incremento periódico em área basal. Assim, é possível informar que na modelagem do IPAg é de interesse do manejo florestal incluir características de dimensões da copa, bem como, de tamanho da árvore, permitindo inferir sobre a estrutura do povoamento, crescimento e programar períodos de intervenção silvicultural e manter as taxas de incremento.

Costa et al., (2015), estudando o incremento periódico anual em área basal de *A. angustifolia* nesta mesma região, encontrou correlação positiva entre variáveis dendrométricas e morfométricas e utilizou para a modelagem a porcentagem de copa como variável de dimensão de copa em árvores dominantes e como variável de tamanho o diâmetro à altura do peito.

A correlação de Pearson demonstrou que o *dc* possui correlação positiva com o *d*, *hic* e *h* e correlação negativa com o *pc%*. O *pc%* apresentou correlação negativa com *hic*, pois o acréscimo em *hic* incide em maior fuste livre, consequentemente, a quantidade de ramos diminui fazendo com que a proporção de copa decresça, em relação ao *cc* a correlação foi positiva. Já a *hic* apresentou correlação significativa com o *cc*, *d* e *h*.

O comportamento de crescimento antagônico da araucária, é justificado pelas mudanças nas características morfológicas da copa causadas pela competição, pois quando as árvores de araucária possuem menor idade elas apresentam copa em formato cônico, na fase de maturidade as copas assumem formato hemisférico, evoluindo para o formato de umbela quando se encontram em senescência (KLEIN, 1965)

A Tabela 10 apresenta os coeficientes e as estatísticas do ajuste do IPAg em função da porcentagem de copa e do diâmetro obtidas do ajuste com os Modelos Lineares Generalizados.

Tabela 10 – Parâmetros estatísticos e coeficientes dos modelos gerados com os Modelos Lineares Generalizados para descrever o incremento periódico anual em área basal de araucária em função das variáveis dendrométricas e morfométricas.

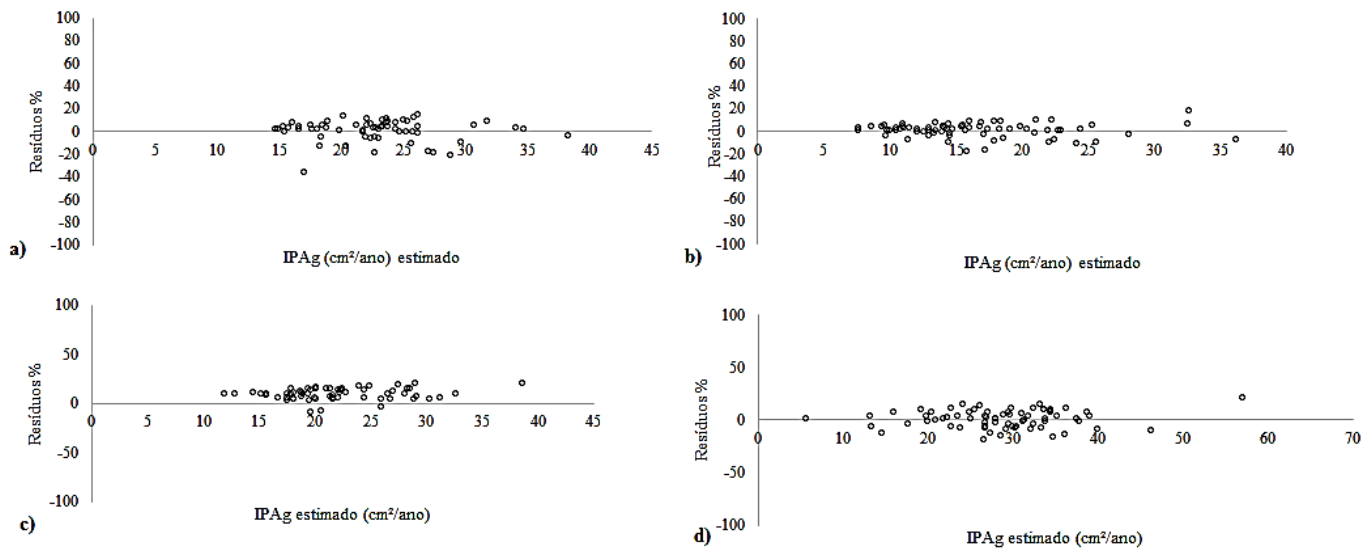
São Joaquim 1				
<i>Gamma - μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	-8,1169	9,05	444,66	455,30
<i>b1</i>	0,2550*d			
<i>b2</i>	0,3852*pc			
<i>b3</i>	0,5274*h			
São Joaquim 2				
<i>Gamma - μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	-3,8600	10,09	442,07	453,24
<i>b1</i>	0,1816*d			
<i>b2</i>	0,1841*pc			
<i>b3</i>	0,4864*h			
Urupema				
<i>Gamma- μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	-2,6031	9,46	373,05	383,61
<i>b1</i>	0,4574*d			
<i>b2</i>	0,1031*pc			
<i>b3</i>	-0,2923*h			
Painel				
<i>Gamma-μ</i>	Parâmetros	D	AIC	BIC
Intercepto	3,3758	6,54	500,91	501,85
<i>b1</i>	0,8676*d			
<i>b2</i>	0,2529*pc			
<i>b3</i>	-1,2585*h			

Em que: Gama - μ : campo aleatório Gama e função de ligação identidade, d: diâmetro à altura do peito (cm), pc: porcentagem de copa, D: desvio, AIC: critério de informação de Akaike, BIC: critério de informação Bayesiano.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O ajuste dos MLG's para IPAg testado nos campos aleatórios *Normal* e *Gamma* com as funções de ligação identidade (μ) e logarítmica $\ln(\mu)$, teve como resultado que entre os quatro modelos testados o que apresentou melhor ajuste para os sítios de São Joaquim, Urupema e Painei foi *Gamma* - μ . O exame da distribuição dos resíduos em função dos valores estimados colaborou para a acurácia de estimativas geradas pelo modelo, pois apresentou homogeneidade da variância na distribuição dos resíduos (Figura 11).

Figura 11 - Distribuição dos resíduos dos ajustes do IPAg com os MLG's *Gamma* - μ . a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Urupema e d) Painei.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O uso das técnicas de MLG's na modelagem do crescimento na área florestal, de acordo com Contreras (2011) e Cañellas et al., (2009), vem ganhando importância, em especial para a análise de dados que apresentam comportamento assimétrico de forma acentuada.

A modelagem do incremento periódico anual em área transversal com as variáveis utilizadas permite afirmar que árvores com maior porcentagem de copa apresentam maiores taxas de crescimento quando comparadas com árvores de menores dimensões, justificado pela competição a que estes indivíduos apresentam, necessitando de intervenções silviculturais na floresta.

Analisando o crescimento de *A. angustifolia*, Zanon (2007) desenvolveu um modelo de incremento em área basal com base em variáveis ambientais e morfométricas, com o modelo ajustado explicando 84% da variação total.

Cunha et al., (2013), utilizaram as características da copa para modelar o incremento em área basal de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. Os resultados apontaram que a maior parte da variação foi descrita pelos atributos associados à copa, indicando a eficiência dessas variáveis para a predição do crescimento com precisão e confiança da modelagem.

2.5 CONCLUSÃO

Existe correlação significativa entre o IPAg, porcentagem de copa e o diâmetro à altura do peito, possibilitando o ajuste considerando estas variáveis. O modelo de incremento periódico anual em área transversal ajustado com as variáveis incluídas no ajuste desse trabalho (d , $pc\%$ e h), pode ser utilizado com segurança para a prospecção do crescimento da espécie na região.

Árvores com maior proporção de copa possuem melhores taxas de incremento do que árvores em competição, de menor dimensão e com menor proporção de copa.

É possível indicar o uso de variáveis que se referem às dimensões da copa na modelagem do incremento periódico em área transversal de *A. angustifolia*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

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

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forest. **Forest Ecology and management**, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Linear mixed model to describe the basal area increment for individual cedro (*Cedrela odorata* L.) trees in Occidental Amazon, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 23, n. 3, p. 461-470, 2013.

COSTA, C. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze**, Lages, SC. 2011, 140p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

COSTA, C. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequidiana. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, PR, v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.

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. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. Ciência Florestal, **Santa Maria**, RS, v. 11, n. 1, p. 141-150, 2001.

EMBRAPA - **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília, 2012.

HASENAUER, H. Sustainable Forest Mangement: Growth Models for Europe. Springer Verlag, Berlin Germany, 398 p., 2006.

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

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

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; LIMA, A. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; FELSEMBURGH, C. A.; TRIBUZY, E. S. Noções básicas de manejo florestal. Instituto Nacional de pesquisas da Amazônia, Manaus, 2008.

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

NELDER, J.A.; WEDDERBURN, R.W.M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.135, p. 370–384, 1972.

NOGUEIRA, A. C. **Reação do crescimento radial da *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze em florestas naturais que sofreram corte seletivo.** 1989, 107 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

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

POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests.** Wageningen Agricultural University, 1993. 223 p.

PRETZCH, H. **Forest dynamics, growth and yield.** Heidelberg: Springer Verlag, Berlin Germany, 2009, 664 p.

PRETZSCH, H. Perspektiven einer modellorientierten Waldwachstumsforschung **Forstwissenschaftliches Centralblatt**, v.14, p. 188-209. 1995.

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

SANQUETTA, C. R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal.** Curitiba: FUPEF. 1996. 49 p.

SANQUETTA, C. R. Fragmentação da Floresta Ombrófila Mista no Paraná. In: SANQUETTA, C. R et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução** - 3a. edição. 1. ed. Curitiba: Dos Autores, v. 1. 406 p, 2014.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical Forests**. Copenhagem: CAB International, 1994. 312p.

ZANON, M. L. B. Crescimento da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) kuntze diferenciado por dioicia. 2007. 110 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria.

CAPÍTULO 4

GEOESTATÍSTICA APLICADA AO MAPEAMENTO DO INCREMENTO DIAMÉTRICO DE *Araucaria angustifolia* COMO BASE PARA O MANEJO DA PAISAGEM NO SUL DO BRASIL

4.1 RESUMO

O manejo da paisagem consiste em uma estratégia de manutenção e planejamento dos ecossistemas, considerando aspectos ambientais, sociais, e o padrão estético das florestas. Neste capítulo o objetivo foi analisar a distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro de araucária em sítios naturais no sul do Brasil, através do uso da análise geoestatística, com o intuito de fornecer subsídios para a tomada de decisão quanto ao manejo da espécie. Na amostragem foram consideradas 256 árvores, do quais foram obtidas variáveis dendrométricas e atributos da copa, bem como se realizou o registro de suas coordenadas geográficas e sua localização no terreno com o uso do GPS. Para a análise do incremento em diâmetro se fez uso da análise parcial de tronco, com posterior mensuração dos anéis de crescimento e mensuração do incremento. A análise geoestatística foi realizada para modelar o padrão de distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro da araucária. Procedeu-se primeiramente com a análise dos dados através da estatística clássica e em seguida com o ajuste dos semivariogramas. Posteriormente realizou-se a Krigagem Ordinária para a interpolação de dados em locais não amostrados. O modelo exponencial foi o que apresentou melhor ajuste para os dados de São Joaquim e Painel, para Urupema o modelo com melhor desempenho foi o esférico. Com a interpolação dos dados de incremento em diâmetro e confecção dos mapas foi possível visualizar a distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro nos quatro sítios de estudo, podendo-se assim identificar as áreas com maiores valores para o incremento e as áreas críticas, onde ocorre um menor crescimento, servindo como base para futuros planos de manejo e perpetuidade dos remanescentes da floresta com araucária.

Palavras-chave: Variabilidade espacial, krigagem ordinária, manejo florestal.

ABSTRACT

The landscape management consists of a maintenance strategy and planning of ecosystems, considering environmental, social, and aesthetic standard of forests. In this chapter the aim was to analyze the spatial distribution of mean annual increment in diameter in *araucaria* in natural sites in southern Brazil, through the use of geostatistical analysis, with the intuited to provide subsidies for decision making regarding the management of the species. In the sample were considered 256 trees, which dendrometric variables and attributes of the canopy were obtained and also their geographical coordinates and its location on the ground with the use of GPS. For the analysis of increment in diameter was made use of trunk partial analysis, with subsequent measurement of growth rings and measuring the increase. The geostatistical analysis was performed to model the spatial distribution pattern of the average annual increment in diameter *Araucaria*. The procedure was to first analyze the data by classical statistical and then with the adjustment of semivariograms. Later there was the Ordinary Kriging for interpolation of data in non-sampled locations. The exponential model showed the best fit for the São Joaquim and Paineis data to Urupema the model with best performance was spherical. With the interpolation of the incremental data in diameter and preparation of maps was possible to visualize the spatial distribution of mean annual increment in diameter in the four study sites, being able to so identify areas with higher values for the increment and the critical areas where it is lower growth, serving as a basis for future management plans and perpetuity of the remnants of *Araucaria* forest.

Keywords: Spatial variability, ordinary kriging, forest management.

4.2 INTRODUÇÃO

A exploração intensa de madeira da espécie *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Sul do Brasil e a substituição da vegetação natural por pastagens e áreas de agricultura, com início nos primeiros anos do século XX, provocaram uma drástica redução da área com florestas originais da formação Floresta Ombrófila Mista. A partir de 1934 houve uma exploração mais intensa atingindo seu auge no período de 1950 a 1970. Até a década de 70 a madeira de araucária era um dos principais produtos brasileiros de exportação, correspondendo a cerca de 90% da madeira enviada para fora do país (SEITZ, 1986).

A ausência de uma política florestal com medidas eficazes, seguindo os preceitos de desenvolvimento e manejo sustentável para as áreas de ocorrência da espécie, pode estar contribuindo para uma constante degradação desses ecossistemas.

Existem mecanismos de regulação e controle dos recursos naturais (planejamento e manejo dos recursos naturais) afim de auxiliar na diminuição da intensa degradação dos recursos naturais e genéticos. O manejo da paisagem é considerado uma das estratégias mais indicadas para a manutenção dos ecossistemas (VALENTE, 2005).

No manejo da paisagem estão associados a continuidade dos processos ecológicos interrompidos pela fragmentação dos ecossistemas naturais (DOBROVOLSKI et al., 2006). Além disso, este considera os aspectos ambientais e sociais da região, assim como o padrão estético das florestas, diferente dos outros tipos de manejo (TABARELLI & GASCON, 2005). Com isso é possível realizar inferências mais precisas e adequadas à realidade da paisagem, contribuindo para um planejamento correto e específico para cada ecossistema.

A gestão da paisagem depende de dados precisos e exatos das características espaciais, para que os resultados das análises não se tornem genéricos ou incoerentes. As geotecnologias suprem a demanda de aquisição de dados espaciais, proporcionando ao pesquisador uma visão mais holística voltada para a análise, gestão e planejamento da paisagem (LANG & BLASCHKE, 2009).

A geoestatística é uma técnica utilizada em estudos ecológicos na detecção e descrição da estrutura de dependência espacial, na interpolação e confecção de mapas, bem como na estimação e inferência de variáveis relacionadas ao ambiente (AUBRY e DEBOUZIE, 2000). De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), a geoestatística é

fundamentada na teoria de que, em maioria, as amostras próximas, no tempo e no espaço, sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes.

Assim, o planejamento e o manejo da paisagem se tornam mais confiáveis e dinâmicos, pois as informações geradas são utilizadas na criação e análise de modelos representativos da variabilidade ambiental de uma área. As avaliações desses modelos possibilitam recomendações quanto ao uso atual e futuro dos recursos ambientais. Assim, a gestão florestal pode ser realizada de forma responsável e metódica, pois há um acompanhamento da evolução das variáveis na localidade e uma comparação entre as circunstâncias encontradas no presente e as que forem previstas pelo planejamento dos recursos ambientais (LIMA et al., 2004; SILVA, 1999; XAVIER-DA-SILVA, 2001).

Estudos detalhados dos componentes dos ecossistemas florestais fornecem subsídios para o aperfeiçoamento de técnicas de conservação e manejo sustentável. No entanto, em sua maioria, esses estudos não consideram a dependência espacial entre as variáveis, muitas vezes deixando de lado a sua representação no espaço.

Apesar da importância da autocorrelação espacial em estudos das florestas, segundo Dormann (2007), existe pouco conhecimento quantitativo nesse sentido. Mais de 80% das publicações não consideram a estrutura espacial dos atributos estudados.

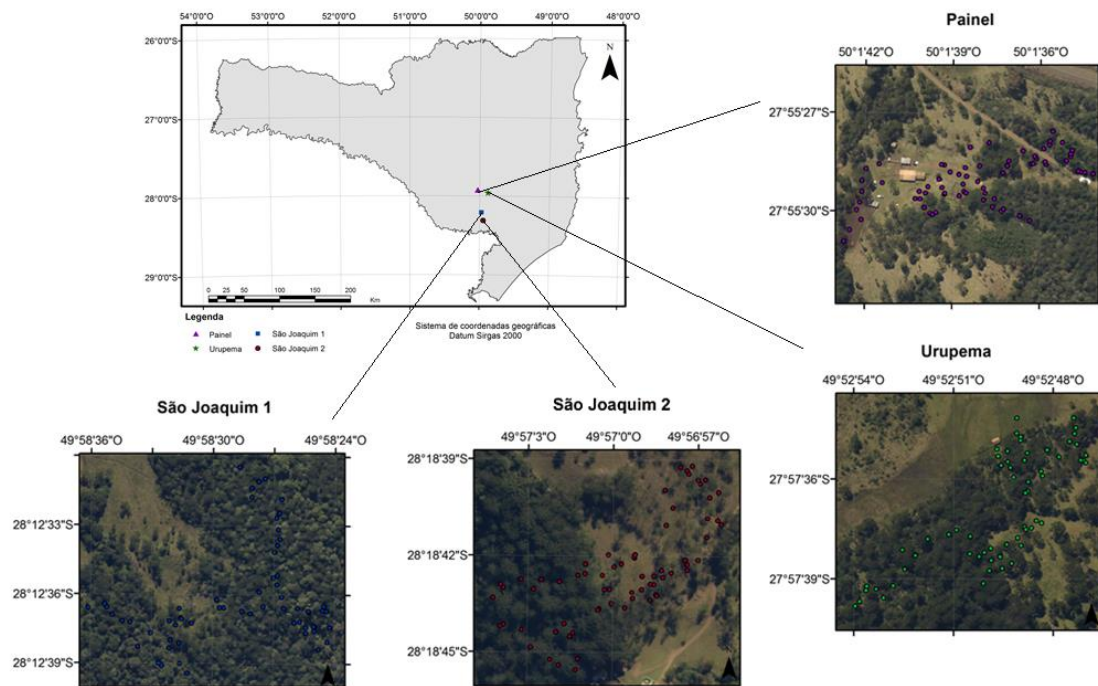
Dessa forma, nesse capítulo o objetivo foi avaliar a distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro da araucária em sítios naturais no sul do Brasil, através do uso da análise geoestatística, com o intuito de fornecer subsídios para a tomada de decisão em planos de manejo da Floresta com Araucária.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Sítios amostrais

Os sítios amostrados tratam-se de remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, com ocorrência natural de *Araucaria angustifolia*, localizados no planalto serrano de Santa Catarina (Figura 12). Os sítios encontram-se nos municípios de São Joaquim (SJQ), com área total de 73,46 ha e 19,72 ha, e área amostral de 1,86 ha e 1,4 ha, Urupema (URU) com 18,08 ha de área total e 1,2 ha amostrados, Paineira (PNL) área total de 50,47 ha e 1,3 ha de área amostral.

Figura 12- Mapa de localização das árvore e sítios amostrais.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Foram amostradas 256 árvores individuais com objetivo de cobrir as amplitudes de distribuição diamétrica, em floresta nativa irregular inequiana (densidade <250 a +300 indivíduos por hectare), (Hess et al., 2010; Hess et al., 2014) a 40 anos sem manejo e intervenções silviculturais, ocorrendo competição, comprometimento da regeneração natural e da perpetuidade desta tipologia florestal. A suficiência amostral foi calculada conforme equação em Sanquetta et al. (2014).

Na região ocorre, segundo a classificação de Köppen, clima cfb, isto é, temperado constantemente úmido e sem estação seca definida (Alvares et al., 2013). Em São Joaquim, a altitude é de 1.352 m, temperatura média anual de 14°C e precipitação de 1.683 mm, em Urupema a altitude é de 1.324 m, 14,1°C e 1.634 mm, Painei 1.123 m de altimetria, 15,3°C e 1.543 mm de precipitação anual.

Em São Joaquim os solos são classificados como Associação Neossolo Litólico + Cambissolos Hápicos + Neossolos Litólicos Eutróficos, relevo forte ondulado (substrato efusivas da Formação Serra Geral) todos fase pedregosa campo e floresta subtropical. Para a cidade de Urupema os solos predominantes são classificados como Associação Cambissolo Húmico + Neossolo Litólico, textura argilosa, fase pedregosa, relevo ondulado (substrato efusivas da Formação Serra Geral) + Nitossolo Bruno distrófico, textura muito argilosa. E em Painei os solos predominantes são classificados como Neossolos Litólicos Distroúmbricos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivas de Formação da Serra Geral) + Cambissolos Hápicos, textura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2012).

4.3.2 Aquisição dos dados

Foram amostradas 256 árvores individuais de araucária e marcada suas coordenadas geográficas.

Para a aquisição dos dados do incremento em diâmetro, utilizou-se a análise parcial de tronco, com o auxílio do trado extrator de Pressler. De cada árvore foram amostrados radialmente do tronco dois rolos de incremento perpendiculares entre si e tomados a altura do peito (1,30 m). As amostras foram fixadas em porta baguetas, após foram secas em temperatura ambiente, e em seguida foram polidas com lixas de diferentes granulometrias, para facilitar a visualização dos anéis de crescimento. Utilizando a mesa de mensuração de anéis do *Lintab* 6,

com precisão de 0,0001 mm, acoplada ao computador, foi realizada a mensuração do incremento. Os dados foram registrados pelo programa *Time Series Analysis Program – TSAP-Win*. Em seguida fez-se a datação das informações obtidas com o auxílio da extensão *Action* do pacote Excel 2014.

4.3.3 Análise Geoestatística

A análise geoestatística foi utilizada para modelar os padrões espaciais do incremento médio anual em diâmetro das araucárias em povoados naturais.

Inicialmente os dados foram analisados segundo os procedimentos da estatística clássica, como também quanto à teoria das variáveis regionalizadas. Procedeu-se em seguida com a escolha dos modelos para o ajuste dos semivariogramas nos quatro sítios de estudo, buscando ajustar os valores dos *Lags* e das direções, para encontrar a melhor estrutura espacial dos dados. Os semivariogramas foram ajustados com o auxílio do *software GS⁺ (Geostatistics for the Environmental Sciences)*.

O procedimento de ajuste é iterativo, diferente dos ajustes de uma regressão, pois nesse processo o intérprete verifica a adequação do modelo teórico até atingir um que seja considerado satisfatório (CAMARGO, 2001).

Entre os modelos teóricos de semivariograma destacam-se os modelos esférico, exponencial, gaussiano, e os lineares (GUERRA, 1988), sendo estes testados para os dados desse estudo conforme as seguintes expressões:

a) Esférico:

$$\gamma(h) = C_o + C \left[1,5 \left(\frac{h}{a} \right) - 5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right]$$

b) Exponencial:

$$\gamma(h) = C_o + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right]$$

c) Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_o + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right]$$

d) Linear:

$$\gamma(h) = C_o[h(C/a)]$$

Em que: $\gamma(h)$ C_o : efeito pepita C : patamar h : distância (m) a : alcance exp: exponencial.

Na avaliação do melhor modelo consideram-se os menores valores para Soma dos Quadrados dos Resíduos (SQR) e maiores valores para o Coeficiente de Determinação (R^2). O grau de dependência espacial foi avaliado através do Índice de Dependência Espacial (IDE). O IDE utiliza a relação entre a semivariância estrutural e o patamar. Quando seu valor for menor que 25% a correlação é considerada fraca, entre 25 e 75% é moderada e maior que 75% possui forte correlação (ZIMBACK, 2001)

Porém, de acordo com Guimarães (2004), no ajuste do modelo a sensibilidade do observador é mais importante do que os valores de SQR e R^2 , neste caso, realizar ajustes diferentes ao proporcionado pelo programa deve ser considerado.

Diversos métodos podem ser aplicados para verificar a qualidade dos ajustes dos semivariogramas, Vieira et al., (1983), sugeriram o método de ajuste a critério do observador, em conjunto à avaliação do modelo.

Posterior ao ajuste dos semivariogramas, executou-se a Krigagem Ordinária para a interpolação de dados em pontos não amostrados, sem tendência e com variância mínima. Dessa forma, foi ajustado ao semivariograma experimental um modelo teórico, o qual foi utilizado na estimativa dos valores de incremento médio anual em diâmetro com posterior confecção dos mapas. A estimativa da Krigagem Ordinária é dada pela expressão (1):

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (1)$$

Em que: $Z(x_0)$ é a estimativa da krigagem ordinária no ponto não amostrado, x_0 , $Z(x_i)$ os valores medidos nos pontos vizinhos, x_i , $x = 1, 2, \dots, n$ e λ_i os pesos da krigagem estimados a partir do sistema de equações da krigagem, conforme Goovaerts (1997).

De acordo com Journel (1988), minimizando a variância do erro ($Var[Z_{x_0} - Z_{x_0}^*]$) com a condição de que $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$, os pesos λ_i são obtidos a partir do sistema de equações, sistema de Krigagem Ordinária:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(x_i, x_j) - \alpha = C(x_i, x_j) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{array} \right.$$

Em que: $C(x_i, x_j)$ é a função de covariância correspondente a um vetor, h , com origem em x_i e extremidade x_j , $C(x_i, x_j)$ refere-se à função covariância correspondente a um vetor, h , com origem em x_i e extremidade no ponto a ser estimado x_0 e α é o multiplicador de Lagrange necessário para minimização da variância do erro.

A Krigagem ordinária foi realizada na extensão *Geoestatistical Analyst* do pacote ArcGIS 10.2.1 (2013).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como primeira abordagem, realizou-se a análise dos dados de incremento médio anual em diâmetro para *A. angustifolia* nos sítios de estudo, a partir da estatística descritiva conforme Tabela 11.

Tabela 11. Estatística descritiva do incremento médio em diâmetro para araucária no planalto serrano de Santa Catarina.

Estatística descritiva				
	São Joaquim 1	São Joaquim 2	Urupema	Painel
Máximo	1,42	0,90	1,43	1,89
Mínimo	0,31	0,20	0,40	0,37
Média	0,69	0,46	0,82	0,94
Desvio padrão	0,23	0,12	0,24	0,26
Assimetria	0,85	0,61	0,49	0,54
Curtose	3,26	3,78	2,5	4,2

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Os valores revelaram maior média para incremento médio no sítio de Painei, isso pode ser explicado pela idade menos avançada das árvores amostradas nesse sítio, menor densidade, e condições favoráveis ao crescimento. Em São Joaquim 2 ocorre a menor média para o incremento médio anual em diâmetro, e com a análise retrospectiva dos anéis de crescimento, observou-se que nessa área há a presença de araucárias centenárias, estimando-se que podem haver indivíduos com idade superior a 200 anos, explicando assim, os menores valores de incremento, e indicando que essas árvores já alcançaram sua capacidade máxima de crescimento.

Os valores do desvio padrão mostram que a maior variabilidade encontra-se nos dados de Painei (0,26).

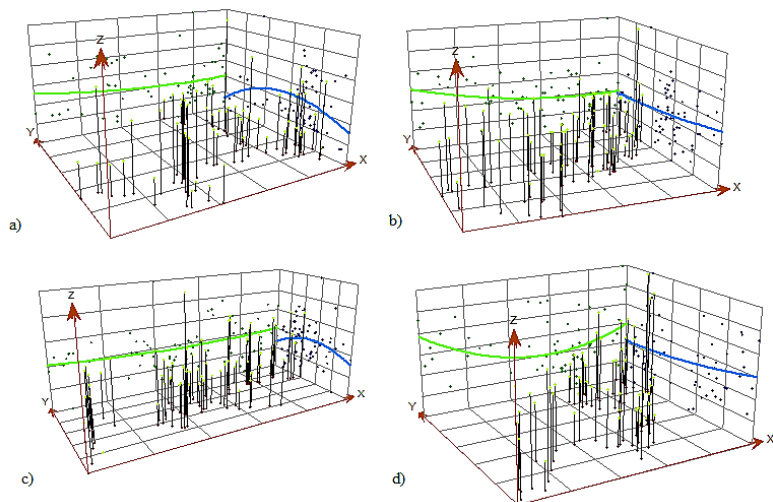
A análise exploratória demonstra que existe uma assimetria positiva para todos os dados, sendo que em São Joaquim 1 essa assimetria é maior. O coeficiente de assimetria demonstra o quanto os valores da variável estão afastados da média, ou o quanto a distribuição de frequência se afasta da simetria, não atendendo a condição de simetria, em que 50% dos valores estão acima da observação central e 50% abaixo.

O coeficiente de curtose representa a dispersão da distribuição em relação a curva normal. Em São Joaquim 1 e 2 estão os índices de curtose que mais se aproximam do termo médio de comparação ($C=3$, distribuição normal), porém os valores são maiores que 3 demonstrando uma distribuição leptocúrtica, ocorrendo da mesma forma em Painei. Para Urupema observa-se um índice de curtose menor que 3, indicando uma distribuição platicúrtica.

No entanto, de acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, sendo apenas importante que a distribuição normal não apresente caudas muito longas, pois isso poderia comprometer a análise dos dados. Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do efeito proporcional, onde a variabilidade dos dados devem ser constantes no local de amostragem, portanto, ocorrer a estacionaridade, sendo esta necessária ao uso da geoestatística (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). Porém nos casos em que não ocorreu a normalidade dos dados, a variável de interesse sofreu transformação para melhorar a qualidade dos ajustes.

A análise da distribuição espacial do incremento médio anual em diâmetro possibilitou visualizar as tendências do crescimento da araucária nos sítios abordados conforme demonstra a Figura 13.

Figura 13- Gráficos de tendência do incremento médio em diâmetro da araucária no planalto serrano catarinense: a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Paineira e d) Urupema.



Em que: x: latitude; y: longitude; z: incremento médio em diâmetro; as linhas em verde e azul demonstram a tendência do crescimento nos sentidos Norte, Sul, Leste e Oeste; as linhas verticais pretas representam os valores do incremento em diâmetro (z).

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Observa-se na Figura 13 que o incremento médio anual apresenta grande variação nos seus valores e apresentam-se dispersamente distribuídos por toda a superfície do sítio. Essa dispersão é favorecida pelas boas condições do sítio, e é influenciada por fatores como competição e disponibilidade de recursos, entre eles, espaço de crescimento, exposição à luz e fornecimento de nutrientes (TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Em São Joaquim 1 há uma leve diferença na tendência dos valores de incremento em diâmetro, sendo que os maiores valores encontram-se no sentido oeste, ocorrendo o mesmo em São Joaquim 2. Em Paineira, de acordo com o gráfico de tendência, somente há diferença nos valores de incremento nas direções representadas pela linha azul. Em Urupema as árvores localizadas ao sul e oeste apresentam os maiores incrementos, dessa forma entende-se que as árvores que se encontram nas demais direções estão sujeitas a

condições de crescimento desfavoráveis em relação às demais, isso pode ser devido à menor oferta de recursos promotores do crescimento.

Identificar a distribuição do incremento médio anual em diâmetro na superfície do terreno, fornece subsídios para o manejo da araucária, pois permite concentrar as intervenções de acordo com os locais de maior produção e crescimento, assim como os desbastes em locais com menores valores de incremento, propiciando condições para aumentar as taxas de incremento.

A Tabela 12 apresenta os modelos com melhor ajuste aos semivariogramas experimentais, o grau de dependência espacial do incremento médio anual em diâmetro em cada sítio de estudo, como também os valores de R^2 e SQR, considerados na seleção dos modelos.

Tabela 12 – Ajuste dos semivariogramas teóricos.

São Joaquim 1						
Modelo	C_0	C_0+C	A_0	IDE	R^2	SQR
Exponencial	0,0460	0,0921	610	50%	0,42	0,000197
São Joaquim 2						
Modelo	C_0	C_0+C	A_0	IDE	R^2	SQR
Exponencial	0,0049	0,0183	20,40	73%	0,54	0,000082
Urupema						
Modelo	C_0	C_0+C	A_0	IDE	R^2	SQR
Esférico	0,0325	0,0833	28,20	61%	0,97	0,000021
Painel						
Modelo	C_0	C_0+C	A_0	IDE	R^2	SQR
Exponencial	0,0224	0,0611	14,60	63%	0,40	0,002165

Em que: C_0 : Efeito pepita, C_0+C : Patamar, A_0 : alcance, IDE: índice de dependência espacial, R^2 : coeficiente de determinação e SQR: soma de quadrados dos resíduos.

Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Nos quatro sítios os valores do IDE ficaram no intervalo entre 50% e 75%, deste modo enquadram-se na definição de dependência espacial moderada, isso indica que a variância da variável observada aumenta com a distância entre os pontos amostrados, tornando possível a utilização da análise geoestatística para avaliação dos dados e justificando a técnica de interpolação empregada.

Para São Joaquim 1, São Joaquim 2 e Painel o modelo com melhor ajuste para o cálculo do semivariograma foi o modelo

Exponencial e para Painei o modelo mais adequado resultou no modelo Esférico.

Os semivariogramas podem apresentar descontinuidade na origem, esta medida é denominada efeito pepita, nesse caso o variograma não tende a (0) próximo da origem. Esta descontinuidade na origem é associada a variações em escala muito pequena (HERNÁNDEZ, 2009). Os valores para o efeito pepita mostraram-se baixos, demonstrando que os semivariogramas foram sensíveis à variação em curtas distâncias, considerando as distâncias entre as árvores amostradas.

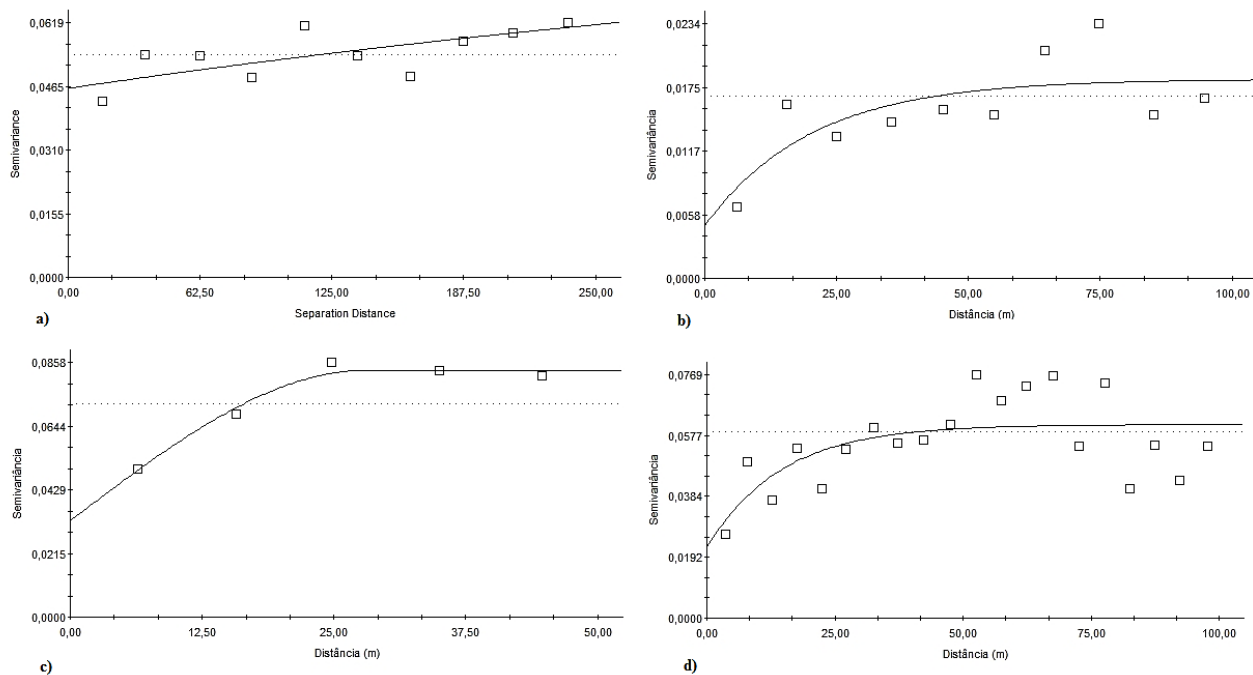
O alcance (A_0) refere-se à distância em que a curva do semivariograma estabiliza, sendo esta a distância até onde os dados podem ser considerados semelhantes. Em São Joaquim 1 ocorreu o maior valor para o alcance (610 m), porém o ajuste do semivariograma nesse sítio não proporcionou a visualização da estabilização da curva.

Os valores de alcance para os demais locais foram menores, sugerindo que nesses lugares os dados começam a diferir em uma distância menor, demonstrando maior variabilidade espacial nos valores de incremento médio anual em diâmetro. O patamar expressa o limite ao qual o ponto, a partir do alcance, não terá nenhuma contribuição no procedimento de interpolação (ANDRIOTTI, 2002).

Nos quatro locais o incremento médio anual em diâmetro se comportou de maneira isotrópica, ou seja, em qualquer direção a variância aumenta com a distância entre as árvores.

O comportamento da variância em função da distância entre os pontos, pode ser visualizado através dos semivariogramas ajustados apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Semivariogramas ajustados com os dados de incremento médio em diâmetro: a) São Joaquim 1, b) São Joaquim 2, c) Urupema e d) Painel.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Os resultados geoesstatísticos podem ser melhor compreendidos com a visualização do produto final sob a forma de mapa. Nas modelagens geoestatísticas, a eficácia de um mapeamento é dependente da qualidade dos dados e das inferências dos modelos ajustados (BORSSOI et al., 2011), pois os parâmetros dos semivariogramas que definem a estrutura espacial são incluídos na interpolação de valores em locais onde não houve amostragem. Desse modo, devido a precisão estatística dos semivariogramas ajustados e a ausência de anisotropia, foram confeccionados mapas através da Krigagem ordinária, que constitui-se como uma ferramenta vantajosa e eficaz, capaz de gerar a superfície do incremento em diâmetro para *A. angustifolia*.

Foram elaborados mapas referentes às áreas totais dos sítios amostrados. O mapa da distribuição do incremento médio em diâmetro da área São Joaquim 1 está representado na Figura 15 .

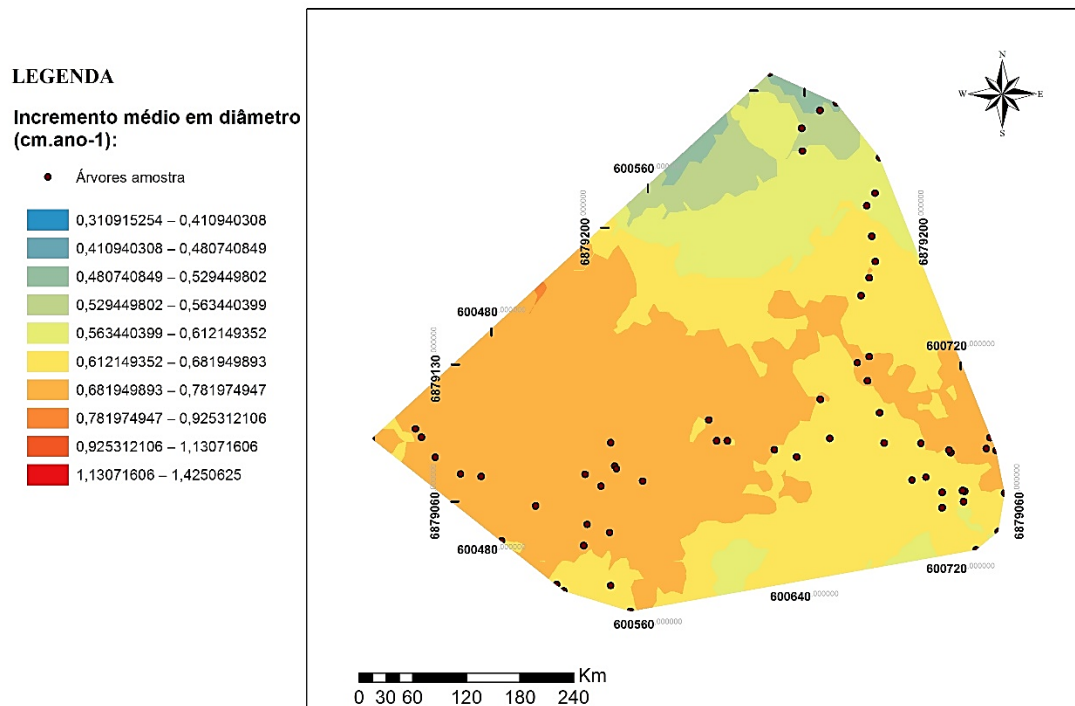
Analisando o mapa gerado para São Joaquim 1 é possível identificar que a maior parte da área possui incremento médio anual em diâmetro das araçucárias próximos da média, compondo a classe com valores entre 0,68 e 0,78 cm.ano⁻¹.

Na zona norte da área ocorre os menores valores para o incremento, indicando que nesse local encontram-se os indivíduos com menores taxas de crescimento, pois são árvores com maior idade, estagnando o crescimento, bem como podendo estar relacionada a efeito de competição passada nesse ponto do sítio em específico.

Nos demais locais, encontram-se as araçucárias com incremento próximo a 0,60 cm.ano⁻¹, abaixo da capacidade de crescimento da espécie, mas caracterizando uma área com crescimento favorável, podendo ser considerada a hipótese de se realizar intervenções silviculturais, a fim de promover um aumento do incremento médio em diâmetro.

Cabe salientar a importância da ferramenta de interpolação de dados através da geoestatística, pois com isso é possível identificar pontos críticos e ótimos ao crescimento da espécie em cada sítio, norteando a tomada de decisão quanto ao manejo adequado dos recursos florestais.

Figura 15 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área São Joaquim 1.



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Com a maior semelhança espacial encontrada entre os dados de incremento médio anual em diâmetro de *A. angustifolia* em São Joaquim 2, pode-se ratificar o ajuste geoestatístico satisfatório, assim, com o mapa da variação espacial gerado para esse sítio é possível inferir sobre a distribuição do incremento da espécie no sítio (Figura 16).

A heterogeneidade visual na distribuição do incremento da araucária nesse sítio é confirmada pelo mapa da distribuição espacial. Nota-se na Figura 16 que a presença dos menores incrementos médios anuais em diâmetro (entre 0,20 e 0,32 cm.ano⁻¹) ocorrem em distintos locais da área estudada, sendo que a maior densidade de indivíduos amostrados pertence a esses locais. Considerando que esses indivíduos compõem diferentes classes de diâmetro, pode-se inferir que o crescimento dessas árvores está em competição e consequente falta de espaço de crescimento. Nesse local foram amostradas árvores consideradas livres de competição por luz e espaço por estarem em área de campo, contudo, esses indivíduos encontram-se nas classes de menor incremento, porém, é possível que o menor incremento dessas árvores esteja relacionado com a idade ou impedimento do sítio.

Os maiores valores de incremento médio em diâmetro ocorrem somente em algumas ilhas identificadas no mapa com coloração vermelha, localizadas em sua maioria na região oeste, colaborando para a hipótese de que há poucos indivíduos com maior acesso aos recursos para seu crescimento.

A análise espacial do incremento oferece uma inferência mais detalhada sobre a dinâmica das árvores na floresta, facilitando a identificação das regiões passíveis de interferências de manejo florestal.

Assim, a combinação da análise geoestatística com os dados morfológicos e dendrométricos permite fornecer imagens da estrutura espacial dos povoamentos (GOULDING et al., 2000).

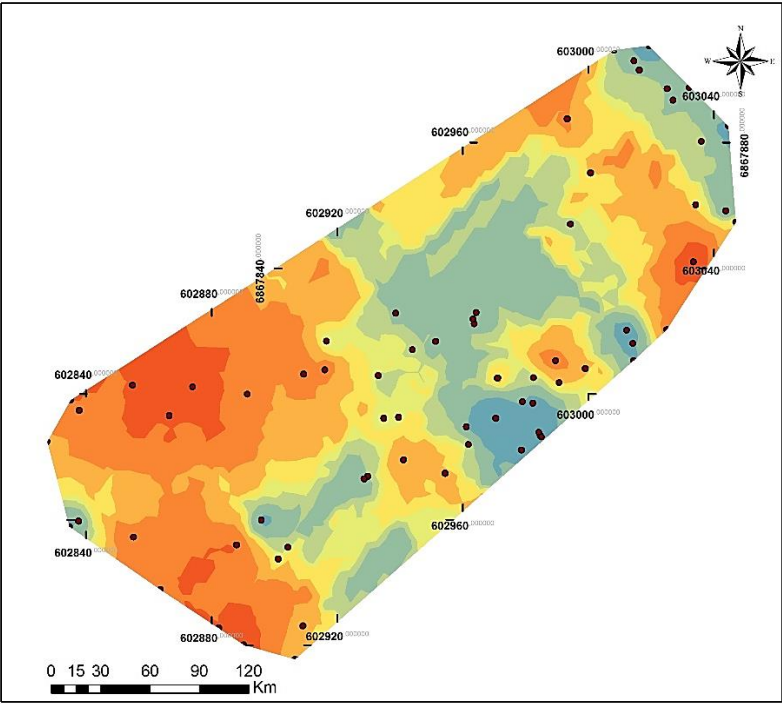
O conhecimento da variabilidade espacial pode servir como base para técnicas adequadas de amostragem que possam vir a ser empregadas futuramente, em possíveis remediações que os povoamentos possam sofrer, considerando a heterogeneidade encontrada nos sítios.

Figura 16 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área São Joaquim 2.

LEGENDA

**Incremento médio em diâmetro
(cm.ano-1):**

- Árvore amostra
- 0,20726 – 0,325433867
- 0,325433867 – 0,390312961
- 0,390312961 – 0,425932485
- 0,425932485 – 0,445488099
- 0,445488099 – 0,456224402
- 0,456224402 – 0,475780016
- 0,475780016 – 0,51139954
- 0,51139954 – 0,576278635
- 0,576278635 – 0,694452501
- 0,694452501 – 0,9097



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

O mapa da distribuição espacial do incremento em diâmetro para Urupema, também demonstra a heterogeneidade e variabilidade na distribuição do incremento nesse sítio (Figura 17), indicando que o manejo não deve adotar taxas únicas para toda estrutura da floresta no momento de realizar interferências silviculturais, mas deve levar em consideração o incremento por classe de diâmetro, densidade de indivíduos, competição, para que após a intervenção a floresta consiga repor o volume retirado dentro do ciclo de corte.

É evidente a concentração dos maiores valores de incremento médio em diâmetro em árvores localizadas nas regiões leste e sul do fragmento, o mapa elucida que na área de Urupema mais de 50% da superfície interpolada corresponde à classificação que representa maior crescimento, encontrando-se valores de incremento médio anual entre 0,88 e 1,44 cm.ano⁻¹. Desse modo, a análise da distribuição do incremento corrobora para a afirmação de que, entre os sítios considerados nesse estudo, Urupema apresentou as maiores médias para incremento médio em diâmetro.

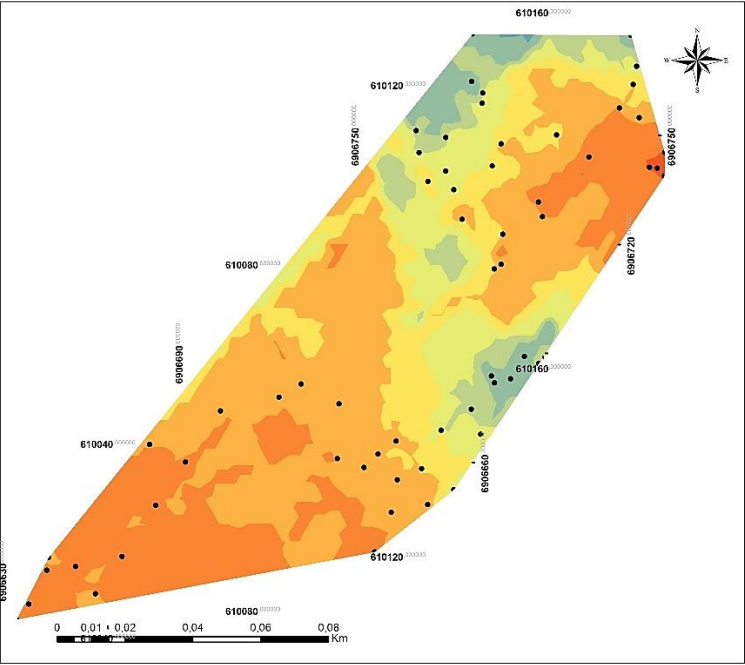
No mapa existem ilhas de cor azul, que representam os menores valores de incremento, onde é possível observar que as árvores encontram-se adensadas formando pequenos grupos, diferente das demais árvores amostradas, as quais possuem espaço livre e maior distância entre indivíduos.

Figura 17 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área de Urupema.

LEGENDA

Incremento médio em diâmetro (cm.ano-1):

- Árvore amostra
- 0,396436364 – 0,494295526
- 0,494295526 – 0,566904734
- 0,566904734 – 0,620530774
- 0,620530774 – 0,660339336
- 0,660339336 – 0,714065376
- 0,714065376 – 0,786574583
- 0,786574583 – 0,884433746
- 0,884433746 – 1,01650546
- 1,01650546 – 1,19475079
- 1,19475079 – 1,4353125



Fonte: produção do próprio autor, 2016.

Em Paineal ocorreu variabilidade na distribuição dos valores de incremento médio em diâmetro, essa heterogeneidade é visível no mapa da distribuição espacial (Figura 18). Diversas ilhas, tanto de menores quanto de maiores valores de incremento estão distribuídas ao longo da superfície que representa os valores oriundos da interpolação.

As árvores amostradas, em sua maioria, encontram-se nas ilhas azuis, as quais representam os menores valores para incremento em diâmetro, no entanto em boa parte da área do sítio estão indivíduos com maior incremento, evidenciando a capacidade de crescimento da espécie condicionada à ações que promovam o amento do incremento das árvores desfavorecidas através do corte seletivo.

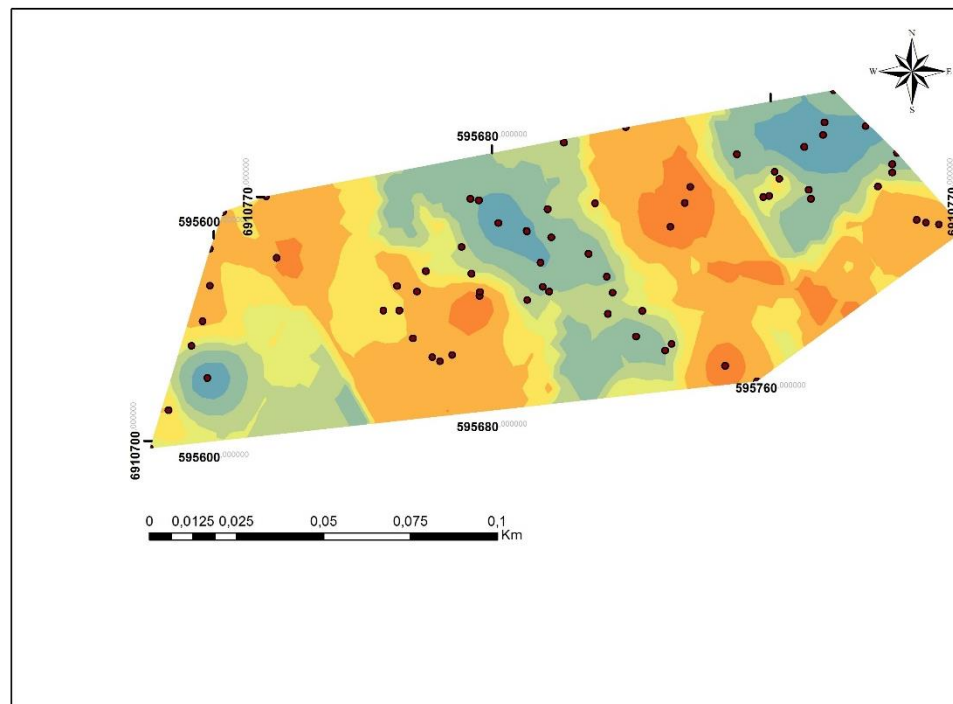
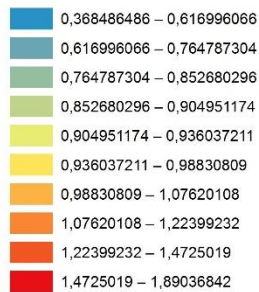
Especialmente nesse sítio, a variação do incremento conforme aumenta a distância entre os pontos, fica mais visível, confirmando a presença de estacionaridade nos dados e subdividindo o fragmento em microrregiões caracterizadas por seus distintos valores de incremento médio em diâmetro. Dessa forma, fica clara a importância de considerar a distribuição espacial das características da espécie quando se pretende realizar a utilização sustentável dos recursos florestais. Pois com a análise dos atributos de interesse, nesse caso o incremento, é possível realizar ações pontuais, considerando as características individuais de cada microrregião que constitui o povoamento.

Figura 18 – Mapeamento do incremento médio em diâmetro de araucária na área de Painei.

LEGENDA

Incremento médio em diâmetro (cm.ano-1):

● Árvore amostra



Fonte: Produção do próprio autor, 2016.

A caracterização específica da distribuição do incremento em sítios com *A. angustifolia* em sua região de ocorrência, contribui para o manejo florestal e da paisagem em áreas com a presença da espécie, pois possibilita o planejamento de tomada de decisão na gestão do recursos florestais, evitando o desperdício dos recursos e confiabilidade do planejamento das atividades.

Na área florestal, especificamente no manejo florestal ainda são poucos os estudos que consideram as características espaciais das variáveis estudadas, podendo-se destacar o trabalho de Mello (2004), no qual o autor aborda o uso da geoestatística no inventário florestal, salientando que a aplicação da amostragem clássica no inventário florestal pode aumentar os problemas estatísticos, caso identifique-se a presença de continuidade espacial, mostrando que é necessário verificar a estrutura de continuidade espacial das características estudadas, assim nos casos de existência da continuidade espacial deve-se incluir a componente espacial no modelo.

Bognola (2007), estudou os fatores do meio físico com influência no crescimento de *Pinus taeda*, em diferentes povoamentos comerciais, para determinar unidades de manejo. Alvarenga (2012), utilizou-se da geoestatística para determinar a estratificação de fragmentos florestais no cerrado.

Mais recentemente, Pelissari (2015) avaliou o desempenho das análises geoestatísticas para modelar e mapear a variabilidade espacial da produção de povoamentos de *Tectona grandis* no estado de Mato Grosso. O autor constatou que a análise geoestatística identifica a correlação espacial existente entre as variáveis dendrométricas e, desse modo, permite descrever e modelar a variabilidade espacial da capacidade produtiva do sítio florestal com suas estimativas estatisticamente precisas na confecção de mapas temáticos.

4.5 CONCLUSÃO

Os gráficos de tendência gerados proporcionaram visualizar de maneira geral o comportamento da distribuição do incremento médio anual em diâmetro em cada sítio.

Os mapas confeccionados a partir da técnica de interpolação geoestatística (krigagem ordinária), possibilitaram identificar as áreas com condições favoráveis ao crescimento da espécie, e consequentemente a distribuição espacial do incremento. A distribuição espacial do incremento médio em diâmetro, bem como dos demais atributos que determinam a dinâmica de crescimento das árvores, deve ser considerada em estudos que possuam por finalidade realizar o manejo sustentável dos recursos florestais, pois dessa forma a tomada de decisão poderá ser específica de acordo com a realidade de cada fragmento e com precisão.

Além da análise da distribuição espacial dos dados a geoestatística pode ser uma aliada no monitoramento dessas áreas, por isso indica-se que a continuidade de estudos e levantamentos futuros, agregando maior número de informações e relações entre variáveis.

Os resultados do presente estudo corroboram com a necessidade de mudança da legislação florestal no Sul do Brasil e a permissibilidade do manejo florestal para que a espécie e os remanescentes da Floresta com Araucária se perpetuem ao longo das gerações.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; PAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ANDRIOTI, J. L. S. Notas de Geoestatística. **Acta Geológica Leopoldensia**, UNISINOS, v. 55, p. 3 -14, 2002.

AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two-dimensional systematic sampling. *Ecology*, **Tempe**, v.81, n.2, p.543-553, 2000.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico**. 2007. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BORSSOI, J. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; GALEA, M. Técnicas de diagnóstico de influência local na análise espacial da produtividade da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 376–387, 2011.

CAMARGO, E.C.G. **Geoestatística: Fundamentos e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. Disponível em:<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5_geoest.pdf>. Acesso em 16 nov. 2015.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991.

DOBROVOLSKI, R.; BOTH, R.; COELHO, I.P.; STOLZ, J.F.B.; SCHÜSSLER, G.; RODRIGUES, G.G.; GEURRA, T.; HARTZ, S.M. Levantamento de áreas prioritárias para a conservação da Floresta

Nacional de São Francisco de Paula (RS, Brasil) e seu entorno. **Revista Brasileira Biociências**, v.4, p.7-14, 2006.

DORMANN, C.F. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. **Global Ecology and biogeography**, Oxford, v. 16, p.129-138, 2007.

EMBRAPA - **SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS**. Brasília.418 p, 2012.

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 10.2.1, 2013.

GOULDING, C. J.; TROTTER, C. M.; HOCK, B. K.; HITCHCOCK, S. Determining the location of trees and their log products within a stand. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 45, n. 1, p. 34–39, 2000.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford Univ. Press, 1997. 483p.

GUERRA, P.A.G. **Geoestatística Operacional**. Brasília: DNPM, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E.C. Geoestatística básica e aplicada. UFU/FAMAT, Uberlândia, 2004. 77p.

HERNÁNDEZ, C. Un caso de estudio: Métodos de interpolación espacial em uma área florestal del norte de Portugal. In: Workshop on Computational Intelligence Trends and Methodologies. Portugal. 2009.

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

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

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics, New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.
JOURNEL, A.G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. California, Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988.

LANG, S.; BLASCHKE, T. Análise da Paisagem com SIG. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LIMA, ELAINE DE CACIA DE; SANQUETTA, CARLOS ROBERTO; KIRCHNER, FLÁVIO FELIPE; FERRETTI, ELIANE REGINA. Qualidade da paisagem: Estudo de caso na floresta ombrófila mista. *Revista Floresta*, Curitiba, v.34, n.1, p. 45-56, 2004.

MELLO, J.M. de. Geoestatística aplicada ao inventário florestal. Piracicaba.2004. 122p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP).

PELISSARI, A. L. **Geoestatística aplicada ao manejo de povoamentos de *Tectona grandis* L. f.** 2015. 119. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia, in: N.B. Maia, H.L. Martos, W. BARRELA (Eds.), **Indicadores Ambientais: Conceitos e Aplicações**, EDUC/COMPED/INEP, São Paulo, 2001, p. 117–143.

SANQUETTA, C. R et al., **Inventários Florestais: Planejamento e Execução** - 3ª. edição. 1. ed. Curitiba: Dos Autores, v. 1. 406 p, 2014.

SEITZ, R. A. Avanços na silvicultura de *Pinus* sp. e *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL “O DESAFIO DAS FLORESTAS NEOTROPICAIS”, 1991, Curitiba. **O desafio das florestas neotropicais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; Freiburg: Universidade Albert Ludwig, p. 153-176. 1991.

SILVA, A.B. **Sistemas de informação georeferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Ed. Unicamp, 1999. 236 p.

TABARELLI, M.; GASCON, C. Lições da pesquisa sobre fragmentação: aperfeiçoando políticas e diretrizes de manejo para a conservação da biodiversidade. **Megadiversidade**, v. 1, p. 181-188, 2005.

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da Abordagem Multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, Berkeley, v. 31, n. 3, 1983. 75 p.

XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento para análise ambiental.
1. ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. v. 1. 228 p.

ZIMBACK, C. R. L. 2001. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. (Livre-Docencia em Levantamento do Solo e Fotopedologia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 114p, 2001.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A *A. angustifolia* possui potencial para o manejo sustentável na região sul do Brasil, tornando possível o uso do manejo da paisagem. Porém há a necessidade de programas adequados de manejo florestal que visem a sustentabilidade, unindo produção, geração de renda e emprego, a conservação e a perpetuidade desses ecossistemas.

No entanto, a legislação vigente impede o uso sustentável dessa espécie, dessa forma impedindo também que haja a promoção da regeneração natural e o aumento nas taxas de incremento.

A legislação atual precisa sofrer reformas, de modo a permitir a implantação e o estímulo ao manejo florestal sustentável em florestas nativas.

É importante a aquisição de maiores informações sobre a estrutura e dinâmica das Florestas com araucária, em suas diferentes regiões de ocorrência, para que sua existência seja garantida nas gerações futuras. Bem como, é interessante que estes estudos possuam uma continuidade, para que essas áreas sejam monitoradas.