

**MYRCIA MINATTI**

**DENDROCRONOLOGIA APLICADA NA GERAÇÃO DE  
MODELOS DE CRESCIMENTO BIOMÉTRICOS E  
AMBIENTAIS PARA *Araucaria angustifolia* NA FITORREGIÃO  
DO PLANALTO SERRANO, SC.**

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  
2015

M663d Minatti, Myrcia  
Dendrocronologia aplicada na geração de  
modelos de crescimento biométricos e ambientais  
para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do  
Planalto Serrano, SC / Myrcia Minatti. - Lages,  
2015.  
129 p.: il. ; 21 cm

Orientador: André Felipe Hess  
Bibliografia: p. 107-115  
Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Biometria. 2. Incremento. 3. Manejo  
florestal. 4. Floresta de araucária. I. Minatti,  
Myrcia. II. Hess, André Felipe. III. Universidade  
do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

CDD: 634.9751 - 20.ed.

**MYRCIA MINATTI****DENDROCRONOLOGIA APLICADA NA GERAÇÃO DE  
MODELOS DE CRESCIMENTO BIOMÉTRICOS E  
AMBIENTAIS PARA *Araucaria angustifolia* NA FITORREGIÃO  
DO PLANALTO SERRANO, SC.**

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 e Tecnologia da Madeira.

**Banca examinadora**

Orientador/presidente:

---

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

Membro externo:

---

Dr. Luciano Farinha Watzlawick  
(UNICENTRO/Irati – PR)

Membro interno:

---

Dr. Geedre Adriano Borsoi  
(UDESC/Lages – SC)**Lages, SC 20/02/2015**



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por ter me guiado e iluminado pelo melhor caminho para conseguir chegar aonde estou.

Agradeço aos meus pais Gonzaga Minatti e Salete Maria Andreghetoni Minatti por todo apoio desde sempre e em tudo. Minha base, meu alicerce.

Agradeço a minha irmã Gheise Minatti por sempre confiar e estar ao meu lado.

Agradeço meu namorado Vitor Paulo Vargas pela paciência, pelo carinho, pelo amor e companheirismo.

Ao meu orientador André Felipe Hess pela amizade, paciência, por me orientar e confiar na minha capacidade e persistência de trabalho.

Agradeço aos meus amigos da vida, Gessiane Ceola, Jonas Inkotte, Marcio Gonçalves da Rosa, Luiz Paulo Rauber, Mariana Hugen Cechinel, Luiz Gonzaga Cechinel Junior, Jackson Vidaletti Gabriel, Ariane Andreola, Angela Gaa.

Aos meus colegas de trabalhos Pollyni Ricken, Gabriel Teixeira da Rosa, Erone Santos, Isadora Arruda, Walter Borges Júnior, Anieli Cioato de Souza, Dalciana Vicente e Morgana França.

Agradeço a UDESC-CAV, por ter me dado oportunidade de realizar o mestrado, e todos que nela trabalham.



Dedico este trabalho aos meus pais, Gonzaga e Salete, que são meu porto seguro, meus maiores exemplos de amor incondicional, minha base.



## RESUMO

MINATTI, Myrcia. **Dendrocronologia aplicada na geração de modelos de crescimento biométricos e ambientais para *Araucaria angustifolia* na fitorregião do planalto serrano, SC.** 2015. 127 f. 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, 2015.

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é uma espécie nativa da América do Sul, com importante valor social e econômico. Devido ao seu potencial de crescimento viabiliza ações de manejo sustentável, bem como propicia um papel fundamental no desenvolvimento econômico e cultural da região Sul do Brasil. A legislação atual impede a exploração dessa espécie, contudo sua madeira de excelente qualidade fundamenta a necessidade de estudos morfométricos e dendrocronológicos para se conhecer a estrutura da Floresta com Araucária, a capacidade produtiva e compreender a dinâmica de crescimento da espécie. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o crescimento no tempo de *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Catarinense, no estado de Santa Catarina e ajustar modelos biométricos e ambientais que expliquem o seu desenvolvimento e ações de manejo sustentado. Os dados foram coletados em fragmentos de floresta nativa localizada em três municípios, São Joaquim, Urupema e Painel. Foram amostradas 70 árvores por local. No campo foram feitas as medições de diâmetro a altura do peito, altura total, altura de inserção de copa e dos quatro raios de copa seguindo a orientação dos pontos cardinais com o uso de hipsômetro Trupulse 200. De cada árvore foram coletados dois rolos de incremento, perpendicularmente, para obtenção da idade e do incremento médio anual em diâmetro. Os índices

morfométricos demonstraram que os fragmentos estão em competição e, consequentemente menor produção fotossintética e capacidade produtiva. A análise de covariância demonstrou que há diferenças no padrão de crescimento, na capacidade produtiva e nos índices morfométricos da copa para cada local, havendo a necessidade de ajustar equações separadamente para minimizar erros de estimativa de prognose da produção. Os ajustes dos modelos foram com coeficiente angular positivo para a altura de inserção de copa e diâmetro de copa em função do diâmetro, sendo que as curvas de ajuste assimétricas entre as regiões indicam que os indivíduos maiores obtêm de forma desproporcional maior parte dos recursos e crescimento. O *PC* ajustou o coeficiente  $\Phi_1$ negativo para a altura total e para o diâmetro. Desta forma, quanto maior a altura e o diâmetro da árvore menor o percentual de copa e maior a idade ou dimensão para a espécie. Os anéis de crescimento foram medidos, contados e analisados. Para São Joaquim se obteve recuo máximo de 153 anos e incremento médio de  $0,340\text{cm.ano}^{-1}$ , para Urupema 62 anos e  $0,686\text{ cm.ano}^{-1}$  de incremento médio e Painel 68 anos e  $0,903\text{ cm.ano}^{-1}$  de incremento médio. A análise de covariância demonstrou que há diferenças no incremento médio anual em diâmetro, tanto em função do dap quanto para idade em cada local, havendo a necessidade de ajustar equações separadamente, indicando diferenças na forma de crescimento e na capacidade produtiva. Os ajustes de incremento-diâmetro, incremento-idade demonstraram coeficiente angular negativo, como resultado da maior dimensão e idade, tendo ocorrido a redução e estagnação do incremento. O incremento médio anual em diâmetro demonstrou correlação de Pearson negativa com a insolação total e temperatura média máxima para os três locais e com a precipitação total apenas em São Joaquim, e positiva para Urupema e Painel, indicando a importância das variáveis do ambiente no crescimento de araucária. A correlação para incremento com a base física e química do solo mostrou

correlação positiva com o cálcio, alumínio, soma de bases, matéria orgânica, pH 7,0, magnésio, carbono orgânico, fosfóro, potássio, CTC efetiva e areia justificando a qualidade do sítio no crescimento e produção para araucária. Os ajustes e equações geradas permitem concluir sobre a importância do meio ambiente e da capacidade do sítio no crescimento da espécie, bem como propiciam a sustentabilidade do manejo para colheita da madeira e impactos do manejo sobre os recursos do ecossistema florestal e a variação destes nas mudanças do crescimento ao longo da rotação.

**Palavras-chave:** **biometria, incremento, manejo florestal e floresta de araucária.**



## ABSTRACT

MINATTI, Myrcia. **Dendrochronology applied to the generation of biometric and environmental growth models for Araucaria angustifolia in fitorregião the mountainous plateau, SC.** 2015. 127 f. Dissertation (Masters in Forestry - Concentration Area: Forest Production and Wood Technology - University of the State of Santa Catarina Graduate Program in Forestry, Lages, 2015.

*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze is an indigenous specie of South America with important socio-economical value. It has a growth potential which enables sustainable management actions and plays a role in the cultural and economical development of Brazilian Southern. Current laws prevent the exploitation of this specie; however its good quality wood based upon the need of dendrochronological and morphometric studies to improve knowledge about structure, productive capacity, and to understand the dynamics of Araucaria in forests. Thereby, our main goal was to analyze the *A. angustifolia* growth across time in Santa Catarina plateau and to fit biometric and environmental models which may explain its development may support strategies of sustainable management. Data were obtained in fragments of indigenous forest in three sites: São Joaquim, Urupema, and Painel. Seventy trees per site were sampled. Diameter at breast height; total height; height at canopy insertion; and the four canopy rays following orientation of cardinal directions with a Trupulse 200 hypsometer. In each tree, we collected two growth increment rolls, perpendicularly, to verify the age and the average annual increment of diameter. Morfometric indexes showed that forest fragments were in competition, with low photosynthetic production and growth capacity. Covariance analysis shown differences for each site in growth pattern, productivity, and in canopy morphometric indexes. For this

reason, adjustment equations were fit apart to mitigate the estimative errors of prognosis in production. Adjustments of models presented positive slope for height at canopy insertion and canopy diameter. Assimetric adjustments among sites indicate that higher individuals get most of resources to grown in an out of proportion way.  $PC$  adjusted a negative  $\Phi$  coefficient for total height and for diameter. Therefor as higher the height and diameter of tree as lower the canopy percent and higher the age or dimension of specie. Annual growth rings were measured, accounted, and analyzed. Maximum recue and average increment were 153 years and  $0,340 \text{ cm yr}^{-1}$  for São Joaquim; 62 years and  $0,686 \text{ cm yr}^{-1}$  for Urupema; and 68 years and  $0,903 \text{ cm yr}^{-1}$  for Painel. Covariance analysis revealed differences in the annual diameter increment, either as a function of diameter as age for each site, suggesting changes in growth pattern and forest productivity. Adjustments increment x diameter and increment x age relationships presented linear negative relationship due to advanced age, which provokes reduction and stagnancy of increment. Average annual increment of diameter showed negative correlation with insolation and average maximum temperature for all sites; only São Joaquim site presented negative correlation with annual precipitation; on the other hand, for Urupema and Painel there was a positive relationship. This points the importance of environmental variables on *A. angustifolia* growth. In addition, Pearson correlation showed positive relationship between calcium, magnesium, phosphorus, potassium, and cation exchange capacity (CEC) into the soil with Araucaria growth and timber volume indicating the influence of site soil quality on plant growth and productivity. Adjustments allowed concluding about the importance of the environment and its site-specific variables which affect *Araucaria* growth. Such variables also provide management tools to allow a sustainable timber harvest

mitigating impacts on forest ecosystem and their fluctuation on changes of growth during rotation.

**Key-words:** **biometry; increment; and generalized linear models.**



## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

Figura 1 - Localização das áreas de estudos, em Santa Catarina. ....	42
Figura 2 - Mapa da área de estudo no município de São Joaquim, com destaque para as árvores amostradas. ....	44
Figura 3- Mapa da área de estudo no município de Urupema e as árvores amostradas. ....	45
Figura 4- Mapa da área de estudo no município de Urupema e as árvores amostradas. ....	45
Figura 5- a) Nível e inclinação para relação entre altura de inserção de copa e diâmetro de araucária obtido com os valores ajustados; b) Nível e inclinação para relação entre diâmetro de copa e diâmetro utilizando os valores ajustados. ....	61
Figura 6- a) relação entre PC% e ht ajustado e observado para araucária nos três locais de estudo, b) relação entre PC% e d para araucária em sua região de ocorrência; c) análise residual do ajuste para PC% (ht), d) análise residual do ajuste para PC% (d). ....	64
Figura 7- Mapa com a localização das áreas de estudos, em Santa Catarina.....	83

Figura 8- Mapa da área de estudo no município de São Joaquim, com destaque para as árvores amostradas.....	84
Figura 9- Mapa da área de estudo no município de Urupema com as árvores amostra.....	85
Figura 10- Mapa da área de estudo no município de Painel, com destaque para as árvores amostradas. ....	85
Figura 11- a) relação entre incremento médio em diâmetro em função d para araucária para os três locais; b) relação entre incremento função de t utilizando os valores ajustados para os três locais.....	95
Figura 12- Gráficos de distribuição dos resíduos do ajuste do id-d para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> , em SC. .....	97
Figura 13- Gráficos de distribuição dos resíduos do ajuste do id-t para indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> , em SC. .....	97
Figura 14 - Crescimento em d para cada árvore dentro das cinco classes obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para São Joaquim. ....	100
Figura 15- Crescimento em DAP para cada árvore dentro das três classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para Urupema. ....	101

Figura 16- Crescimento em DAP para cada árvore dentro das quatro classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para Painel..... 103



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.....	44
Tabela 2- Expressões da função <i>desvio</i> para os modelos utilizados no ajuste dos dados.....	45
Tabela 3- Variáveis biométricas e morfométricas de auxílio ao manejo de araucária na fitorregião de ocorrência,SC.....	47
Tabela 4- Análise de covariância para altura de inserção de copa e diâmetro de copa de araucária das três áreas de estudo em sua fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.....	51
Tabela 5- Coeficientes e estatística do ajuste da altura de inserção de copa e diâmetro de copa em função do diâmetro de araucária na fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.....	
Tabela 6- Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.....	82
Tabela 7- Expressões da função <i>desvio</i> para os modelos utilizados no ajuste dos dados.....	83

Tabela 8- Análise de covariância para incremento em diâmetro em função de $d$ e idade (t) de araucária das três áreas de estudo em sua fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.....	85
Tabela 9- Coeficientes e estatística do ajuste do incremento em diâmetro em função do diâmetro e idade para araucária na fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.....	85

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

FOM	Floresta Ombrófila Mista
MLG	Modelos Lineares Generalizados
N	Nitrogênio
K	Potássio
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
B	Boro
P	Fosforo
M.O	Matéria orgânica
C.O	Carbono orgânico
Al	Aluminio
Mg	Magnésio
Na	Sódio
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
°C	Graus centígrados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
SJQ	São Joaquim
URU	Urupema
PNL	Painel
Rc	Raio de copa
Ac	Área de copa
Cc	Comprimento de copa
Pc	Percentual de copa
Fc	Formal de copa
NP	Número potencial de árvores
IS	Índice de Saliência
GE	Grau de Esbeltez
IA	Índice de Abrangência
HIC	Altura de inserção de copa
ID	Incremento médio em diâmetro
DAP ou d	Diâmetro a altura do peito
Dc	Diâmetro de copa

H	Altura total
cm	Centímetros
m	Metros
t ou T	Idade
GLM	<i>Generalized Linear Models</i>
SC	Santa Catarina
PT	Precipitação Total
Tmmín	Temperatura média mínima
Tmmáx	Temperatura média máxima
NPD	Número de preipitação em dias
Dens	Densidade do solo
IMA	Incremento médio anual
r	Correlação de Pearson
ha	Hectare
N	Norte
S	Sul
L	Leste
O	Oeste
AIC	Critério de Informação de Akaike
BIC	Critério de Informação Bayesiano
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
SAS	Statistical Analysis System
TSAP	<i>Time Series Analysis Program</i>
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Carina

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>
<b>1 RELAÇÃO ENTRE MORFOMETRIA E DIMENSÃO DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO PARA <i>Araucaria angustifolia</i>.....</b>	<b>37</b>
1.1 RESUMO.....	37
1.2 INTRODUÇÃO. ....	39
1.3 MATERIAL E MÉTODOS. ....	42
1.3.1 Área de estudo.....	42
1.3.2 Coleta de dados.....	47
1.3.3 Análise de dados.....	50
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	52
1.5 CONCLUSÕES. ....	65
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>2 DENDROCRONOLOGIA E MODELOS AMBIENTAIS PARA <i>Araucaria angustifolia</i>.....</b>	<b>75</b>
2.1 RESUMO.....	75
2.2 INTRODUÇÃO. ....	78
2.3 MATERIAL E MÉTODOS. ....	82
2.3.1 Área de estudo.....	82
2.3.2 Coleta de dados.....	87
2.3.3 Análise de dados.....	89
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	92
2.4.1 Análise de covariância do incremento médio em diâmetro.....	92
2.4.2 Análise dendrocronológica do crescimento.....	98
2.4.3 Correlação e modelagem entre incremento médio diámetrico e fatores ambientais.....	104
2.5 CONCLUSÕES. ....	108
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>110</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>119</b>

**APÊNDICES.....121**

## INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é um ecossistema florestal da região sul do Brasil, tendo como principal característica a presença da espécie conífera *Araucaria angustifolia*. Esta tipologia florestal também é conhecida popularmente como Floresta com Araucária ou Mata dos Pinhais. O termo Floresta Ombrófila Mista foi inicialmente utilizado por Veloso e Goes Filho (1982) e adotado pelo IBGE (2012) na classificação fisionômico-ecológica da vegetação brasileira.

A *Araucaria angustifolia* (Bertol.)Kuntze, popularmente conhecida como Pinheiro-do-Paraná foi uma das espécies nativas da flora brasileira mais explorada comercialmente (Sousa,2000). No final do século XIX e metade do século XX, foi utilizada de modo irregular, sem manejo, sendo o corte de caráter extrativista um dos fatores responsáveis pela diminuição das reservas de florestas naturais na sua região de ocorrência (SANTOS, 2006).

Trata-se de uma árvore perenifólia, heliófita pioneira, típica de regiões de altitude, com fuste retilíneo, cilíndrico, às vezes, bifurcado, contendo quatro a oito verticilos na inserção dos galhos, que se destacam com a idade. Planta dióica, raramente monóica por traumas ou doenças, apresenta estruturas reprodutoras organizadas em estróbilos masculinos e femininos (CARVALHO, 2003).

A araucária atinge de 20 a 50 metros de altura e um a dois metros de diâmetro. Sua copa apresenta ramos primários cilíndricos, curvos para cima, sendo os inferiores maiores que os superiores; ambos com ramos secundários (grimpas), alternos e agrupados no ápice (REITZ e KLEIN, 1966). A espécie possui fuste com casca espessa, acinzentada, áspera e profundamente fendilhada, descama em placas retangulares e em lâminas na parte superior do tronco (MARCHIORI, 2005).

A araucária encontra-se em altitudes entre 600 e 800 m, subindo até 1.200 e 1.800 m na Serra da Mantiqueira. O clima na área de ocorrência natural é classificado como temperado, no qual a temperatura média anual varia de 13 a 18°C, caracterizados por verões frescos e invernos relativamente frios até -8°C e também ocorrendo poucas geadas (GOLFARI, 1967).

Segundo DE HOOGH (1981) os povoamentos de melhor crescimento geralmente ocorrem em latossolos, essencialmente determinados pela boa estrutura do solo, enquanto litossolos e solos hidromórficos, em consequência das restrições físicas e fisiológicas para o desenvolvimento radical, produzem condições de crescimento extremamente pobres. O nutriente mais importante que limita o crescimento de araucária é o N, seguida pela oferta de P. De menor importância são os nutrientes K, Ca, Cu e B. Por causa disso, o melhor crescimento da espécie observa-se em áreas de agricultura abandonadas, florestas nativas e secundárias.

Por ser uma árvore nativa e inserida na lista de espécies em extinção, sua produção e manejo sofrem pressões das legislações ambientais, o que gera desinteresse do produtor rural, substituindo os plantios de araucária pelos de *Pinus* e *Eucaliptos*.

O crescimento das árvores depende dos fatores genéticos da espécie interagindo com o ambiente, compreendendo, desta forma, fatores climáticos: temperatura, precipitação, vento e insolação; solo: características físicas, químicas e biológicas; topográficos: inclinação, altitude e exposição; competição: influência de outras árvores, vegetação rasteira e animais (FINGER, 2006).

Conhecer o padrão de crescimento da floresta ou de uma espécie florestal traduz-se em benefícios ambientais, sociais e econômicos pela aplicação das técnicas mais adequadas ao manejo florestal, considerando as especificidades de cada caso. Conseguir expressar matematicamente o

crescimento de variáveis dendrométricas de uma espécie no tempo e, se possível, agregando a variáveis ambientais, reflete a capacidade de administrar florestas em função das necessidades do homem e mais bem ainda sua habilidade de não depredar o meio ambiente (HESS, 2006).

As formas e as dimensões das árvores e a sua modificação, com o tempo, adquirem importância, dada a possibilidade de comporem modelos de concorrência e de crescimento (PRETZSCH, 1995).

Os estudos de morfometria permitem descrever as relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, julgar o grau de concorrência de um povoamento e, ainda, inferir sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo (DURLO e DENARDI, 1998).

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

Em conjunto com a morfometria e de importância para o manejo é necessário o emprego da dendrocronologia, que possibilita a detecção e a análise dos anéis de crescimento do lenho das árvores e de peças de madeira, incluindo a aplicação da informação registrada em sua estrutura para a reconstrução do crescimento das árvores, para estudos da relação do incremento com as mudanças das variáveis do ambiente. Essa ciência desenvolveu-se inicialmente com estudos das árvores em florestas de origem temperada (FRITTS, 1977; SCHWEINGRUBER, 1988). No entanto, nas últimas décadas existem inúmeros estudos aplicados para árvores de espécies florestais em áreas tropicais e subtropicais, resultando em uma estabilização e ampliação da dendrocronologia nestas regiões

(BOTOSSO *et al.*, 2001), sendo o Brasil um país com potencial dendrocronológico (TOMAZELLO FILHO *et al.*, 2009).

A dendrocronologia também é muito estudada no ecossistema mata atlântica. Na Floresta Ombrófila Mista várias espécies vêm sendo foco de estudos nos últimos anos, incluindo a espécie interesse deste trabalho, a *Araucaria angustifolia* (STEPKA, 2012; MATTOS *et al.*, 2007; OLIVEIRA, 2007; HESS, 2006). Segundo Mattos (2011), a araucária apresenta anéis de crescimento bem visíveis, que facilitam a contagem da idade. Segundo Wehr e Tomazello Filho (2000) a *Araucaria angustifolia* possui um potencial dendrocronológico excelente para estudos sobre o xilema, microdensidade e um sinal forte do clima na atividade cambial anual em terras altas do sul do Brasil (Oliveira *et al.*, 2009).

Para Silva e Paula Neto (1979), uma das mais importantes características de um povoamento florestal é sem dúvida alguma, a idade, pois, é por meio dela que o técnico florestal pode avaliar o incremento em termos de volume, diâmetro ou altura de uma dada espécie em um determinado local. A idade do povoamento também precisa ser conhecida quando se deseja construir curvas de índice de sítio, e comparação das capacidades produtivas de diferentes locais.

O objetivo geral desse trabalho foi analisar o crescimento no tempo de *Araucaria angustifolia* na fitorregião do Planalto Catarinense, no estado de Santa Catarina, com o emprego da dendrocronologia e do ajuste de modelos biométricos e ambientais que expliquem o desenvolvimento e crescimento da espécie, bem como sua estrutura e dinâmica.

Os objetivos específicos foram: ajustar modelos matemáticos do crescimento relacionado às variáveis ambientais e biométricas das árvores, mapear e comparar se o crescimento é semelhante ou diferente para as regiões através do emprego da análise de covariância, construir as curvas de crescimento no tempo e por região de estudo e obter estimativas de idade e incremento médio anual em diâmetro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, v.1, 1039p, 2003.
- BOTOSO, P.C.; TOMAZELLO FILHO, M. Aplicação de faixas dendrómetricas na dendrocronologia: avaliação da taxa e do ritmo de crescimento do tronco de árvores tropicais e subtropicais. In: MAIA, N.B.; MARTO S,H,L.; BARELLA, W. **Indicadores ambientais:** conceitos e aplicações. São Paulo: EDUC, 2001, p. 145-171.
- DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em matasecundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55-66, nov.1998.
- FRITTS, H.C. **Tree rings and climate.** New York. Academic Press, 1976. 567p.
- FINGER, C. A. G. **Biometria florestal.** Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 2006.284 p.
- GOLFARI, L. Coniferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v.6, p. 7-62, 1967.
- HESS, A. F. **Inter-relações no crescimento de Araucaria angustifolia (Bertol.) O. Kuntze em diferentes locais do Rio Grande do Sul.** 2006. 178 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HOOGH, R. J. **Site-Nutrition-Growth relationships of *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze in southern Brazil.** 1981. 161 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Albert-Ludwigs-Universität, 1981.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Serie Manuais Tecnicos em Geociencias, n.1, Rio de Janeiro, 2012. 92 p.

MARCHIORI, J.N.C. **Dendrologia das Gimnospermas.** Santa Maria: Ed. Da Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 161p.

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

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).

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

OLIVEIRA, J. M.; ROING, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. *Austral Ecology*. 2009.

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

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

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense: Araucariáceas.** Itajaí:Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63 p.

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

SILVA, J. A. A.; PAULA, N. F.; **Princípios básicos de dendrometria.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE. 191 p.1979.

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.

SANTOS, W. C. **Análise de características dendrométricas e fatores edáficos no crescimento e produção de um povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze.** 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUSA, V. A. **Population genetic in *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze.** 1 ed. Göttingen: Cuvillier, 2000.

VELOSO, H. P., GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: Classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. **Boletim Técnico Projeto Radambrasil, Série Vegetação**, v.1, p.1-80, 1982.

TOMAZELLO FILHO, M.; RIOG, F.; ZEVALLOS, P. Dendrocronología y dendroecología tropical: Macro histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, La Paz, v.44, n.2, p.73-82, 2009.

WEHR, N. J.; TOMAZELLO-FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. através da microdensitometria deraios X. **Scientia Forestalis**, v. 58, p. 161-170. 2000.



## CAPÍTULO 1

### **RELAÇÃO ENTRE MORFOMETRIA E DIMENSÃO DO DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO PARA *Araucaria angustifolia*.**

#### 1.1 RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para o entendimento das relações entre morfometria e dimensão individual da *Araucaria angustifolia*. Os dados foram coletados em três povoamentos nativos localizados nosmunicípios de São Joaquim, Urupema e Painel em Santa Catarina. No campo foram selecionadas 70 árvores de cada local, e feitas às medições do diâmetro, altura total, raios de copa e altura de inserção de copa e após calculados os índices morfométricos. O formal de copa para Painel e São Joaquim foi de 26,21 e 37,36, com alta produção e crescimento e para Urupema foi de 59,12. O índice de grau de esbeltez para São Joaquim e Urupema apresentaram valores de 57,41 e 56,6 caracterizando alto grau de concorrência e competição e para o percentual de copa se obteve valoresdemostrando menor produtividade de crescimento da floresta.Os dados de altura de inserção de copa, diâmetro de copa e percentual de copa foram submetidos à análise de covariância para verificar se há necessidade de um único modelo ou de modelos separados para cada local. A análise de covariância mostrou que há diferençasna relação da altura de inserção de copa e diâmetro de copa para cada local. Isto é uma forte evidência de competição assimétrica e que a vitalidade do crescimento e a produtividade são específicas para cada local de ensaio. Essa informação é importante para o manejo florestal sustentado da espécie.

**Palavras-chave:**covariância, morfometria, manejo florestal.

## **RELATIONSHIP BETWEEN MORPHOMETRY AND DIAMETER AT BREAST HEIGHT FOR *Araucaria angustifolia***

### **ABSTRACT**

The current study was performed aiming to understand morphometry *vs.* one-to-one dimension relationships of this specie. Three indigenous stands in São Joaquim, Urupema and Painel sites were sampled. In each field, 70 trees were measured with respect to diameter, height, canopy rays and height at breast insertion. Afterwards, morphometric indexes were estimated. Crown formal for Painel and São Joaquim were 26.21 and 37.36 with high production and growth indexes; for Urupema such index was equivalent to 59.12. The slenderness degree index for São Joaquim and Urupema were equal to 57.41 and 56.6 which features the high competition among plants; for the crown percentage were accounted values hilighting lower growing of trees. Height at insertion crown, crown diameter and crown proportion were submitted to the covariance analysis to verify the need of an unique model or separated models for each site. Analysis showed differences with respect to the height at crown insertion and crown diameter. This is a strong evidence of assimetric competition; moreover indicates that growth vitality and yield were site-specific. Such information is important to improve sustainable management of forests where *Araucaria* grows.

**Key-words:** covariance, morphometry, Forest management.

## 1.2 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista integra o domínio do bioma Mata Atlântica constituindo um ecossistema regional complexo e variável que acolhe uma grande variedade de espécies, algumas das quais endêmicas. Sua feição é caracterizada por dois estratos arbóreos: um emergente, dominado por *A. angustifolia* (pinheiro-do-paraná), e outro inferior, dominado por variedades de canela e cedro-rosa e um estrato arbustivo no subosque, onde predomina o xaxim (WATZLAWICK *et al.*, 2006).

Outrora extensas áreas de Floresta Ombrófila Mista que recobriam o Planalto Sul-Brasileiro eram entrecortadas por manchas de campos naturais remanescentes das alterações climáticas ocorridas durante o Quaternário (REITZ e KLEIN, 1966; KLEIN, 1960).

A *Araucaria angustifolia* pertence à família Araucariaceae, e é uma espécie que não passa despercebida por quem passa pelos planaltos do Sul do Brasil. O tamanho de alguns indivíduos, a beleza e a arquitetura peculiar fazem dessas matas um ecossistema único (DILLENBURG *et al.*, 2009). É conhecida popularmente por Pinheiro, Pinho, Pinheiro do Paraná, Pinheiro brasileiro, entre outros nomes (REITZ e KLEIN, 1966).

O crescimento da floresta ao longo de um determinado período é dado pela atividade das árvores vivas. No entanto, seu somatório não reflete o crescimento da floresta como um todo, pelo fato de existirem árvores que morrem, quebram ou são recrutadas no período de crescimento (HUNT *et al.*, 2002). O crescimento das árvores, mais convenientemente medido pelo incremento da circunferência ou diâmetro à altura do peito, é de grande interesse para o estudo da dinâmica florestal.

Povoamentos inequíâneos possuem um elevado nível de complexidade e diversidade, com uma vasta gama de espécies, nas mais variadas alturas e tamanhos de copa, resultando em

um perfil vertical irregular do povoamento. Além disso, cada espécie apresenta um conjunto de características singulares, como ritmo de crescimento, necessidades por nutrientes, luz e espaço para crescimento, em um período de desenvolvimento bem mais longo quando comparado a uma floresta pura (KIERMAN *et al.*, 2008).

Variáveis morfométricas e dendrométricas segundo Bauhus, 2009, Pretzsch *et al.*, 2014, confirmam que as perturbações naturais (mortalidade, queda de árvores, ataque de insetos, desbastes) abrem espaços no dossel, os quais modificam condições do ambiente (luminosidade, temperatura, recursos disponíveis) seguindo de competição por esse espaço, requisitado pelas árvores e ocupada pelo vizinho mais competitivo, ocasionando ainda variações nas taxas de crescimento.

Para entender a estrutura e dinâmica de florestas e as interações competitivas entre as espécies de árvores ali existentes é importante entender, no contexto da fragmentação, as relações entre diâmetro do fuste, altura da árvore e área da copa, entre outras medidas, afetadas pela ontogenia característica de cada espécie de árvore (Shugart *et al.*, 1981, O'Brien *et al.*, 1995).

A estrutura do dossel e morfologia das árvores afetam as condições ambientais dentro do povoamento, e o crescimento das árvores, e por isso, muitas das funções e serviços da floresta (Pretzsch, 2014).

Assmann (1961) foi um dos pioneiros na condução de estudos sobre formas, dimensões e relações morfométricas das árvores. No Brasil, são poucos os trabalhos que estudam tais aspectos e que procuram relacionar variáveis morfométricas com variáveis de fácil obtenção, como o diâmetro à altura do peito (dap). Entre os trabalhos destacam-se os de Durlo e Denardi (1998), Spathelf *et al.*, (2000), Durlo (2001), Nutto (2001), Nutto *et al.*, (2001) e Durlo *et al.*, (2004).

A determinação do espaço horizontal nas florestas e a sua relação com a dimensão das árvores têm sido preocupação de vários pesquisadores (DURLO *et al.*, 2004; NUTTO, 2001; NUTTO *et al.*, 2001; SCHNEIDER, 2004). Diversos índices obtidos entre as dimensões da copa e do diâmetro buscam descrever a capacidade de crescimento e produção das árvores e da floresta. Esses índices são importantes nos estudos de competição em povoamentos florestais, sustentando futuras decisões para tomadas de decisão.

Para os parâmetros da forma de copa, existem vários trabalhos que relacionam a forma da copa das árvores com a estabilidade, a vitalidade e a produtividade, além de permitir a criação de modelos de concorrência e crescimento dos indivíduos (DURLO, 2001). Além disso, Durlo e Denardi (1998); Tonini e Arco-Verde (2005); Orellana e Koehler (2008), Roman *et. at.*, (2009) apresentam o diâmetro, a projeção, o volume e a porcentagem de copa, o grau de esbeltez e o índice de saliência como descriptivos da morfometria das árvores.

Segundo Orellana e Koehler (2008), Wink (2012) o estudo das relações morfométricas de uma espécie florestal fornece os subsídios básicos para estimativas da biomassa de copa, onde variáveis como: altura total da árvore, altura de copa e o diâmetro de copa podem ser correlacionados com a altura total e o diâmetro à altura do peito ( $d$ ).

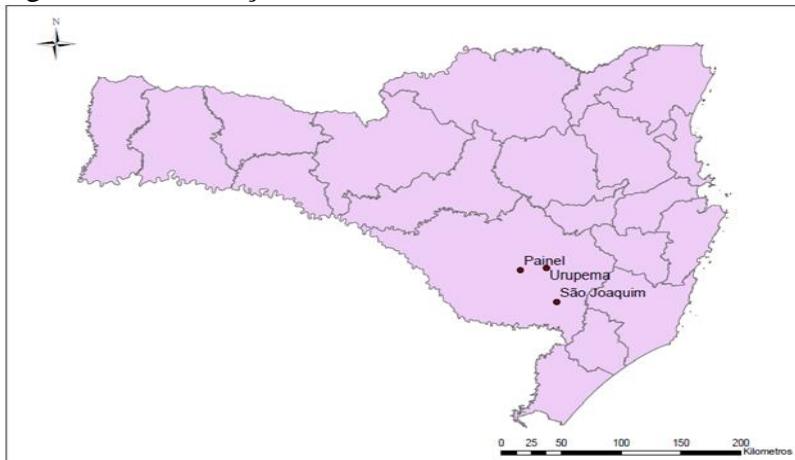
Os objetivos específicos deste capítulo foram realizar a análise de covariância para altura de inserção de copa, diâmetro de copa e ajustar modelos de regressão das relações morfométricas e de dimensão, visando predizer e maximizar o manejo de araucária para a fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.

## 1.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.3.1 Área de Estudo

A área de estudo são três povoamentos naturais de *Araucaria angustifolia* localizadas nos municípios de São Joaquim, Urupema e Painel em Santa Catarina (Figura 1), em altitudes variando de 900m a 1.400m na região do Planalto Serrano de Santa Catarina.

Figura 1 - Localização das áreas de estudos, em Santa Catarina.



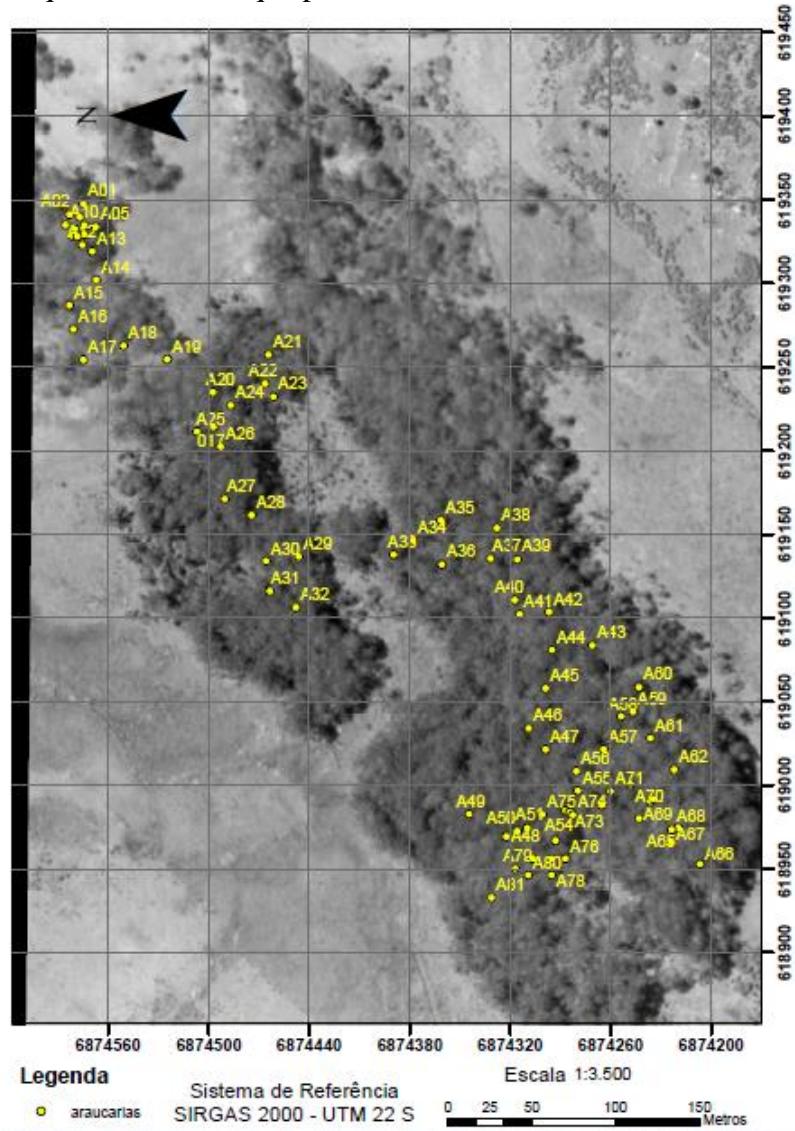
Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A localização das áreas do ensaio e as coordenadas geográficas podem ser vistas na Figura 2, 3 e 4. São Joaquim apresenta altitude de 1.353m, Urupema 1.245m e Painel a uma altitude de 1.145m.

De maneira geral, para as regiões segundo a classificação de Köppen, o clima é caracterizado predominantemente como sendo do tipo Cfb, temperado propriamente dito, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico) com possibilidades de geada. Verões frescos com temperatura média do mês mais quente

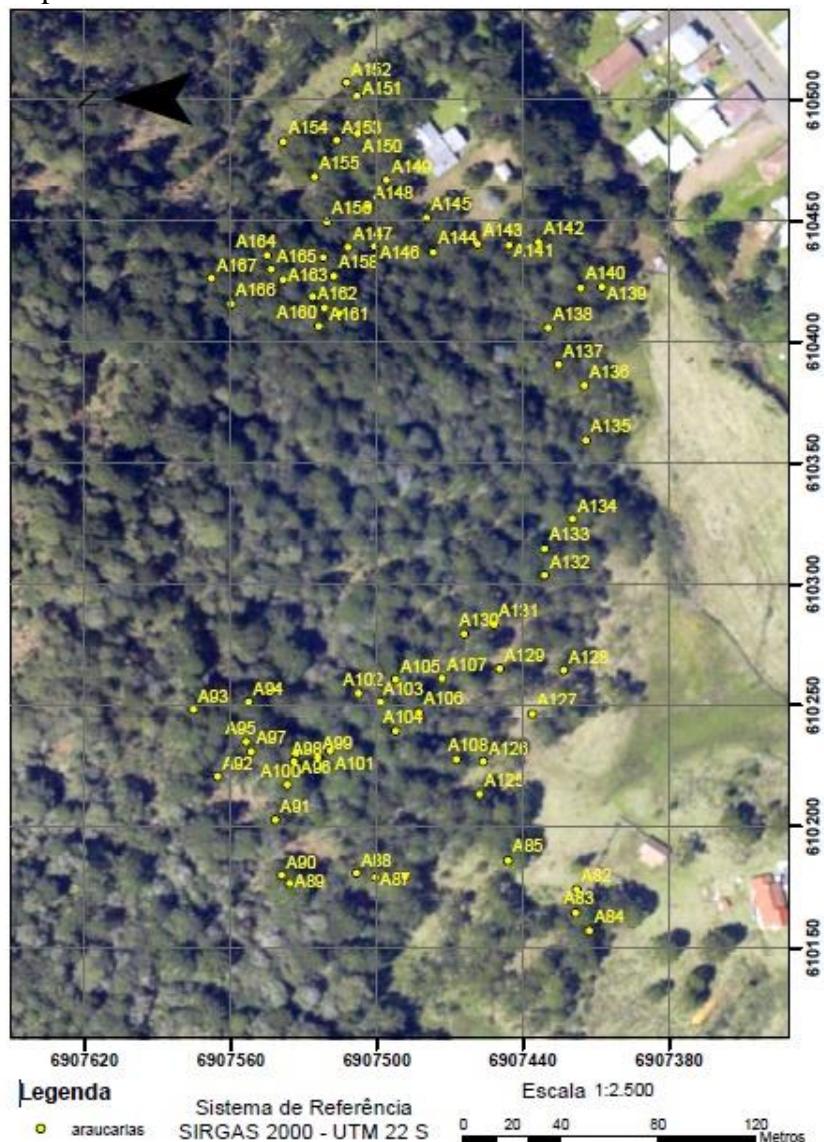
abaixo de 22°C e sem estação seca definida. A temperatura média anual da região é de 15,5°C, tendo como média das mínimas do mês mais frio temperaturas entre 5 a 8°C, média das máximas do mês mais quente entre 22 a 31°C e mínima absoluta de 12°C negativos. A precipitação média anual é de 1.400 mm. A região pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pelotas (Epagri, 2002).

Figura 2 - Mapa da área de estudo no município de São Joaquim, com destaque para as árvores amostradas.



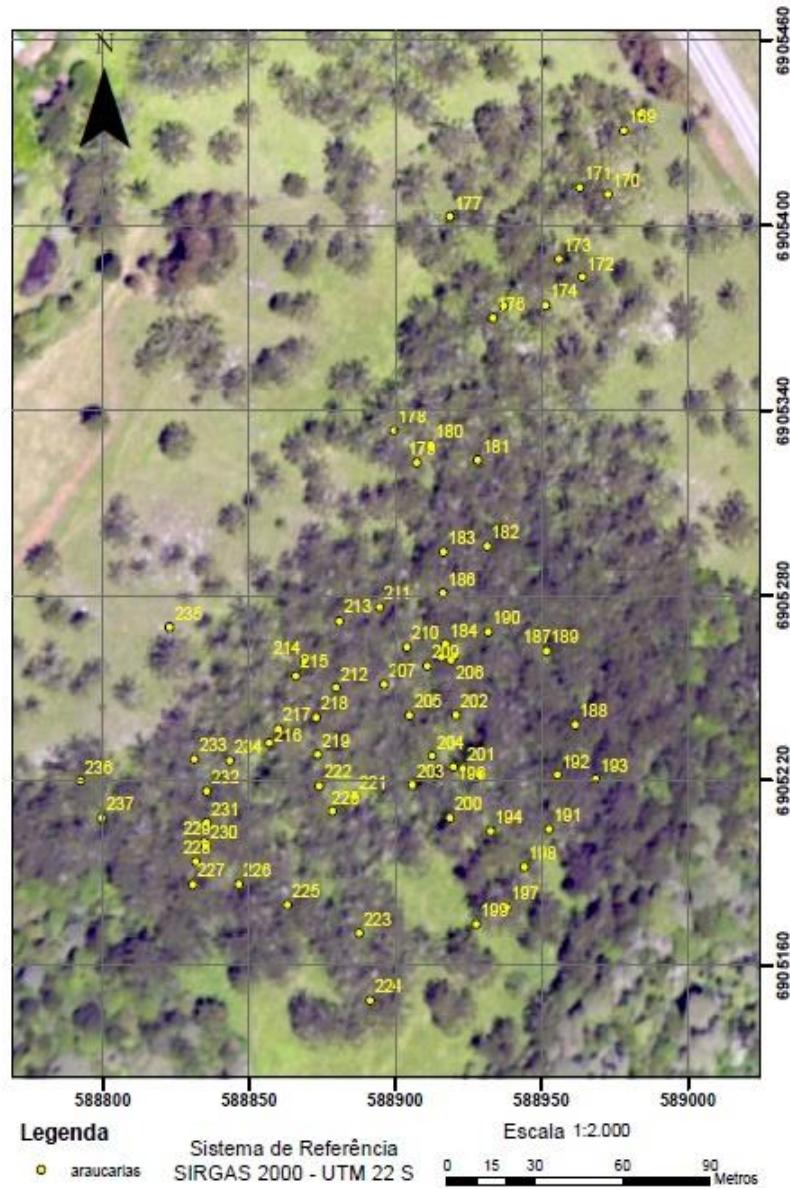
Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Figura 3- Mapa da área de estudo no município de Urupema e as árvores amostradas.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Figura 4- Mapa da área de estudo no município de Urupema e as árvores amostradas.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A vegetação predominante da região é a Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) (IBGE, 2012), que é um tipo de vegetação do Planalto Meridional, apresentando disjunções florísticas em refúgios situados nas Serras do Mar e Mantiqueira e que no passado se expandia mais ao norte, pois a família Araucariaceae apresentava dispersão paleogeográfica que sugere ocupação diferente da atual. Segundo IBGE (2012) a região de estudo é identificada a Formação de Floresta Ombrófila Alto-Montana, que comprehende as altitudes superiores a 1.000 m.

Os solos predominantes para a cidade de São Joaquim são classificados como Associação Neossolo Litólico+ Cambissolos Háplicos + Neossolos Litólicos Eutróficos, relevo forte ondulado (substrato efusivas da Formação Serra Geral) toda a 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 efuvivas da Formação Serra Geral) + Nitossolo Bruno distrófico, textura muito argilosa, relevo ondulado. E em Painel os solos predominantes são classificados como Noessolos Litílicos Distroúmibricos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivas de Formação da Serra Geral) + Cambissolos Háplicos, tesxtura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2012).

### **1.3.2 Coleta de dados**

No levantamento dos dados foram selecionadas 70 árvores em cada área de estudo (área amostrada SJQ (São Joaquim) = 4,1 ha, URU (Urupema) = 4,3 ha e PNL (Painel) = 2,2 ha) com o objetivo de obter árvores de maior diâmetro e,

consequentemente, maior número de anéis de crescimento no tempo. Em cada unidade amostral os indivíduos foram plaqueados e posicionados no terreno com o uso do receptor de sinais de GPS (Global Positioning System) Garmin, do tipo navegação.

De cada indivíduo em cada local foram coletados os dados das variáveis de diâmetro, a altura total e a altura de inserção de copa e as medições de quatro raios de copa. Para avaliar a intensidade amostral da área e saber o número de árvores que deveriam ser medidas para atingir a suficiência amostral, foi utilizada a equação (SANQUETTA *et al.*, 2014), com nível de confiança de 95% e erro máximo amostral de 5%;

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

Sendo:

$n$  = número de diâmetros amostrais a ser medido;

$t$  = valor de  $t$  de student tabelado;

$s_x^2$  = variância;

$E$  =  $(LE * \bar{x})$ ,  $LE$  = limite do erro de amostragem admitido,  $\bar{x}$  = média aritmética dos valores observados.

Com as medições das variáveis dendrométricas foram calculados os seguintes índices morfométricas:

*Raio de copa médio (rc):* foram tomadas as medidas dos quatro pontos cardinais (Norte, Sul, Leste e Oeste) das árvores dominantes e também das competidoras, com o auxílio da bússola e do aparelho Trupulse. Considerando cada raio como a distância do tronco até o ponto extremo da projeção da copa. Com as quatro medições, fez-se uma média, sendo definido o raio de copa médio da árvore:

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

Sendo que:  $rc$  = raios da copa, em metros.

*Diâmetro da copa (Dc):* o diâmetro da copa foi calculado pela duplicação do valor do raio médio da copa:

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

Sendo que:  $rc$  = raio da copa médio, em metros.

*Área de projeção de copa (Ac):* calculada utilizando os raios médios de copa:

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

Sendo que:  $rc$  = raio da copa médio, em metros.

*Comprimento de copa:* o comprimento de copa é obtido pela diferença da altura total e a altura da inserção do primeiro galho vivo:

$$Cc = h - hi$$

Sendo que:  $h$  = Altura total, em metros e  $hi$  = altura de inserção do primeiro galho vivo.

*Percentual de copa:* a proporção da copa resultou do cálculo pela razão entre o comprimento da copa e a altura total da árvore, em percentagem:

$$Pc = \frac{Cc}{h} * 100$$

Sendo que:  $cc$  = comprimento de copa, em metros e  $h$  = altura total da árvore.

*Formal de copa:* o formal de copa foi obtido pelo cálculo da razão entre o diâmetro de copa e o comprimento da copa:

$$Fc = \frac{dc}{cc}$$

Sendo:  $dc$  = diâmetro de copa, em metros e  $cc$  = comprimento de copa.

*Número potencial de árvores por hectare para cada área de projeção de copa (NP):* calculada utilizando os raios médios de copa:

$$NP = \frac{10.000}{Ac}$$

Sendo que:  $Ac$  = área de projeção da copa, em metros quadrados.

*Índice de Saliência (IS):* calculada pela razão entre o diâmetro de copa e o diâmetro a altura do peito:

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

Sendo que:  $Dc$  = diâmetro da copa, em metros e  $d$  = diâmetro a altura do peito, em centímetros.

*Grau de esbeltez (GE):* calculada pela razão entre o diâmetro de copa e a altura:

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

Sendo que:  $Dc$  = diâmetro da copa, em metros e  $h$  = altura, em metros.

*Índice de Abragência:* é calculado pela razão entre diâmetro de copa e a altura total da árvore:

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

Sendo que:  $dc$  = diâmetro da copa, em metros;  $h$  = altura total da árvore, em metros.

### 1.3.3 Análise de dados

Os dados foram submetidos ao exame dos condicionantes da regressão, pelo teste de Shapiro-Wilk, Durbin-Watson e teste de White, para ajustar equações da relação entre forma e dimensão. Em caso de não atender os critérios da regressão se utilizou ajuste pelo uso dos modelos lineares generalizados (MLG), nos componentes aleatórios Poisson e Gamma e função de ligação identidade e logarítmica. Todas as análises estatísticas foram processadas no programa SAS 9.3.

Os modelos de  $PC$  foram gerados em função da  $hte$   $d$ , enquanto os de  $HIC$  e  $Dc$  em função do  $d$ . Também se realizaram a análise de covariância para testar as diferenças de nível e inclinação do ajuste da relação entre  $PC$ ,  $HIC$  e  $Dc$  em

função do  $d$ , e, verificar a necessidade de ajuste de equações em separado ou não para cada local de estudo.

Na análise de covariância foram realizados os testes de hipóteses, primeiro para verificar se havia ou não diferença significativa de inclinação entre as regressões. Caso não existisse diferença de inclinação, o segundo teste de hipótese foi realizado para verificar a não diferença de níveis entre as regressões (SCHNEIDER, 1998). Nos MLG a situação experimental é expressa por uma variável aleatória  $Y$  de interesse, denominada variável resposta ou dependente e um vetor  $x = (x_1, \dots, x_k)^T$  de variáveis explicativas designadas por covariáveis ou variáveis independentes que acredita-se explicar parte da variabilidade inerente a  $Y$  (TURKMAN e SILVA, 2000).

A escolha da função de ligação depende do tipo de resposta e do estudo em particular. Algumas das principais funções de ligação são: identidade, função quadrática, raiz quadrada, expoente, logística, logarítmica entre outras. No presente trabalho para ajuste dos dados serão utilizados e avaliados os modelos lineares generalizados com componente aleatório Poisson e Gamma e as funções de ligação identidade e logarítmica como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.

Funções de ligação	Formulação
Identidade	$\mu$
logarítmica	$\ln(\mu)$

A qualidade do ajuste de um MLG é avaliada através da função *desvio*. Um valor pequeno para a função de desvio indica que, para um número menor de parâmetros, se obtém um ajuste tão bom quanto o ajuste com o modelo saturado (PAULA, 2010). É fácil de verificar que o *desvio* é sempre

maior ou igual a zero e decresce à medida que covariáveis vão sendo adicionadas ao modelo nulo, tomando obviamente o valor zero para o modelo saturado.

Levou-se em consideração para a seleção do melhor modelo de regressão os critérios estatísticos do *desvio*, Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC) e análise gráfica dos resíduos e para modelos de regressão o erro padrão da estimava (Syx) e  $R^2_{aj}$ .

A Tabela 2 apresenta as expressões das funções *desvio* para avaliar a acurácia dos modelos propostos.

Tabela 2- Expressões da função *desvio* para os modelos utilizados no ajuste dos dados.

Poisson	$2 \left[ \sum_i y_i \ln \frac{y_i}{\hat{\mu}_i} - \sum_i (y_i - \hat{\mu}_i) \right]$
Gama	$2 \sum_i \left\{ -\ln \frac{y_i}{\hat{\mu}_i} + \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\hat{\mu}_i} \right\}$

A análise de resíduos é útil para avaliação da qualidade do ajuste de um modelo, no que diz respeito à escolha da distribuição, da função de ligação e em termos do preditor linear, como também para ajudar a identificar observações que não são bem explicadas pelo modelo. Um resíduo  $\varepsilon_i$  deve exprimir a discrepância entre o valor observado  $y_i$  e o valor estimado  $\hat{\mu}_i$  ajustado pelo modelo. É conveniente, Turkman e Silva (2000) para uma análise adequada dos resíduos, que eles sejam padronizados e reduzidos, isto é, que tenham variância constante unitária e, preferencialmente, que sejam aproximadamente normalmente distribuídos.

## 1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da suficiência amostral foi avaliada em função da variável diâmetro a altura do peito e, resultou em um valor de 59 árvores em São Joaquim, 28 árvores em Urupema e

20 árvores em Painel. Demonstrando que o número de 70 árvores amostradas é suficiente para se obter conclusões sobre a morfometria e a relação com a dimensão individual para a espécie.

Os valores médios, mínimos e máximos e, o desvio padrão das variáveis morfométricas e biométricas das 70 árvores amostradas em cada local encontram-se na Tabela 3.

Os valores da altura comercial do fuste, definida como a altura de inserção da copa indicam a possibilidade de seccionamento do fuste em duas até quatro toras comerciaisáveis, com uma média de quatro toras por fuste (Valerio, A. F.; *et al.*, 2006). Os valores encontrados são superiores quando comparados àqueles obtidos para *Araucaria angustifolia* por Roveda *et al.* (2012) que obtiveram uma altura comercial média de 8,0 m. Para a espécie *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrabida ex Steudel, Mattos (2002) obteve uma altura comercial média de 6,9 m e Roman *et al.* (2009) uma média de 5,90 m para *Araucaria angustifolia*. Durlo e Denardi (1998), em estudo com *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., encontraram uma média de 6,3 m para a altura comercial do fuste

Tabela 3- Variáveis biométricas e morfométricas de auxílio ao manejo de araucária na fitorregião de ocorrência, SC.

	Biometria				Morfometria								
	d cm	H -----m-----	HIC	RCM	DCM	ACM	CCM	DCM	PCM	FC	IS	GE	AI
São Joaquim													
Máx.	106,6	25,1	22,4										
Mín.	41,1	12,3	10,4										
Méd.	71,5	18,9	15,6	5,4	10,7	95,0	3,4	17,9	17,9	37,4	15,5	57,4	0,57
$\sigma$	18,5	2,7	2,6										132,9
Urupema													
Máx.	89,4	22,8	20,2										
Mín.	34,4	11,5	5,5										
Méd.	54,8	16,9	10,7	4,7	9,5	73,8	6,2	37,1	37,12	59,1	16,5	56,6	0,56
$\sigma$	11,1	2,2	2,6										158,1
Painel													
Máx.	86,6	22,6	19,6										
Mín.	30,2	12,3	9,5										
Méd.	60,2	18,4	15,5	4,5	9,1	66,8	2,9	15,5	15,5	26,2	16,2	50,3	0,50
$\sigma$	10,3	2,1	2,1										167,5

Onde:  $d$ : diâmetro;  $HIC$ : altura de inserção de copa;  $RCM$ : raio médio de copa em metros;  $DCM$ : diâmetro médio de copa em metros;  $ACM$ : área média de copa em metros;  $CCM$ : comprimento médio de copa em metros;  $PCM$ : percentual médio de copa;  $FC$ : formal de copa em metros;  $IS$ : índice de saliência em metros;  $GE$ : grau de esbeltez em metros;  $AI$ : índice de abragência em metros;  $NP$ : número potencial de árvores por hectare para cada área de projeção de copa em metros. Máx: valor máximo; Mín: valor mínimo; Méd: valor médio;  $\sigma$ = desvio padrão. Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Os valores demonstram que em São Joaquim e Painel as árvores possuem maior  $d$  médio, maior média de  $ht$  e maior média de  $HIC$ , consequentemente menor  $CC$ , menor  $PC\%$  e maior idade. Os valores do  $Dc$  mostram que as árvores estudadas ocupam o dossel superior, já atingindo sua capacidade produtiva, podendo essa variável estar associada a idade.

Durlo (2001) também observou maior altura de inserção de copa e diâmetro de copa à medida que as árvores crescem. Mudanças nas variáveis morfométricas também estão associadas ao espaço, competição e densidade de indivíduos. WINK *et al.*, (2012) estudando plantios de eucalipto observaram também que o percentual de copa diminui à medida que aumenta a idade das árvores. Roveda *et al.*, (2012) encontraram comprimento de copa com variação de 2,7 a 11,5m e média para diâmetro de copa de 4,1m para *Araucaria angustifolia*.

Opercentual de copaé um indicador de vitalidade, e quanto maior a porcentagem, tanto mais produtiva pode ser esta árvore. Esta amplitude é resultado dos diferentes graus de concorrência a que as árvores estão submetidas, podendo estar associada também às dimensões dos exemplares, a idade e as taxas de incremento.

Compreende-se que quanto maior o comprimento de copa, maior o percentual de copa, sendo o inverso verdadeiro, dessa forma, quanto maior o percentual de copa, maior a capacidade de fotossíntese, e possivelmente, melhor as taxas de incremento e menor idade para araucária. SANTOS *et al.*, (2012) salientam que a copa é composta por vários elementos, sendo o componente responsável pelos processos de crescimento e produção de uma árvore. Assim, os parâmetros desuperfície, diâmetro e comprimento de copa estão fortemente correlacionados com esses processos.

O formal de copa é a relação entre o diâmetro de copa em função do comprimento de copa, ele expressa a

produtividade da árvore, e, além disso, é um dos critérios para a marcação de desbastes. O formal de copa com menor valor foi de 26,21 para o município de Painel que demonstra que quanto menor a relação maior a produção em crescimento e vitalidade das árvores, indicando copas esbeltas. Para o município de São Joaquim foi de 37,36. E para Urupema foi de 59,12, indicando que quanto mais perto de 100 o formal de copa mais arrendodadas são as mesmas.

Orellana e Koehler (2008), em seus estudos com *Ocotea odorifera*(Vell.) Rohwer, encontram valor para formal de copa de 23,1. Mattos (2007) obteve valor médio igual a 63,0 para essa variável em estudo com louros nativos, no interior de fragmentos de floresta secundária no Rio Grande do Sul. Durlo e Denardi (1998) obtiveram formal de copa médio de 74,0 para *Cabralea canjerana*, também em floresta secundária no Rio Grande do Sul.

Como o índice de saliência explica a relação entre o diâmetro de copa e o *d*, a araucária apresentou uma copa em média nos três municípios, de 16 vezes maior que o seu diâmetro. O índice de saliência é usado como índice do espaço necessário para cada árvore, ao ser atingido determinado diâmetro. Roveda *et.al.*, ( 2012) encontraram para a espécie *Ararucaria angustifolia* em média 24 vezes a dimensão do DAP. Orellana e Koehler (2008) em estudo da copa das árvores de *Ocotea odorifera*, encontraram em média, 39,2 vezes a dimensão do DAP. Durlo e Dernardi (1998) encontraram, para *Cabralea canjerana*, valores médios de índice de saliência de 21,70. Tonini e Arco Verde (2005) encontraram valores médios de índice de saliência para a castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) de 50; para a andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) de 14,7; para o ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lor.ex.Gris.) de 32,3 e para o jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) de 33,1.

O grau de esbeltez relaciona a altura total em função do diâmetro. No município de São Joaquim o grau de esbeltez foi

de 57,4 e para Urupema 56,6 indicando que quanto mais alto esse valor, mais instável o povoamento e consequentemente os indivíduos se encontram em alto grau de concorrência. Para o município de Painel obtevesse o valor de 50,3 indicando menor concorrência e competição dos indivíduos devido maior interferência antrópica na área, além de ser um indicativo da necessidade ou não de supressão de alguns indivíduos. Roman et al. (2009), para *Araucaria angustifolia* obteve grau de esbeltez que variou de 47,8 a 130.

O índice de abrangência é importante, pois auxilia para a tomada de decisão em um plano de desbaste. Para o município de São Joaquim obtevesse um valor de 0,57 e Urupema de 0,56, o que indica que a ocupação de copa nesses municípios é semelhante, bem como se trata de árvores que estão no dossel superior, dominantes e, para Painel se obteve um valor de 0,50 que indica um crescimento direto de diâmetro de copa em função da altura total.

Mattos (2007) encontrou um índice de abrangência médio de 0,26 para *Cordia trichotoma* em floresta nativa no Rio Grande do Sul. Orellana e Koehler (2008) encontraram um valor médio de 0,7 e Roveda et al., (2012), um valor médio de 0,45.

A análise de covariância foi utilizada para verificar a diferença ou não na altura de inserção de copa e do diâmetro de copa, em função do diâmetro como indicativo da qualidade das árvores e de sua capacidade produtiva, sendo fundamental para embasar modelos que utilizam as relações morfométricas e futuras intervenções de manejo sustentável.

Os resultados estatísticos da análise de covariância, ver Tabela 4, indicam que as hipóteses de igualdade e nível para a relação entre a altura inserção de copa e o diâmetro de copa para araucária nos três municípios amostrados foram significativas com um valor de  $F$  para a fonte de variação local e  $d^*$  local de 112,93 e 15,75, rejeitando a hipótese com uma probabilidade  $<0,0001$  para altura de inserção de copa,

enquanto para diâmetro de copo valor de F foi de 17,86 para local e 29,21 para a fonte de variação  $d^*$ local rejeitando a hipótese com probabilidade <0,0001, demonstrando que a altura de inserção de copa e o diâmetro de copa são diferentes nas áreas de estudo para a espécie, assim como a relação forma-dimensão, o padrão de crescimento, competição, a vitalidade e a capacidade produtiva.

Para PC a análise de covariância não foi significativa, sendo os modelos ajustados para essa variável foram realizados com todos os dados em conjunto.

Tabela 4- Análise de covariância para altura de inserção de copa e diâmetro de copa de araucária das três áreas de estudo em sua fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.

	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>HIC</i>	Modelo	5	1344,48	268,90	54,61	0,0001
	Local	2	1112,10	556,05	112,93	0,0001
	$d^*$ local	3	232,38	77,46	15,75	0,0001
	Erro	204	1004,48	4,92		
	Total	209	2348,96			
	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>DC</i>	Modelo	5	349,86	69,97	24,67	0,0001
	Local	2	101,32	50,66	17,86	0,0001
	$d^*$ local	3	248,54	82,85	29,21	0,0001
	Erro	204	578,55	2,84		
	Total	209	928,41			

Onde, 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 a altura do peito em cm.

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Após a análise de covariância, foram gerados os modelos separadamente para cada local, verificando-se os

critérios para ajuste de regressão. Os modelos foram de regressão simples e sem transformação das variáveis, visando obter modelos de fácil aplicação.

Os estudos publicados que descreveram a relação do diâmetro de copa e diâmetro à altura do peito referiram tendência linear ou levemente curvilinear entreessas variáveis, sem diferenciar classes sociológicas (LONGHI, 1980; OLIVEIRA, 1982; SEITZ, 1991; NASCIMENTO et al., 2010).

Os condicionantes da regressão para diâmetro de copa e altura de inserção de copa em função do diâmetro à altura do peito acusaram que os dados não atedem normalidade e independência dos dados. A análise de covariância mostrou com os critérios estatísticos a necessidade de se ajustar uma equação separada para cada local do estudo, conforme demonstra a Tabela 5.

Tabela 5- Coeficientes e estatística do ajuste da altura de inserção de copa e diâmetro de copa em função do diâmetro de araucária na fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.

Locais	Coeficientes <i>HIC</i> (m)		Critérios estatísticos	
	$\Phi_0$	$\Phi_1$	$S_{yx}$	$R^2$ aj.
São Joaquim	11,20753	0,06144*d		
Urupema	3,57887	0,12976*d	2,21	0,57
Painel	15,1239	0,00715*d		

Locais	Coeficientes <i>Dc</i> (m)		Critérios estatísticos	
	$\Phi_0$	$\Phi_1$	$S_{yx}$	$R^2$ aj.
São Joaquim	5,94898	0,06686*d		
Urupema	3,53678	0,10872*d	1,68	0,38
Painel	4,48975	0,07651*d		

Onde:  $HIC$ = altura de inserção de copa em metros,  $\Phi_0$ = intercepto,  $\Phi_1$ = coeficiente angular,  $S_{yx}$ = Erro padrão da estimativa,  $R^2$ aj. = Coeficiente de determinação ajustado,  $DC$ = diâmetro de copa.

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A variabilidade do  $D_c$  em função do é grande nos locais de estudo, levando em consideração que o  $D_c$  sofre influências com a competição entre árvores vizinhas e com as condições do ambiente prejudicando seu crescimento e vitalidade, bem como a estrutura da copa da espécie em estudo. Conforme Dawkins (1963) essa relação deve ser uma linha linear com os coeficientes positivos, pois com o aumento do  $D_c$ , aumenta o diâmetro.

A diferença de nível e inclinação para a altura de inserção de copa confirmam ajuste das equações na análise de covariância. Na análise, a relação entre as variáveis permite estabelecer uma correlação positiva, sendo que à medida que aumenta o diâmetro, aumenta a altura de inserção de copa, e aumenta o diâmetro de copa, conforme Figura 5 (a) e (b).

Os ajustes permitem verificar que em Urupema as árvores têm média diamétrica menor e indivíduos mais jovens, bem como árvores com maior percentual de copa (37,2%), portanto maior área fotossintética e, provavelmente maior taxa de incremento.

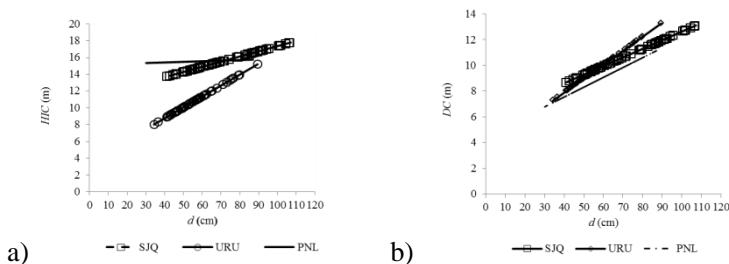
Em São Joaquim e Painel as árvores têm idade maior e maior dimensão, o que contribui para o aumento na altura de inserção de copa, menor número de ramos inferiores (desrama natural) e com isso um menor comprimento de copa e menores taxas de incremento, demonstrando que atingiram a maturidade e o seu espaço no estrato superior da floresta, indicando 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).

Devido ao povoamento ser constituído com árvores de grande dimensão, isso é um indicativo que no processo inicial de sua formação em estrutura as plantas eram portadoras de elevada velocidade de emergência, de crescimento inicial e possuíam prioridade na utilização dos recursos do meio e, por

isso, geralmente levam vantagem na utilização destes (GUSTAFSON *et al.*, 2004).

Dessa forma, comprehende-se a estrutura dos povoamentos de araucária na região após o período passado de perturbação, indicando indivíduos adultos e de idade avançada, bem como a necessidade de intervenções para possibilitar a manutenção de desenvolvimento para os mais jovens.

Figura 5- a) Nível e inclinação para relação entre altura de inserção de copa e diâmetro de araucária obtido com os valores ajustados; b) Nível e inclinação para relação entre diâmetro de copa e diâmetro utilizando os valores ajustados.



Onde:  $HIC$ = altura de inserção de copa em metros;  $DC$ : diâmetro de copa= diâmetro a altura do peito em metros, SJQ= São Joaquim, URU= Uruprma e PNL= Painel.

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A linha de regressão ajustada para as duas variáveis dependentes em cada região de estudo representam um aumento linear e proporcional do aumento das dimensões com o diâmetro, significando que todos os indivíduos amostrados obtiveram taxas proporcionais de aumento. As curvas de ajuste assimétricas entre as regiões indicam que os indivíduos maiores obtêm de forma desproporcional maior parte dos recursos e crescimento.

Esse modo de crescimento da relação forma/dimensão é esperado em sítios férteis onde a luz é um fator limitante do crescimento das árvores e, como um recurso vetorial para a maioria dos indivíduos. Esse estudo demonstra também que o modo de competição e a relação forma/dimensão podem mudar espacialmente ao longo de gradientes ecológicos e com o desenvolvimento do povoamento (PRETZSCH & DIELER, 2011).

No estudo do percentual de copa em função da covariável altura total e do diâmetro, com interação do local a análise de covariância não apresentou diferença significativa entre os locais.

Os condicionantes de regressão para proporção de copa em função da altura total acusaram que os dados não atendem os critérios dos condicionantes de regressão. Para tanto, modelos foram ajustados utilizando a técnica dos MLG.

Os condicionantes de regressão para  $PC\%$  acusaram que os dados apresentam heterocedasticidade, teste de *White* com valor de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) igual a 14,32, significativo ( $p=0,0008$ ) e também não atendem a condição de normalidade pelo teste de *Shapiro-Wilk* –  $W$  (valor de 0,95 e probabilidade de 0,0001).

O melhor modelo ajustado gerou uma equação com o uso da distribuição gamma e função de ligação identidade. A equação obtida foi  $PC\% = 52,5295 - 1,6041 * ht$ , com valor de *desvio* de 55,45 e AIC de 1595,5 e BIC de 1606,0 e  $PC\% = 35,9757 - 0,2012 * d$  com *desvio* de 57,07 e AIC de 1601,77 e BIC de 1621,00.

A curva de ajuste para as equações e análise dos resíduos para  $PC$  apresenta correlação negativa, ou seja o coeficiente  $\Phi$ , negativo para a altura total e parao diâmetro. Desta forma, quanto maior a altura e o diâmetro da árvore menor o percentual de copa e maior a idade ou dimensão para a espécie *Araucaria angustifolia*, conforme Figura 6.

A correlação negativa do ajuste permite expressar que o crescimento do percentual de copa tende a diminuir com o aumento do  $d$  e  $ht$ , pois à espécie em estudo a copa possui ramos laterais com crescimento rápido na fase inicial apresentando maiores percentuais de porção de copa e percentuais menores em altura total e diâmetro a altura do peito, isso ocorre em espécies de coníferas (WINK *et al.*, 2012).

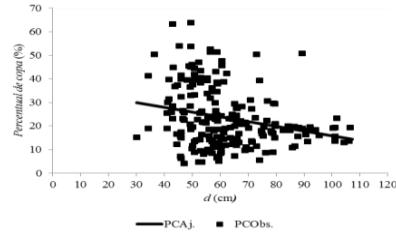
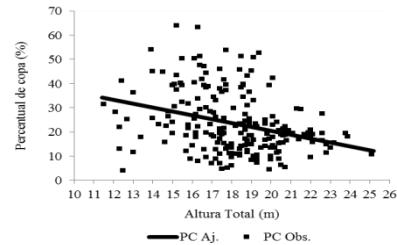
A amplitude do percentual de copa é resultado dos diferentes graus de concorrência a que as árvores estão submetidas, podendo estar associada também às dimensões dos exemplares (ROMAN *et al.*, 2009).

Os dados revelam que as relações de dimensão estão fortemente relacionadas ao crescimento em altura e diâmetro, a fertilidade do sítio, servindo para construir cenários de estrutura pelo uso em modelos morfométricos e ambientais, permitindo definir as dimensões dos indivíduos, estoque e densidade dos indivíduos (PRETZSCH *et al.*, 2014).

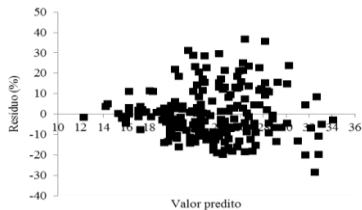
A determinação dessa variável é de fundamental importância, pois permite realizar a projeção do espaço a ser reservado para uma árvore para o seu bom desenvolvimento, à medida que esta cresce. O conhecimento desse espaço, por sua vez, permite que se revele antecipadamente o número de indivíduos a serem selecionados e conduzidos até o final da rotação quando se fixa um diâmetro objetivo.

Figura 6- a) relação entre PC% e ht ajustado e observado para araucária nos três locais de estudo, b) relação entre PC% e d para araucária em sua região de ocorrência; c) análise residual do ajuste para PC% (ht), d) análise residual do ajuste para PC% (d).

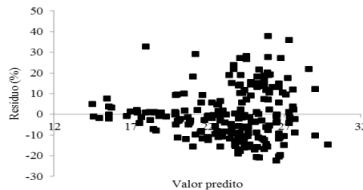
a) b)



c)



d)



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

## 1.5 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo contribuem para compreender o fracionamento entre recurso, crescimento e aumento de dimensão do fuste para araucária, assim como as mudanças na dinâmica estrutural com diferentes condições de disponibilidade de recurso no tempo. A inclinação linear da relação entre forma/dimensão demonstra uma clara dependência relativa à limitação prevalecente no sítio de ocorrência, acentuando ou minimizando a inclinação. Inclinações acentuadas indicam que as árvores dominantes consomem mais recursos que seus vizinhos menores, podendo aumentar o autodesbaste no sub-bosque.

Em termos de manejo florestal o estudo das relações morfométricas com a dimensão informa sobre a necessidade ou não de tratamentos silviculturais, pois quanto melhor a distribuição de recursos mais íngreme a inclinação do ajuste da relação e menor as dimensões que subdominantes e dominadas poderão atingir, sendo ainda o reflexo da diversidade estrutural do povoamento.

A dependência da relação e as limitações de recursos ao crescimento e aumento de dimensão, devem ser aplicados em modelos de competição e no momento de intervenção na floresta para controle de densidade e manutenção das taxas de crescimento das árvores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BAUHUS, J. Rooting patterns of old-growth forests: is aboveground structural and functional diversity mirrored belowground In: Wirth, C., et al. (Eds.), **Oldgrowth Forests.** Ecological Studies, 207, 2009, p.211–229.

DAWKINS. HC. **Crowndiameters:** Their relationship to bole diameter in tropical trees. *Commonwealth Forest Review* 1963; 42: 318-333.

DILLENBURG, L.; FRANCO, A. M. S.; COUTINHO, A. L., KÖRNDORFER, C. L.; CLEBSCH, C. C.; DUARTE, L. S.; FERLA, L.; ROSA, L. M. G.; SILVA, L. G. R.; GARBIN, M. L.; MÓSENA, M.; ZANDAVALLI, R. B.; YAMASAKI, S. **Aspectos ecofisiográficos da regeneração de Araucaria angustifolia, p. 57-65.** In: Fonseca, C.R.; Souza, A. F.; Leal-Zanchet, A.M.; Dutra, T. L.; Backes, A.; Ganade. G. (eds), *Floresta com Araucária: Ecologia, Conservação e Desenvolvimento Sustentável.* Holos, Editora, Ribeirão Preto. 2009.

DURLO, M. A.; DENARDI, E. Morfometria de Cabralea canjerana em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, p. 44-55, 1998.

DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 1, p. 141-150, jun. 2001.

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

**EMBRAPA-SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.** Brasília.2012.418p.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina.**2002.

HUTH, A., DITZER, T. Simulation of the growth of a lowland Dipterocarp rain forest with FORMIX3. **Ecological Modelling**, v.134, p. 1-25, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2012. 2v.

KIERMAN, D. H.; BEVILACQUA, E.; NYLAND, R. D. Individual-tree diameter growth model for sugar maple trees in uneven-aged northern hardwood stands under selection system. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, p. 1579-1586, 2008.

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

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

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Vell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul, RS.** 2007. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Relações dendrométricas de *Araucaria angustifolia*. **Nota científica.** Colombo, v.30, n.64, p.369-374, Nov./dez. 2010.

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

NUTTO, L. et al. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital empovoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 42, p.110-122, jan./jun. 2001.

NUTTO, L. *et al.* Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v. 42, p. 110-122, jan./jun. 2001.

OLIVEIRA, Y. M. M. Características entre parâmetros dendrométricos em *Araucariaangustifolia* (Bert.) O. Kuntze utilizando fotografias aéreas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.5, p. 69-105, dez. 1982.

ORELLANA, E.; KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell). Rohwer Rev. Acad., **Ciênc. Agrár. Ambient.**, v. 6, p. 229-237, 2008.

PAULA, G. A.; **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: [http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro\\_MLG.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf). Acesso em: 05/07/2013.

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

PRETZSCH, H. Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. **Forest Ecology and Management**, v. 327, p. 251-264, 2014.

PRETZSCH, H., HEYM, M., PINNA, S., SCHNEIDER, R.,  
Effect of variable retention cutting on the relationship between  
growth of coarse roots and stem of *Picea mariana*.  
Scandinavian **Journal of Forest**, v.29, p.222-233, 2014.

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.

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

REITZ, R.; KLEIN, R. M. **Flora ilustrada catarinense:  
Araucariáceas**. Itajaí:Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63 p.

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

ROVEDA, M. et al. Morfometria de *Araucaria angustifolia*  
(Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de  
Paula - RS. In: **IV Congresso Florestal Paranaense**, 2012,  
Curitiba. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012.

SANQUETTA,C.R, et al. Equações para estimativa do diÂmetro de copa para Acácia negra. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro. Vol.21. n.2. p192-205, 2014.

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

SAS Institute. The SAS System for Windows. Cary: SAS Institute. 2012.

SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1.3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc. 2012.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P.S.P. **Introdução ao manejo florestal**. SantaMaria: FACOS-UFSM, 2009. 566 p.

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

SCOLFORO, J.R. **Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear enão-linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, epeso de matéria seca**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

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.

SPATHELF, P.; NUTTO, L.; SELING, I. Condução do crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* com base em árvores individuais. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000, p.471-490.

SHUGART, H. H., WEST, D. C. & EMANUEL, W. R. 1981. **Patterns and dynamics of forests:** an application of simulation models. In: WEST, D. C., SHUGART, H. H. & BOTKIN, D. *Forest succession: conceps and application.* New York: Springer-Verlag. p. 74-94.

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

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados** – da teoria à prática. Universidade de Lisboa, 2000. Disponível em:  
<http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf> . Acesso em 05/07/2013.

VALERIO, A. F. ; WATZLAWICK, L. F. ; COUTO, L.

C. ; COUTO, L. ; BUENO, J. S. **Quantificação do volume de resíduos gerados no desdobro de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze.** Biomassa & Energia (Viçosa), v. 3, p. 129-135, 2006

WATZLAWICK, L. F. Produção de biomassa árborea e carbono orgânico em povoamento de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Kuntze aos 24 anos no Sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 4, p. 35-41, 2006.

WEBER. KS. **Manejo da bracatinga (*Mimosa scrabella* Benth.) baseado no crescimento diamétrico de árvores individuais.** [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2007.

WINK, C., MONTEIRO, S. J., REINERT, J. D., LIBERALESSO E. Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, v. 40, p. 57-67, 2012.



## CAPÍTULO 2

### DENDROCRONOLOGIA, INCREMENTO EM DIÂMETRO E MODELOS AMBIENTAIS PARA *Araucaria angustifolia*.

#### 2.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar com base na dendrocronologia o incremento médio em diâmetro no tempo para araucária em três locais em Santa Catarina. Com os dados de incremento obtiveram-se modelos matemáticos do crescimento em função da idades das variáveis dendrométricas e ambientais para a espécie. No campo foram selecionadas 70 árvores de cada local, e retirados rolos de incremento com auxílio do trado de Pressler e seus anéis de crescimento medidos no LINTAB 6.0. Em São Joaquim se obteve recuo máximo de 153 anos e incremento médio de  $0,340 \text{ cm.ano}^{-1}$ , para Urupema 62 anos e  $0,686 \text{ cm.ano}^{-1}$  de incremento médio e Painel 68 anos e  $0,903 \text{ cm.ano}^{-1}$  de incremento médio. A análise de covariância demonstrou que há diferenças no incremento médio em função do diâmetro, e da idade, havendo a necessidade de ajustar equações separadamente para cada local. Os ajustes para o coeficiente angular foram negativos demonstrando uma redução no incremento em diâmetro devido ao aumento do diâmetro e da idade. O incremento médio em diâmetro acumulado seguiu um padrão sigmoidal de crescimento nos três locais, e os indivíduos já atingiram a capacidade máxima de suporte, indicando a possibilidade de corte de alguns indivíduos da floresta. O incremento médio em diâmetro mostrou correlação negativa com a insolação total e temperatura média máxima para os três locais e correlação

positiva com o cálcio, alumínio, soma de bases, matéria orgânica, pH 7,0, magnésio, carbono orgânico, fosfóro, potássio, CTC efetiva e areia comprovando a importância da qualidade do sítio no incremento diamétrico, crescimento e produtividade da espécie. O procedimento stepwise modelou para cada local um ajuste ideal do incremento médio em função das variáveis do clima e solo. As curvas de crescimento demonstram a necessidade de corte dos indivíduos mais velhos para permitir o crescimento dos indivíduos mais jovens.

**Palavras-chave:** crescimento, dendrocronologia, correlação.

## **DENDROCHRONOLOGY AND ENVIRONMENTAL MODELS FOR *Araucaria angustifolia*.**

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to establish, based on dendrochronology, the average increment in diameter across time for *Araucaria angustifolia* in three sites in Santa Catarina state. With data of increment rolls, we obtained mathematical growth models according to the age of dendrometric and environmental variables. In the field 70 trees were sampled in each site. Increment rolls were removed from trees with a Pressler auger aid and growth rings estimated with LINTAB 6.0. In São Joaquim was obtained maximum setback of 153 years and an average increase of  $0.340 \text{ cm. ano}^{-1}$ ; for Urupema 62 years and  $0.686 \text{ cm. ano}^{-1}$  average increase; and for Painel 68 years with an  $0.903 \text{ cm.ano}^{-1}$  average increase. Through covariance analysis, differences in average increase in function of the diameter and age were found, with the need to adjust equations separately for each location. The settings for

the slope were negative showing a reduction in the increase in diameter due to the increased diameter and age. The average increase in cumulative diameter followed a sigmoidal pattern of growth in the three sites, indicating that some individuals have already reached the maximum capacity of support. This subsidizes the possibility of harvesting some plants in forest. The average increase in diameter shown a negative relationship with total insolation and average maximum temperature for the three sites and positive correlation with calcium, magnesium, potassium, phosphorus, cation exchange capacity, and soil organic matter which points out the importance of soil quality in diameter increment, growth and productivity of *Araucaria*. Stepwise procedure was useful in setting suitable average increasing, through modeling, with climate and soil variables. Growth patterns indicated a need of harvesting older individuals in forest to allow increasing of youngers trees.

**Key- words:** growth, dendrochronology, correlation

## 2.2 INTRODUÇÃO

Nas formações florestais do Estado de Santa Catarina encontra-se a Floresta Ombrófila Mista (FOM), que é caracterizada pela presença de indivíduos de *Araucaria angustifolia*, que formam uma cobertura muito característica. Abaixo do dossel existe um grande número de outras espécies arbóreas, principalmente das famílias Myrtaceae e Lauraceae (Nascimento et al., 2001) e elevada densidade de pteridófitas arborescentes (*Dicksonia sellowiana* Hook. e *Alsophylla* sp.) e de taquara (*Merostachys* sp.) (Negrelle & Silva, 1992).

O Brasil é um país predominantemente florestal. Apresenta grande cobertura vegetal nos mais variados ecossistemas, desde a floresta amazônica, cerrado, caatinga e mata atlântica. No ecossistema mata atlântica, a Floresta Ombrófila Mista presente principalmente nos estados do sul do país, apresentava uma vasta extensão com grande diversidade de espécies, muitas delas de grande potencial madeireiro, que por sua vez foram alvos de intensa exploração no passado. (STEPKA, 2012).

As bases teóricas da dendrocronologia remontam ao século XVI, com Leonardo Da Vinci. Contudo, somente foi reconhecida como ciência no início do século XX, influenciada principalmente por Andrew Ellicott Douglass, um astrônomo norte-americano. Andrew foi pioneiro ao utilizar e desenvolver métodos para relacionar séries temporais de anéis de crescimento com fenômenos climáticos e astronômicos, reconstruir séries de crescimento milenares e datar madeiras arqueológicas (FRITTS, 1976). A marcação da largura dos anéis de crescimento e o sincronismo de séries instrumentais (datação cruzada) de árvores vivas permitem determinar o ano de formação dos anéis de crescimento, coincidindo-os com os anos do calendário (COOK e KAIRIUKSTIS, 1990).

Os anéis de crescimento são camadas de células formadas no xilema das espécies arbóreas pela divisão e diferenciação das células cambiais e caracterizam-se pelas mudanças estruturais abruptas nos seus limites (IAWA COMMITTEE, 1989).

Anéis de crescimento anuais de árvores são uma fonte de dados única para fenômenos ecológicos estudo de longo prazo, como a população de árvores, dinâmica e variabilidade ambiental (Fritts 1976; Schweingruber, 1996).

*Araucaria angustifolia* forma anéis de crescimento, sendo os limites anatômicos marcados por uma camada fina de lenho tardio, traqueídeos achatados radialmente, com paredes celulares espessas (ROING, 2000), confirmando a presença de atividade cambial para a espécie (OLIVEIRA, 2009).

O estudo da idade e crescimento da árvore, das florestas, e suas implicações são tratados pela epidometria (MACKAY, 1964).

Diversos estudos dendrocronológicos tem sido realizados, obtendo avanços no conhecimento demográfico e ecológico da espécie, investigando o desenvolvimento ao longo do tempo, comparando fragmentos florestais distintos (OLIVEIRA, 2007), incrementos diferenciados em plantios (CATTANEO *et al.*, 2013), avaliando o crescimento após corte seletivo (SEITZ e KANINNEN, 1989), atividade cambial e periodicidade na formação dos anéis (OLIVEIRA, 2009), dinâmica decolonização (SILVA, 2009) mudanças na concentração de dióxido de carbono atmosférico (LISI, 2007), vários associando o crescimento com variáveis meteorológicas (CATTANEO *et al.*, 2013; STEPKA, 2012; OLIVEIRA, 2007; RIGOZO, 2000).

De acordo com Vanclay (1994) e Prodanet *et al.*, (1997), entende-se por crescimento o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta em um determinado período de tempo. Tais dimensões podem ser o diâmetro, a altura, o

volume, a biomassa, a área basal, etc. Já a produção refere-se às dimensões finais ao término de determinado período.

Para Prodanet *et al.*,(1997), as influências ambientais incluem fatores climáticos (temperatura, vento, precipitação e insolação), fatores pedológicos (características físicas e químicas, umidade e microrganismos), características topográficas (inclinação, elevação e aspecto) e competição (influência de outras árvores, sub-bosque e animais), sendo que a soma destes fatores exprime o conceito de qualidade de sítio.

Nagel e Athari (1982) consideram a análise de tronco uma importante fonte de dados para as seguintes linhas de pesquisa: a)investigação sobre a reação do crescimento em relação a fatores ambientais (bióticos, abióticos) e ao manejo do povoamento (adubação, poda, desbaste); b) avaliação das alterações de forma das árvores em função dos fatores mencionados no item (a); c) sincronização das medidas dos anéis de crescimento e determinação do número de anéis ausentes como indicadores do grau de danos sofridos pelas árvores; d) elaboração de modelos de produção(ROSOT *et al.*, 2003).

Na análise de tronco parcial a árvore não necessita ser derrubada; no entanto, requer um maior número de árvores para compensar os possíveis erros de medição que possam existir. A leitura dos anéis de crescimento se dá em amostras cilíndricas de madeira retiradas a altura do DAP (a 1,30 metros de altura), por meio de Trado de incremento ou Trado de Pressler. As amostras devem ser condicionadas em recipientes apropriados para evitar que ressequem e quebrem(ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

Para a determinação do Incremento Período Anual (IPA) Stokes e Smiley(1968) recomendaram que, em primeiro lugar, o trado de incremento deve chegar até a medula, que não é necessariamente o centro geométrico da árvore, evitando a queda da casca e identificando em um envelope o material coletado.

As vantagens da modelagem de árvore individual referem-se ao detalhamento da estrutura do povoamento, à melhor compreensão das relações entre o meio e o crescimento, à análise de aspectos fisiológicos e de coexistência, podendo ser, potencialmente, aplicável para florestas naturais. Como desvantagens, citam-se a complexidade e a quantidade de trabalho para a sua construção (DELLA-FLORA, 2001).

Modelos de árvore individual são melhores para avaliar o comportamento do crescimento da árvore, pois consideram variáveis próprias da árvore (tamanho, espécie, etc.), das árvores vizinhas (com o uso de índices de competição), da floresta como um todo e de fatores ambientais (STOYAN e PENTTINEN, 2000).

Os modelos de crescimento podem ser desenvolvidos para diferentes finalidades, como investigar a sucessão e a ecologia florestal ao longo dos anos, avaliar possíveis regimes de manejo, quantificar o estoque de carbono assimilado pela floresta, avaliar a recuperação da floresta que tenha sofrido distúrbios como pragas, incêndios, furacões ou outras intempéries. Deste modo, o objetivo e propósito do modelo, bem como o estado do conhecimento da floresta, determinam o grau de complexidade necessário ou alcançável, e a resolução temporal e espacial do modelo (PRETZSCH, 2009).

Os modelos matemáticos tornam-se imprescindíveis para prognoses dos futuros recursos florestais, a escolha de alternativas silviculturais, o apoio à tomada de decisões e à política florestal (ZANON, 2007).

A qualidade do solo se refere ao equilíbrio entre os aspectos químicos, físicos e biológicos do solo. Para a avaliação da qualidade do solo, tem sido utilizados indicadores do seu estado de conservação ou degradação (ZILLI et al., 2003).

A avaliação da qualidade do solo tem sido proposta como um indicador integrado da qualidade do ambiente e da sustentabilidade da produção agrícola ou florestal. Para avaliar

a qualidade física do solo devem ser selecionados indicadores sensíveis às mudanças e distúrbios causados pelo manejo. Uma vez que tenham sido definidos, esses indicadores podem ser monitorados de forma a avaliar o impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo em médio e longo prazo (CHAER e TÓTOLA, 2007)

De acordo com Marchão et al. (2007) as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são importantes componentes de sua produtividade, visto que as plantas necessitam de solos bem estruturados, sendo por isso, a seleção e a utilização adequada de cada tipo de solo de fundamental importância para a manutenção da qualidade e da produtividade do sistema.

Os objetivos deste capítulo foram mapear e comparar se o crescimento é semelhante ou diferente para as regiões através do emprego da análise de covariância; construir as curvas de crescimento no tempo e por região de estudo e; obter estimativas de idade e incremento médio anual em diâmetro.

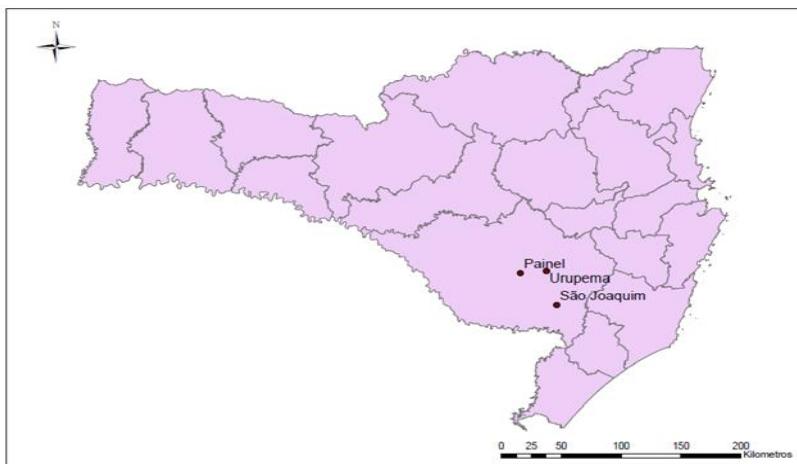
## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.3.1 Área de Estudo

A área de estudo são três povoamentos naturais de *Araucaria angustifolia* localizados nos municípios de São Joaquim, Urupema e Painel em Santa Catarina (Figura 7) em altitudes variando de 1.400 m a 900 m na região denominada Planalto Serrano, em Santa Catarina.

A localização das áreas do ensaio e as coordenadas geográficas podem ser vistas na Figura 8, 9 e 10. São Joaquim apresenta altitude de 1.353m, Urupema 1.245m e Painel a uma altitude de 1.145m.

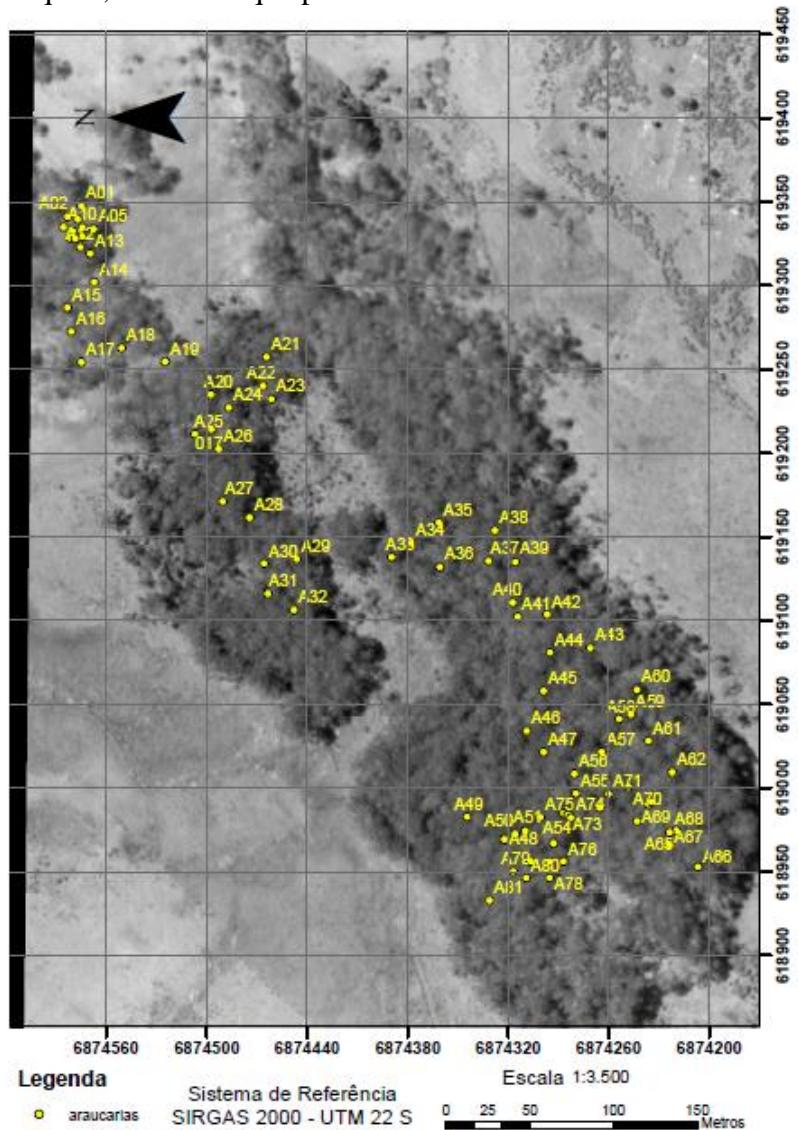
Figura 7- Mapa com a localização das áreas de estudos, em Santa Catarina.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

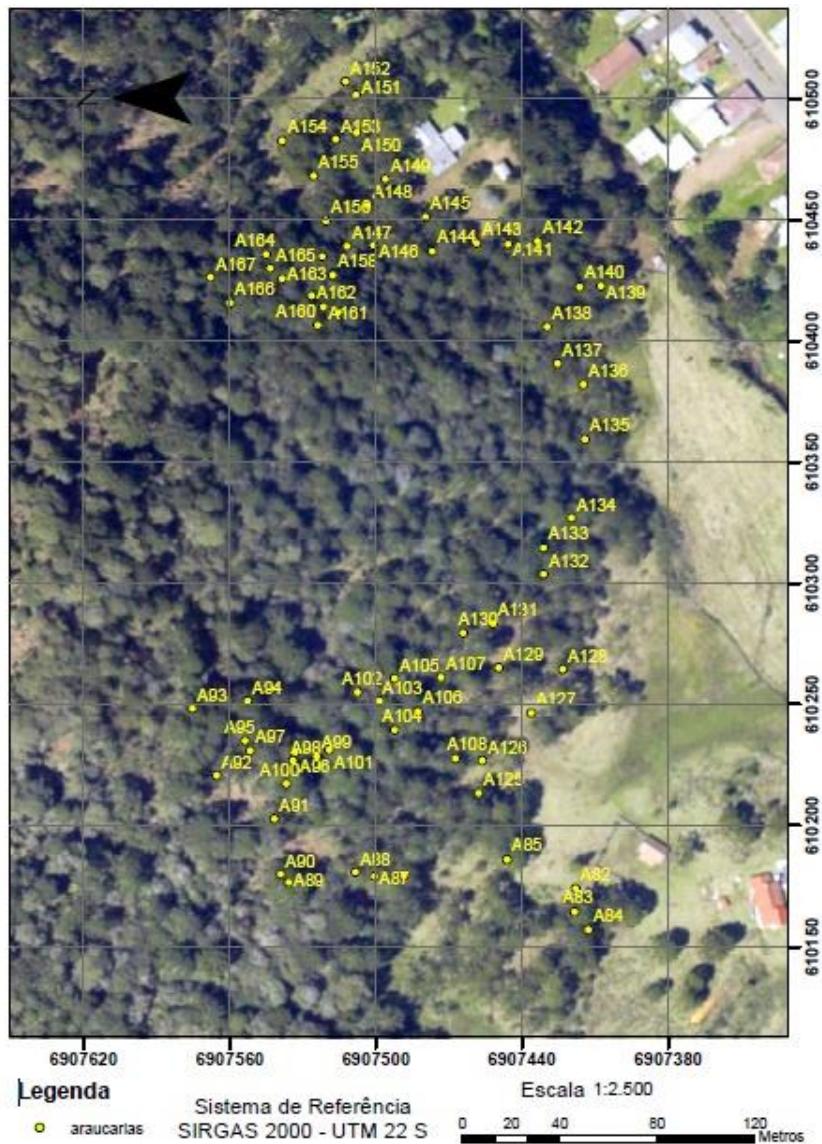
De maneira geral, para as regiões pode-se descrever que segundo a classificação de Köppen, o clima é caracterizado predominantemente como sendo do tipo Cfb, temperado propriamente dito, com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico) com possibilidades de geada. Verões frescos com temperatura média do mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. A temperatura média anual da região é de 15,5°C, tendo como média das mínimas do mês mais frio temperaturas entre 5 a 8°C, média das máximas do mês mais quente entre 22 a 31°C e mínima absoluta de 12°C negativos. A precipitação média anual é de 1.400 mm. A região pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Pelotas (Epagri, 2002).

Figura 8- Mapa da área de estudo no município de São Joaquim, com destaque para as árvores amostradas.



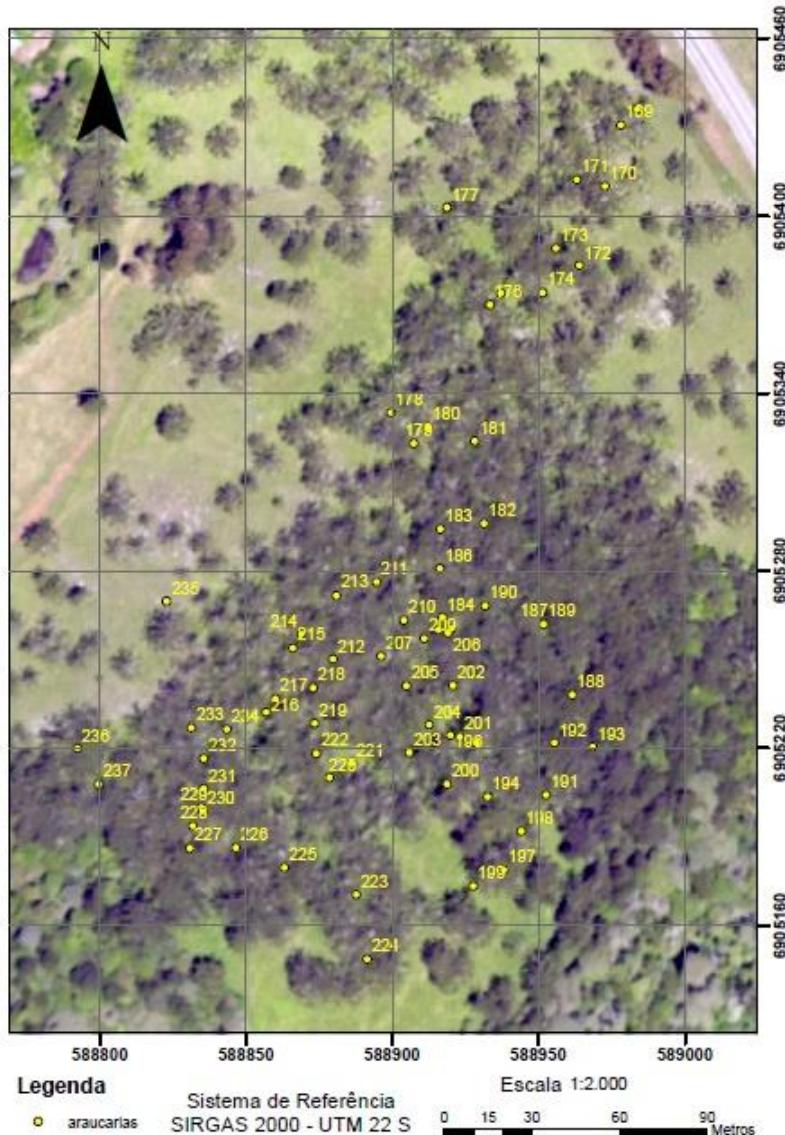
Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Figura 9- Mapa da área de estudo no município de Urupema com as árvores amostra.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Figura 10- Mapa da área de estudo no município de Painel, com destaque para as árvores amostradas.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A vegetação predominante da região é a Floresta Ombrófila Mista Montana (Floresta de Araucária) (IBGE, 2012), que é um tipo de vegetação do Planalto Meridional, apresentando disjunções florísticas em refúgios situados nas Serras do Mar e Mantiqueira e que no passado se expandia mais ao norte, pois a família Araucariaceae apresentava dispersão paleogeográfica que sugere ocupação diferente da atual. Segundo IBGE (2012) a região de estudo é identificada a Formação de Floresta Ombrófila Alto-Montana, que compreende as altitudes superiores a 1.000 m.

Os solos predominantes para a cidade de São Joaquim são classificados como Associação Neossolo Litólico + Cambissolos Háplicos + 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 Painel os solos predominantes são classificados como Noessolos Litílicos Distroúmibricos, textura argilosa e muito argilosa, fase rochosa (substrato efusivas da Formação da Serra Geral) + Cambissolos Háplicos, textura muito argilosa, fase pedregosa, ambos campo subtropical, relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2004).

### **2.3.2 Coleta de dados**

No levantamento dos dados foram selecionados 70 árvores em cada área de estudo (área amostrada SJQ (São Joaquim) = 4,1 ha, URU (Urupema) = 4,3 ha e PNL (Painel) = 2,2 ha) com o objetivo de obter maior número de anéis de crescimento no tempo (árvores de maior diâmetro). Cada indivíduo foi identificado, plaqueteado e sua posição no

terreno obtida com receptor de sinais GPS (Global Positioning System) Garmin, do tipo navegação.

De cada árvore foram coletadas duas amostras não destrutivas (rolos de incremento), retiradas a 1,30m do chão. As amostras foram retiradas perpendicularmente com o Trado de Presler (30 cm de comprimento e 5,15 mm de diâmetro do núcleo e as de maior diâmetro com trado de 40cm) a primeira podendo ser na direção (N,L,O,S) e a segunda a 90º da primeira. No campo os rolos de incremento foram fixados em suportes de madeira (porta baguetas) presos com fita crepe nas extremidades e no centro para evitar o empenamento durante a secagem.

Em laboratório, da Universidade do Estado de Santa Catarina no campus de Centro de Ciências Agroveterinárias, os rolos de incrementos foram colados na orientação dos raios radiais e deixados para secagem em temperatura ambiente. Após a secagem as amostras foram polidas utilizando-se lixas com diferentes granulometrias de 80 até 1220 quando necessário para melhor visualização dos anéis de crescimento.

Para a amostragem e análise do solo foi utilizado um esquema de grade amostral, com espaçamento entre cada ponto de 30 m e respeitando 20 m de bordadura, totalizando uma área de 1 ha ( com três transectos de cinco pontos cada).

Para cada local foi retiradas as amostras com o trado holandês (15 pontos e em cada ponto 12 sub-amostras) para avaliação dos atributos químicos conforme metodologia de Tedesco et al.(1995), e enviadas para Laboratório de Análises de Solos da UDESC (CAV), credenciado pela Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos dos Estados de Santa Catarina para determinação quantitativa dos nutrientes (pH-água, índice SMP, P, K, M.O., Al, Ca, Mg, Na, C.O., CTC pH70, bases,).

Para os atributos físicos, coletou-se amostras com estruturas preservadas em cilindros de aço, com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, para a avaliação da densidade do solo

(Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico, em amostras com estrutura preservada. A porosidade total (PT) foi calculada pela razão entre a densidade do solo e a densidade de partículas (Ds/Dp) (EMBRAPA, 1997). No entorno, coletou-se com pá de corte reto amostras de solo com torrões, que foram acondicionados em sacos plásticos para avaliação da granulometria do solo (areia, argila e silte) foi determinada pelo método da pipeta (GEE e BAUDER 1986) e densidade de partículas do solo (Dp).

### 2.3.3 Análise de dados

Com o auxílio de um microscópio estereoscópio foi realizada a marcação dos anéis de crescimento e depois medidos os incrementos em diâmetro, utilizando uma mesa de mensuração com precisão de 0,01mm (LINTAB 6.0 – *Frank Rinn Distributors, Alemanha*), acoplado ao computador. Os dados de incremento foram registrados pelo *Software TSAP (Time Series Analysis Program*, da empresa *Rinntech®*) e a datação foi realizada por análise visual dos dados e gráficos com auxílio da ferramenta Solver do programa Action, integrado ao Excel 2014.

Realizou-se análise de covariância para testar a diferença de nível e inclinação do ajuste entre incremento médio em diâmetro em função do diâmetro e em função da idade e interação com o local para as áreas do ensaio. Os ajustes dos modelos foram realizados no Sistema de Análise Estatística SAS V. 9.4 (SAS Institute Inc., 2012).

Na análise de covariância foram realizados testes de hipóteses, primeiro para verificar se havia ou não diferença significativa de inclinação entre as regressões. Caso não existisse diferença de inclinação, o segundo teste de hipótese foi realizado para verificar a não diferença de níveis entre as regressões (SCHNEIDER, 1998).

Para os ajustes das equações de regressão do incremento em função do diâmetro e da idade se utilizou a técnica dos Modelos Lineares Generalizados (MLG), pois os dados não atenderam os condicionantes da regressão. Optou-se nos ajustes dos modelos o uso de regressão simples, sem transformação das variáveis e equações de fácil obtenção.

Nos MLG a situação experimental é expressa por uma variável aleatória  $Y$  de interesse, denominada variável resposta ou dependente e um vetor  $x = (x_1, \dots, x_k)^T$  de variáveis explicativas designadas por covariáveis ou variáveis independentes que acredita-se explicar parte da variabilidade inerente a  $Y$  (TURKMAN e SILVA, 2000).

A escolha da função de ligação depende do tipo de resposta e do estudo em particular. Algumas das principais funções de ligação são: identidade, função quadrática, raiz quadrada, expoente, logística, logarítmica entre outras. No presente trabalho para ajuste dos dados serão utilizados e avaliados os modelos lineares generalizados com componente aleatório Poisson e Gama e as funções de ligação identidade e logarítmica como mostra a Tabela 6.

Tabela 6- Funções de ligação para os modelos lineares generalizados.

Funções de ligação	Formulação
Identidade	$\mu$
logarítmica	$\ln(\mu)$

A qualidade do ajuste de um MLG é avaliada através da função desvio. Um valor pequeno para a função de *desvio* indica que, para um número menor de parâmetros, se obtém um ajuste tão bom quanto o ajuste com o modelo saturado (PAULA, 2010). É fácil de verificar que o *desvio* é sempre maior ou igual a zero e decresce à medida que covariáveis vêm

sendo adicionadas ao modelo nulo, tomando obviamente o valor zero para o modelo saturado.

Levou-se em consideração para a seleção do melhor modelo de regressão os critérios estatísticos do *desvio*, Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC) e análise gráfica dos resíduos e para modelos de regressão o erro padrão da estimava (Syx) e R<sup>2</sup>aj.

A Tabela 7 apresenta as expressões das funções *desvio* para os modelos propostos que serão utilizados neste trabalho.

Tabela 7- Expressões da função *desvio* para os modelos utilizados no ajuste dos dados.

Poisson	$2 \left[ \sum_i y_i \ln \frac{y_i}{\hat{\mu}_i} - \sum_i (y_i - \hat{\mu}_i) \right]$
Gama	$2 \sum_i \left\{ -\ln \frac{y_i}{\hat{\mu}_i} + \frac{y_i - \hat{\mu}_i}{\hat{\mu}_i} \right\}$

Também se empregou a análise de Correlação de Pearson para quantificar a magnitude e direção das associações e influências de fatores do ambiente no incremento médio diamétrico, conforme (COSTA NETO, 1977). Utilizou-se para as interpretações os valores acima de -0,5 e +0,5.

Após a identificação da análise de correlação, ajustaram-se modelos do incremento médio em diâmetro em função das variáveis do ambiente no procedimento Stepwise. Para estudar as variáveis climáticas e do solo que mais influenciam no crescimento, foi utilizada a análise de correlação de Pearson, no software SAS. Essa análise permitiu identificar as variáveis com influência em maior ou menor grau sobre o crescimento.

Após a análise de correlação de Pearson foi utilizado o procedimento stepwise, no SAS para determinar o modelo de

regressão com o incremento médio anual sendo a variável dependente para os três locais de estudo.

Para isso foram utilizados dados referentes aos últimos quinze anos, obtidos da Rede do INMET, sendo para o município de Painel referente aos dados de Lages e para o município de São Joaquim e Urupema, os dados da Rede do INMET de São Joaquim. Os dados climáticos utilizados corresponderam aos dias de insolação total, dias de precipitação, precipitação total, temperatura média, média máxima, temperatura média mínima e umidade relativa do ar. O período considerado para cada ano foi entre os meses de maio e abril, que corresponde o período de crescimento da árvore.

## 2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.4.1 Análise de covariância do incremento médio em diâmetro.

Os resultados da medição dos anéis de crescimento de araucária apresentaram uma variabilidade de incremento em diâmetro no tempo. Para SJQ o incremento variou de 0,036 cm.ano<sup>-1</sup> e diâmetro mínimo de 41,1 cm a um incremento máximo de 2,392 cm.ano<sup>-1</sup> e diâmetro máximo de 106,6 cm e média de 0,340 cm.ano<sup>-1</sup> para incremento e 71,5 cm para diâmetro; para PNL se obteve incremento e diâmetro mínimo, máximo e médio de 0,068 cm.ano<sup>-1</sup> e 30,2 cm, 3,664 cm.ano<sup>-1</sup> e 86,6 cm e médio de 0,686 cm.ano<sup>-1</sup> e 60,2 cm respectivamente; e para URU um incremento e diâmetro mínimo de 0,069 cm.ano<sup>-1</sup> e 34,4 cm, e incremento e diâmetro máximo de 4,798 cm.ano<sup>-1</sup> e 89,4 cm, e incremento e diâmetro médio de 0,903 cm.ano<sup>-1</sup> e 54,8 cm.

Os valores encontrados demonstram o enorme potencial de crescimento da espécie e justificam a viabilidade econômica

no investimento de plantios homogêneos ou mistos de araucária.

Os resultados da análise de covariância indicam que as hipóteses de igualdade e nível tanto para incremento médio em diâmetro em função do diâmetro e em função da idade foram significativas, rejeitando a hipótese com uma probabilidade de <0,001 (Tabela 8). Os resultados viabilizam a necessidade de equações em separado para cada local, demonstrando que a araucária apresenta diferenças no padrão de crescimento e na capacidade produtiva para cada local de estudo.

Tabela 8- Análise de covariância para incremento em diâmetro em função de *d* e idade (*t*) de araucária das três áreas de estudo em sua fitorregião de ocorrência em Santa Catarina.

	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>ID</i>	Modelo	5	1091,29	218,26	1694,13	0,0001
	Local	2	775,45	377,72	2931,91	0,0001
	<i>d</i> *local	3	335,84	111,95	868,95	0,0001
	Erro	14145	1822,34	0,12		
	Total	14150	2913,63			
	FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
<i>ID</i>	Modelo	5	1534,00	306,80	3145,50	0,0001
	Local	2	755,45	377,72	3872,71	0,0001
	<i>t</i> *local	3	778,55	259,51	2660,77	0,0001
	Erro	14145	1379,63	0,09		
	Total	14150	2913,64			

Onde: 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 a altura do peito em cm, *t*: idade em anos; *ID*: incremento em diâmetro a altura do peito em cm.

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A Tabela 9 apresenta os critérios de ajuste e os modelos ajustados para o incremento médio em diâmetro em função do diâmetro e da idade para araucária em cada local do estudo.

Tabela 9- Coeficientes e estatística do ajuste do incremento em diâmetro em função do diâmetro e idade para araucária na fitoregião de ocorrência em Santa Catarina.

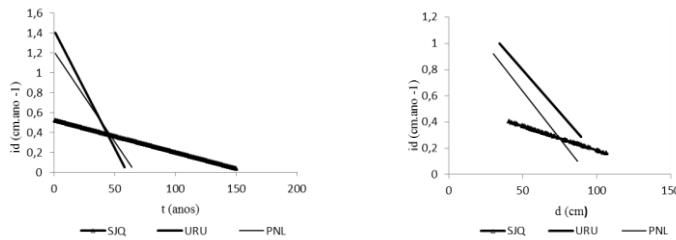
Locais	Coeficientes $ID(d)$		Critérios estatísticos	
	$\Phi_0$	$\Phi_1$	$S_{yx}$	$R^2aj.$
São Joaquim	0,55406	-0,00369*d		
Urupema	1,44149	-0,01295*d	0,36	0,37
Painel	1,35450	-0,01440*d		
Locais	Coeficientes $ID(t)$		Critérios estatísticos	
	$\Phi_0$	$\Phi_1$	$S_{yx}$	$R^2aj.$
São Joaquim	0,52180	-0,00325*t		
Urupema	1,42687	-0,02376*t	0,31	0,53
Painel	1,21306	-0,01818*t		

Onde:  $ID$ = incremento em diâmetro à altura do peito em cm,  $\Phi_0$ = intercepto,  $\Phi_1$ = coeficiente angular,  $S_{yx}$ = Erro padrão da estimativa,  $R^2aj.$  = Coeficiente de determinação ajustado,  $d$ = diâmetro à altura do peito,  $t$ = idade.

Fonte: Myrcia Minatti (2015).

Os modelos ajustados resultaram em um coeficiente  $\Phi_1$  negativo, demonstrando que ocorre uma perda proporcional do aumento do incremento com o aumento da dimensão e da idade (Figura 11(a) e (b)). Esse ajuste permite visualizar a necessidade de manejo da espécie com o aumento de dimensão e idade, pois o incremento diminui, não havendo aumento de produção de forma significativa, bem como com a retirada dos indivíduos proporcionaria a capacidade de regeneração da floresta e crescimento dos indivíduos mais jovens.

Figura 11- a) relação entre incremento médio em diâmetro em função  $d$  para araucária para os três locais; b) relação entre incremento função de  $t$  utilizando os valores ajustados para os três locais.



a) b)

Onde:  $id$ = incremento em diâmetro em  $\text{cm.ano}^{-1}$ ,  $t$ = anos;  $d$ = diâmetro á altura do peito em centímetros; SJQ= São Joaquim, URU= Uruprma e PNL= Painel.

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

A linha de regressão ajustada para incremento em diâmetro-diâmetro( $id-d$ )em cada região de estudo representam uma diminuição no incremento(PREZTSCH e DIELER, 2011)de maneira proporcional com aumento da  $t$  e do  $d$ . Os resultados mostram que com o aumento da dimensão e da idade as árvores apresentam incremento menor, ocorrendo uma perda de potencial de crescimento dos indivíduos, necessitando intervenções na floresta para diminuir a competição por nutrientes e luz para os indivíduos mais jovens.

A capacidade de ajuste das equações geradas está demonstrada pela distribuição gráfica dos resíduos, que são apresentados na Figura 12 e 13.

Os gráficos de distribuição dos resíduos para o ajuste da equação de  $id-d$  demonstram que estão distribuídos de forma homogênea, podendo-se gerar estimativas com precisão do incremento em função do diâmetro, contudo, à medida que o diâmetro aumenta o ajuste apresenta tendência a subestimar o valor do incremento.

Os gráficos de distribuição dos resíduos para o ajuste da equação de  $id-t$  , para todos os locais mostram que pode-se gerar estimativas das variáveis com um grau de confiabilidade, contudo, mostram que a medida que aumenta a idade a equação pode gerar sub ou super estimativas do incremento.

Figura 11- Gráficos de distribuição dos resíduos do ajuste do id-d para indivíduos de *Araucaria angustifolia*, em SC.

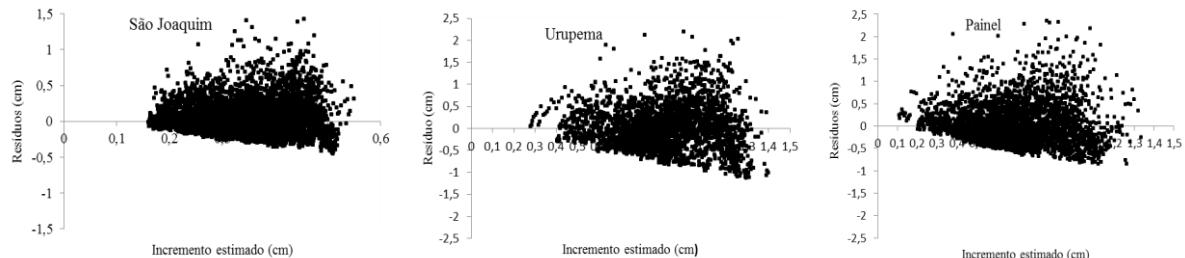
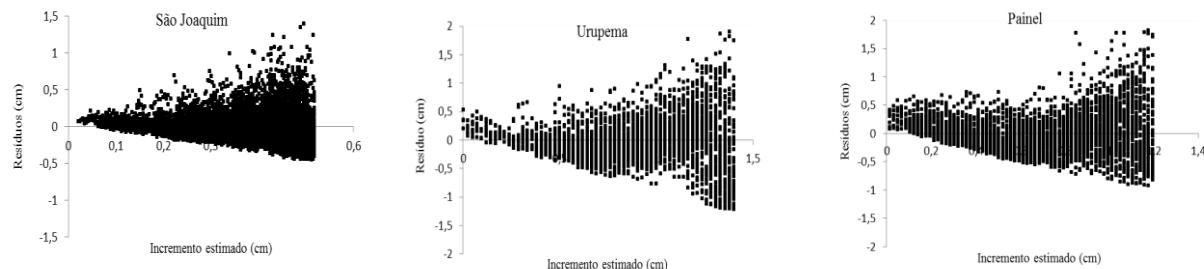


Figura 12- Gráficos de distribuição dos resíduos do ajuste do id-t para indivíduos de *Araucaria angustifolia*, em SC.



Produção do próprio autor, 2014.

Fonte:

## 2.4.2 Análise dendrocronológica do crescimento

Para SJQ o incremento variou de  $0,036 \text{ cm.ano}^{-1}$  a um incremento máximo de  $2,392 \text{ cm.ano}^{-1}$ , média de  $0,340 \text{ cm.ano}^{-1}$  e se conseguiu recuar 153 anos de idade; para PNL se obteve incremento mínimo, máximo e médio de  $0,068 \text{ cm.ano}^{-1}$ ,  $3,664 \text{ cm.ano}^{-1}$ ,  $0,686 \text{ cm.ano}^{-1}$  respectivamente e se atingiu um recuo de 68 anos; e para URU um incremento mínimo de  $0,069 \text{ cm.ano}^{-1}$ , incremento máximo de  $4,798 \text{ cm.ano}^{-1}$ , médio de  $0,903 \text{ cm.ano}^{-1}$  e recuo de 62 anos. Apesar de se tratar de recuo de idade e retirada do rolo no dap, pode-se inferir que algumas das árvores amostradas apresentam uma idade real com mais de 200 anos.

Para o povoamento de SJQ observou-se  $0,340 \text{ cm.ano}^{-1}$  valor encontrado por Stepka (2012), Durigan(1999). O incremento médio para PNL  $0,686 \text{ cm.ano}^{-1}$  e para URU  $0,903 \text{ cm.ano}^{-1}$ , valor citado por Mattos et al. (2007), Ricken (2012) que obtiveram média de crescimento de  $0,9 \text{ cm.ano}^{-1}$  e  $0,70 \text{ cm.ano}^{-1}$ , demonstrando o potencial para planos de manejo.

O crescimento acumulado em *d* para SJQ em cada classe estão na Figura 14. Os valores apresentados são os dados reais medidos no rolo de incremento, isto é, sem transformação matemática ou ajuste por equação. Para melhor visualização, dividiram-se os diâmetros em cinco classes diamétricas.

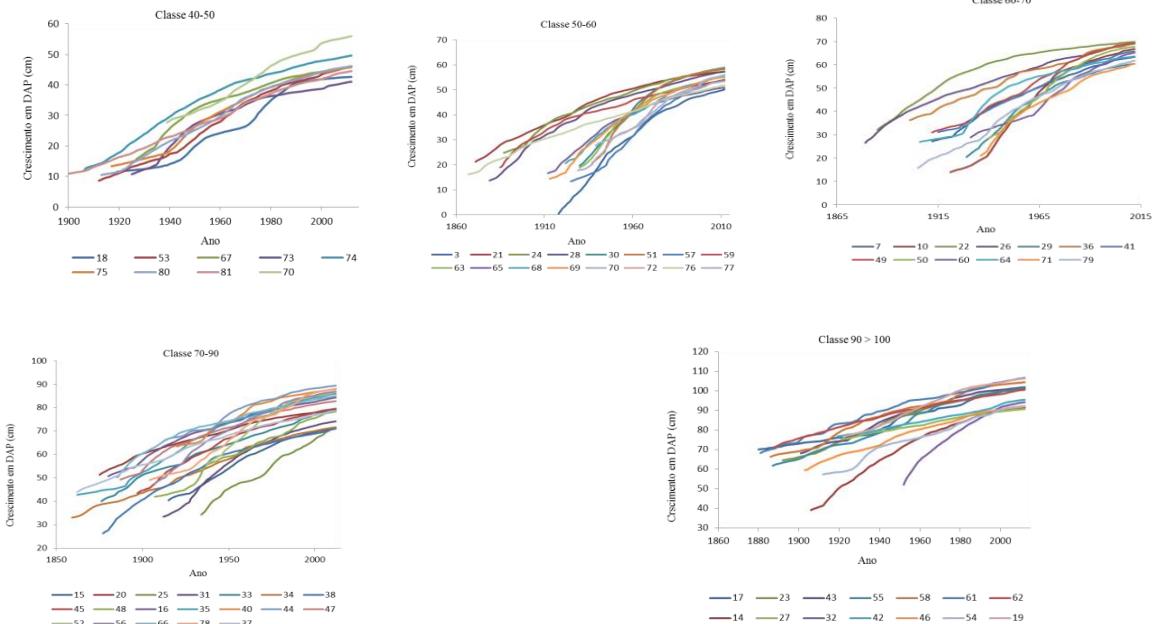
A análise dos rolos de incremento para as cinco classes de diâmetro mostra que as árvores amostradas apresentaram uma taxa média de incremento em diâmetro de  $0,31 \text{ cm.ano}^{-1}$  para os últimos 40 anos. Pela análise das curvas pode-se inferir que estas árvores já atingiram a capacidade de suporte em crescimento e que as taxas de incremento são inferiores a média que a espécie cresce.

As curvas nos anos iniciais apresentam uma inflexão do crescimento, o que permite concluir que nesse período as condições de crescimento foram favoráveis, dispondendo de

nutrientes e espaço de crescimento, fazendo com que atingissem o dossel superior na época recente.

As informações da análise real do acúmulo do crescimento diamétrico corroboram com a teoria do manejo florestal, pois esses indivíduos poderiam ser explorados comercialmente, favorecendo o crescimento de indivíduos mais jovens e com vigor de crescimento, bem como a conservação e continuidade de perpetuação do fragmento estudado.

Figura 12 - Crescimento em d para cada árvore dentro das cinco classes obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para São Joaquim.



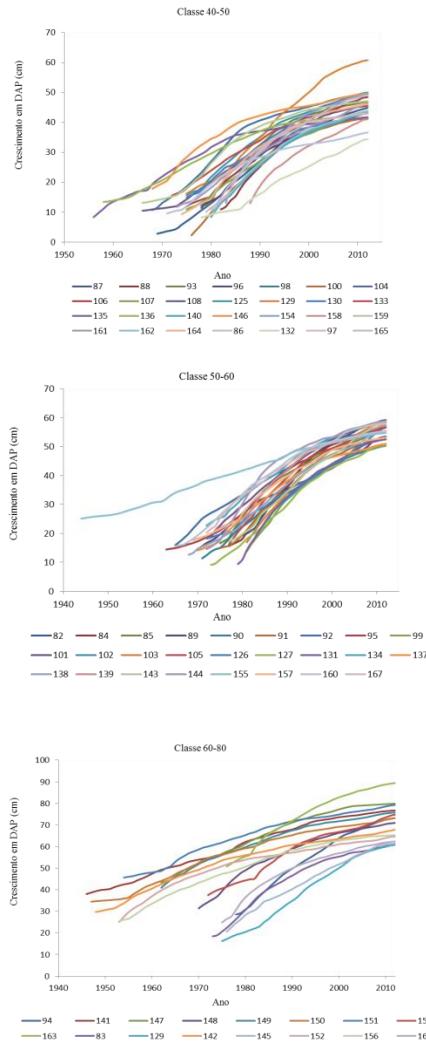
Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Para a análise dos rolos de incremento (Figura 15) para as três classes de diâmetro se demonstrou que existe diferença nas taxas de crescimento entre as classes no minicípio de Urupema, sendo que para Classe 40-50 o incremento médio foi de  $0,906 \text{ cm.ano}^{-1}$ , para Classe 50-60 o incremento foi de  $0,997 \text{ cm.ano}^{-1}$  e para Classe 60-80 de  $0,810 \text{ cm.ano}^{-1}$ , nota-se que na terceira classe o incremento médio diminui necessitando de intervenções de desbaste.

Observou-se uma taxa de crescimento considerado de 25 cm, do ano 1955 até 1982, mas nos últimos 30 anos apenas 4 cm, provando uma estagnação no seu crescimento na classe de 40-50. Para a classe 60-80 os indivíduos cresceram de 1978 até 2009 em média  $0,902 \text{ cm.ano}^{-1}$ , valor citado por Mattos *et al.*, (2007).

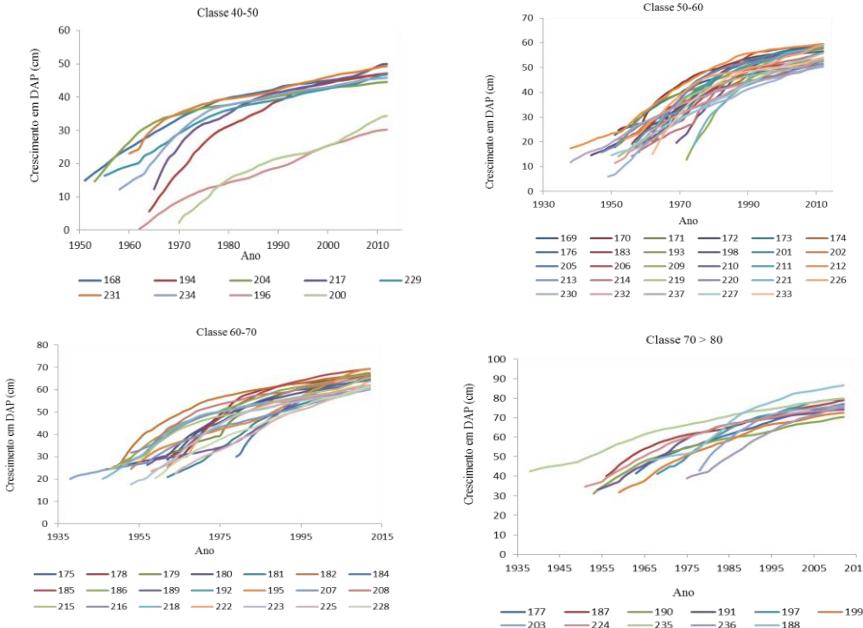
As curvas demonstram a idade em que culmina o diâmetro para araucária, com base nas amostras, o ponto de rotação técnica está em torno de 30 a 35 anos, indicando que na fase juvenil a araucária apresenta taxas de crescimento altas com rápida inflexão da curva de crescimento, época em que a espécie era explorada, e que garantiram continuidade de seu desenvolvimento.

Figura 13- Crescimento em DAP para cada árvore dentro das três classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para Urupema.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Figura 14- Crescimento em DAP para cada árvore dentro das quatro classes estudadas obtidos a partir de dados dos anéis de crescimento para Painel.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

De maneira geral, as quatro classes para Painel, demonstram redução de incremento e estagnação da curva de crescimento, do ano de 2005 em diante com poucas árvores apresentando ainda inflexão na curva, tendo atingido a capacidade de suporte. Na análise das curvas (Figura 16), indica que entre os anos de 1955 a 2005 houve o maior incremento com uma média de  $0,74 \text{ cm.ano}^{-1}$ , abaixo da expectativa da espécie compromendo o desenvolvimento individual e do povoamento.

A regeneração dos indivíduos esta prejudicada, pois a média da Classe 40-50 de  $0,637 \text{ cm.ano}^{-1}$  é menor que a média do povoamento indicando alta competição pois a presença de muitos indivíduos velhos ocupando espaço e faz com que a luz não incida sobre os indivíduos jovens para que possam fazer fotossíntese e crescer.

As curvas demonstram a idade em que culmina para araucária, com base nas amostras, está em torno de 50 a 35 anos, indicam que na fase juvenil a araucária apresenta taxas de crescimento altas com rápida inflexão da curva de crescimento.

#### **2.4.3 Correlação e modelagem entre incremento médio diamétrico e fatores do ambiente**

Os resultados obtidos do incremento médio apresentou correlação positiva com cálcio ( $r= 0,53$ ), alumínio ( $r= 0,59$ ), soma de bases ( $r= 0,68$ ) e matéria orgânica ( $r= 0,68$ ) que influenciam no crescimento para o local de São Joaquim.

Para Urupema o incremento médio obteve correleção positiva com o pH ( $r= 0,59$ ), magnésio ( $r= 0,52$ ), matéria orgânica ( $r= 0,55$ ), carbono orgânico ( $r= 0,54$ ), fósforo ( $r= 0,61$ ), potássio ( $r= 0,59$ ) e areia ( $r= 0,66$ ). E para Painel mostraram correlação positiva apenas com a CTC efetiva ( $r= 0,61$ ).

Estudos realizados por Van Goor (1965), De Hoog & Dietrich (1979), Cassol (1982), Hoppe (1980) e Hess (2006),

enfatizam que o crescimento da espécie em estudo é dependente de matéria orgânica, cálcio, magnésio e saturação de bases.

A correlação positiva com a matéria orgânica explica a importância da mesma com as propriedades químicas, físicas e biológicas, pois é fonte dos principais nutrientes e decomposição de biomassa para manter a estrutura e estabilidade do solo.

O fósforo tem grande importância no crescimento vegetal, por ser responsável pela transferência de energia na síntese de substância orgânica (PRIMAVESI, 2002).

A resistência vegetal ao frio seca e doenças depende em larga escala de um abastecimento suficiente de potássio (PRIMAVESI, 2002).

O cálcio tem grande importância no desenvolvimento e funcionamento das raízes, além de ser necessário nas formações de folhas das plantas (COELHO, 1973). O magnésio é um dos constituintes da clorofila (COELHO, 1973). Os teores de cálcio e magnésio representam um excelente elemento neutralizante da acidez do solo (SILVA, 1997).

A correlação positiva do incremento com a de saturação de bases (V%) é um fator químico do solo com maior significância sobre a qualidade de sítio da *Araucaria angustifolia* (DE HOOGH e DIETRICH (1979).

A correlação do incremento médio da araucária com os parâmetros meterológicos apresentou correlação negativa para insolação total para SJQ ( $r = -0,36$ ), URU ( $r = -0,47$ ) e PNL ( $r = -0,07$ ) e para precipitação total em SJQ ( $r = -0,36$ ), e correlção positiva para URU ( $r = 0,09$ ) e PNL ( $r = 0,17$ ) e temperatura máxima média correlação negativa para SJQ ( $r = -0,44$ ), URU ( $r = -0,39$ ) e PNL ( $r = -0,31$ ), demonstrando a importância dos parâmetros climáticos na variação da atividade cambial.

Oliveira et al., (2009) evidencia a importância que o comprimento do dia e temperatura são os fatores do ambiente

que melhor explicam o crescimento de araucária em estudo na Floresta Nacional de São Francisco de Paula.

Stepka (2012) observou nos seu estudo com araucária que há correlação negativa com a precipitação total ( $r = -0,30$ ) em Caçador, e com a temperatatura máxima média correlação negativa ( $r = -0,40$ ;  $-0,42$  e  $-0,49$ ) em Caçador, São Francisco de Paula e Três Barras, respectivamente.

A maioria correlacionou-se de maneira negativa com os valores de incremento, demonstrando que os dados meteorológicos em questão influenciaram inversamente o incremento médio das árvores. Essas correlações baixas e negativas podem estar relacionadas as distâncias das estações meteorológicas com os locais das coletas de estudo.

A correlação positiva do pH e da CTC efetiva com o cálcio, magnésio, sódio contribui para adsorção dos nutrientes pelas trocas de cargas.

A correlação positiva do carbono orgânico com a matéria orgânica possui papel fundamental nos processos de humificação e mineralização que proporcionam condições de crescimento, além de fornecer nutrientes que seram absorvidos pelas raízes.

A idade obteve correlação positiva com a porosidade, pois boa porosidade influência no crescimento das raízes, boa aeração do solo e boa infiltração de água e nutrientes.

O procedimento stepwise obteve significância de até 0,15 e oito passos para o modelo com as variáveis testadas para São Joaquim. A seleção atingiu  $R^2$  modelo 0,9978, para a temperatatura máxima com a probabilidade de  $F = 0,0970$  indicando ser a principal variável para o crescimento. Oliveira et al., (2009) cita que a temperatatura é um dos fatores do ambiente que melhor explicam o crescimento de araucária em estudo na Floresta Nacional de São Francisco de Paula.

O modelo de regressão final para São Joaquim:

$$\text{IMA} = 0,25690 - 0,00562*T - 0,000143*PT + 0,00227*T_{mmín} - 0,00027*K + 0,06417*CTC_{ef.} - 0,000159*IT - 0,000738*T_{mmáx}$$

Os passos do procedimento stepwise para o ajuste do modelo para Uupema com significância de 0,15 e oito passos para o ajuste A seleção atingiu  $R^2$  modelo de 0,9876 para precipitação em números de dias com a probabilidade de  $F=0,0664$ . Cattaneo et al., 2013 encontrou relação do crescimento com precipitação entre árvores machos e fêmeas.

O modelo de regressão final para Urupema:

$$\text{IMA} = 0,66614 - 0,02852*T + 0,000102*PT - 0,010781*Ca + 0,16631*Mg - 0,00244*Arg + 0,00367*NPD - 0,00287*P$$

Os passos do procedimento stepwise obteve significância de até 0,15 e quatro passos para o modelo com as variáveis testadas para Painel. A seleção atingiu  $R^2$  modelo 0,4994, para o pH SMP com a probabilidade de  $F=0,0032$  indicando ser a principal variável para o crescimento.

O modelo de regressão final para Painel:

$$\text{IMA} = 1,90973 - 0,0448*SMP - 0,0353*TMmáx - 0,5905*Dens$$

## 2.5 CONCLUSÃO

A análise de covariância comprovou que para os três locais separados é necessário o ajuste de modelos matemáticos, para compreender as diferenças na capacidade produtiva e em crescimento para araucária.

A *Araucaria angustifolia* com o uso das técnicas da dendrocronologia permitem reconstruir o crescimento e ecologia da espécie que apresenta potencial de crescimento dos anéis.

As curvas de crescimento indicam a estagnação nas taxas de crescimento, necessitando de tratamentos silviculturais e intervenções de corte para o aumento da dinâmica e estrutura do povoamento.

A correlação do incremento médio anual com a precipitação e nutrientes do solo demonstraram a necessidade de gerar modelos indicando condições favoráveis de crescimento e qualidade de sítio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATTANEO, N.; PAHR, N.; FASSOLA, H.; LEPORATI, J.; BOGINO, S. Sex-related, growth-climate association of *Araucaria angustifolia* in the Neotropical ombrophilous woodlands of Argentina. **Dendrochronologia**, v. 31, P. 147 - 152. 2013.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do Manejo de Resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.31:1381- 1396, 2007.

CASSOL C. A. **Relações entre características do solo, crescimento eprodutividade em povoamentos implantados de Araucaria angustifolia(Bert.) O. Ktze. em Passo Fundo – RS.** Curitiba,1982, Dissertação(Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias – UniversidadeFederal do Paraná.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística.** Editora Edgard Blücher. São Paulo. 1977. 264 pp.

COOK E.R. & KUIRIUKSTIS L. A.(1990) **Methods of dendrochronology.** Applications in the Environmental Science. Kluwer. Amsterdan.

DE HOOGH, R. J.; DIETRICH, A. B. Avaliação de sítios para *Araucariaangustifolia* ( Bert.) O. Ktze. em povoamentos artificiais. **Brasil Florestal**, v. 10,n. 37, p. 19-71, 1979.

**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.

**ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J.R.R. *Idade e crescimento das árvores.*** Brasilia: Universidade de Brasilia. Departamento de Engenharia Florestal, 2005. 43p.il.- (Comunicacoes tecnicas florestais; ISSN 1517-1922; v.7, n.1).

**EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa,. 212p. 1997

**EMBRAPA-SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.** Brasília.2012.418p.

**EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI.** **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina.**2002.

**FRITTS, H.C. Tree Rings and Climate.** London: Academic Press, 1976. 567 p.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy, 1: 383-411, 1986.

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

HOPPE J. M. **Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar edados de incremento da Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze., na floresta nacional de Passo Fundo RS**. Curitiba, 1980, Dissertação (Mestradoem Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná.

IAWA COMMITTE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **Iawa Bulletin New Series**. Leiden Netherlands, v.10, n3, p.219-332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**, 2012. 2v.

LINTAB\_. **Tree-ring measurement station**. Rimmtech. Hardtstr. 20-22. D-69124 Heidelbert. Germany, 2000.

LISI, C. S. **Anéis de crescimento de árvores da floresta estacional semi-decídua e mudanças climáticas globais**. In: I

Simpósio Brasileiro de Anatomia da Madeira, 2007, Mairiporã. I Simpósio Brasileiro de Anatomia da Madeira. São Paulo, 2007. v. único. p. 16-17.

**MACKAY, E. Dasometria, teoria y técnica de las mediciones forestales.** Madrid:Escuela Tecnica Superior de Ingeniero de Montes, 1964. p.549-687.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VIELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura – pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 42:873-882, 2007.

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).

**NAGEL, J.; ATHARI, S. Stammanalyse und ihre Durchfuhrung.** Allgemeine Forstund Jagdzeitung, Frankfurt am Main, v. 153, n. 9/10, p. 179-182, 1982.

NASCIMENTO, A. T. R.; 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, n. 1, p. 105–119, 2001.

NEGRELLE, R.; SILVA, F. Fitossociologia de um trecho de floresta com Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. no município de Caçador- SC. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo, p. 37-54, 1992.

OLIVEIRA, J. M.; ROING, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**. 2009.

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

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

PAULA, G. A.; **Modelos de regressão com apoio computacional**. Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: [http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro\\_MLG.pdf](http://www.ime.unicamp.br/~cnaber/Livro_MLG.pdf). Acesso em: 05/07/2013.

PRETZSCH, H. **Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model**. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 664 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**, v. 25, p.355-369, nov. 2011. DOI 10.1007/s00468-010-0510-1.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo : Nobel, 2002. 549 p.

PRODAN, M. et al. **Mensura Forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1997, 561 p.

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.

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

ROSOT, M. A. D.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DISPERATI, A. A.; EMERENCIANO, D.B. Analise de tronco digital: uma nova metodologia para a medicao de aneis de crescimento. **Revista Floresta**. v. 33, n.3. p. 235-255, 2003.

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

**SAS Institute. The SAS System for Windows. Cary: SAS Institute. 2012.**

**SAS/STAT. User's guide – release 9.1.3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc. 2012.**

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

**SCHWEINGRUBER, F. H. Tree-rings and environment dendroecology.** Vienna: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 p. 1996.

**SCHWEINGRUBER, F. Trees and Wood in dendrochronology.** Morphological, anatomical and tree-ring analytical characteristics of trees frequently used in dendrochronology. Springer-Verlag. Germany. 1983. 402 p.998. 236 p.

**SCOLFORO, J.R. Biometria florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não-linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento, e peso de matéria seca.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Dendrochronology of *Araucaria angustifolia* in southern Brasil: Preliminary results. **Revista Floresta**, Curitiba, v.18, n.12, p.55-61, 1988.

SILVA, A. S. **Dinâmica de colonização de Araucaria angustifolia em campos esua influência na expansão florestal no sul do Brasil.** 109 f. Dissertação(Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.2009.

SILVA O. **Fertilizantes corretivos e solos:** o tripé das plantas. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola,1997, 55 p.

STOKES, M.; SMILEY, T. **An introduction to tree-ring dating.** Chicago and London. The University of Chicago Press. USA. 1968. 73 p.

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

STOYAN, D.; PENTTINEN, A. Recent applications of point process methods in Forestry Statistics. **Statistical Science**, v. 15, n. 1, p. 61-78, 2000.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TURKMAN, M. A. A.; SILVA, G. L. **Modelos Lineares Generalizados** – da teoria à prática. Universidade de Lisboa, 2000. Disponível em: <http://docentes.deio.fc.ul.pt/maturkman/mlg.pdf> . Acesso em 05/07/2013

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

VAN GOOR, C. P. **Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliottii* Eng. Var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., no estado de São Paulo.** Revista silvicultura em São Paulo, v.4, p. 349-366,1965.

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.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da C.; NEVES, M. C. P. Diversidade Microbiana como Indicadores da Qualidade do Solo. **Cadernos de ciência & tecnologia.** 20, 2003.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados permitem concluir que a legislação atual dificulta o uso sustentável da espécie, sugerindo que o corte seletivo sustentável, promoveria a regeneração natural e aumento nas taxas de crescimento dessa espécie.

A reformulação na legislação é necessário para alavancar o incentivo do manejo de florestas nativas de forma sustentável e plantios homogênicos ou mistos.

A importância de mais estudos de dendrocronologia e morfometria em diferentes locais é necessário para o conhecimento da estrutura e dinâmicas das florestas, favorecendo a regeneração e perpetuação da espécie.



## Apêndice A – Análises químicas de solo do município de São Joaquim.

Amostra	pH - H <sub>2</sub> O	SMP	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC efet. (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Bases (sat)(%)	M.O (%)	C.O (%)	P Mehlich (mg/dm <sup>3</sup> )	Na (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	CTC pH 7.0 (cmolc/dm <sup>3</sup> )
1	4	3,9	3,89	1,77	5,68	6,52	8,96	5,3	3,07	1,9	28	105	54,53
2	3,9	4,2	3,98	2,03	3,48	6,92	8,12	4,7	2,73	1,1	53	140	40,87
3	4,3	4,2	3,02	1,44	3,84	14,5	20,93	5,4	3,13	1,6	25	126	39,28
4	4,2	4,2	2,97	1,11	4,99	8,24	19,28	6,3	3,65	2,2	42	93	38,82
5	4,2	4,2	3,79	1,38	4,21	5,56	7,02	4,5	2,61	0,8	25	123	39,98
6	4,7	4,6	8,63	2,7	1,17	7,15	13,17	4,6	2,67	0,8	28	164	33,55
7	4,5	4,2	9,02	2,74	1,73	5,44	9,75	2,7	1,57	4	35	157	46,66
8	4,2	4,1	2,69	1,01	4,36	4,85	4,93	4,3	2,49	0,8	46	140	42,66
9	4	4	2,87	1,26	4,66	5,83	6,78	4,3	2,49	0,8	32	126	47,75
10	4,2	4	2,5	1,12	4,87	7,03	15,85	5,2	3,02	0,6	25	133	47,26
11	4,4	4,4	4,58	1,59	2,43	7,02	6,8	6,4	3,71	0,8	46	140	33,93
12	4,2	4,2	3,08	1,19	4,39	7,78	14,73	5	2,9	0,8	28	157	43,27
13	4,1	4,1	2,31	1,29	3,95	6,74	8,71	4,6	2,67	1	35	140	42,56
14	4	4,4	1,17	0,75	4,63	6,74	8,37	5,1	2,96	0,8	25	108	29,6
15	4,1	4	1,92	1,11	4,13	7,01	48,51	4,9	2,84	0,8	46	154	46,72

Sendo: Ca= Cálcio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Mg= Magnésio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Al=Alumínio em cmolc/dm<sup>3</sup>, CTC efet.= CTC efetiva em cmolc/dm<sup>3</sup>, Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em mg/dm<sup>3</sup>, Na= Sódio em mg/dm<sup>3</sup>, K= Potássio em mg/dm<sup>3</sup>.

Fonte: Laboratório de Análises de Solos – UDESC (2014).

Apêndice B – Análises químicas de solo do município de Urupema .

Amostra	pH - H <sub>2</sub> O	SMP	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC efet. (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Bases (sat)(%)	M.O (%)	C.O (%)	P Mehlich (mg/dm <sup>3</sup> )		Na (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	CTC pH 7.0 (cmolc/dm <sup>3</sup> )
1	4,4	4,3	2,48	1,22	3,43	8,38	13,89	5,6	3,25	19,7	67	490	35,65	
2	4,4	4,3	2,51	1,1	2,88	7,04	11,5	5,3	3,07	7	25	217	34,86	
3	4,1	4,1	1,35	0,6	4,02	6,29	5,56	5,3	3,07	0,8	25	126	40,87	
4	4	4,1	1,4	0,77	4,08	6,61	6,15	5,1	2,96	0,8	8	140	41,13	
5	3,9	3,9	1,65	0,61	4,83	7,38	4,98	4,5	2,61	1,9	8	113	51,15	
6	4,3	4,2	1,64	1,16	2,82	6,34	9,25	5,1	2,96	4,8	42	280	38,02	
7	4	4,2	0,93	0,47	3,27	5,12	5,08	4,4	2,55	1,1	25	175	36,35	
8	4	4,1	0,9	0,4	4,58	6,16	3,92	4,2	2,44	0,8	25	108	40,18	
9	3,8	3,9	0,54	0,27	5,2	6,47	2,55	5,3	3,07	1,1	46	180	49,87	
10	3,8	3,8	1,31	0,73	4,81	7,18	4,17	5,7	3,31	0,8	32	130	56,87	
11	4	4	0,87	0,5	3,27	5,09	4,03	3,8	2,2	1,3	8	175	45,12	
12	4	3,9	0,38	0,31	4,73	5,72	1,99	4,8	2,78	0,8	8	116	49,59	
13	3,9	4,1	1,42	0,64	4	6,33	5,69	5,6	3,25	0,8	25	105	40,93	
14	4	3,9	1,48	0,74	4,38	6,9	4,94	3,8	2,2	0,8	25	119	51,12	
15	4	4,5	1,58	0,63	3,47	6,02	9,46	3,7	2,15	0,8	8	133	26,95	

Sendo: Ca= Cálcio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Mg= Mgnésio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Al=Alumínio em cmolc/dm<sup>3</sup>, CTC efet.= CTC efetiva em cmolc/dm<sup>3</sup>, Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em mg/dm<sup>3</sup>, Na= Sódio em mg/dm<sup>3</sup>, K= Possálio em mg/dm<sup>3</sup>.Fonte: Laboratório de Análises de Solos – UDESC (2014).

## Apêndice C – Análises químicas de solo do município de Painel .

Amostra	pH - H <sub>2</sub> O	SMP	Ca (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Mg (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Al (cmolc/dm <sup>3</sup> )	CTC efet. (cmolc/dm <sup>3</sup> )	Bases (sat)(%)	M.O (%)	C.O (%)	P Mehlich (mg/dm <sup>3</sup> )	Na (mg/dm <sup>3</sup> )	K (mg/dm <sup>3</sup> )	CTC pH 7.0 (cmolc/dm <sup>3</sup> )
1	4,2	4,3	1,85	0,84	3,5	6,52	8,96	5,3	3,07	1,1	32	130	33,72
2	4,1	4,1	2,06	1,01	3,51	6,92	8,12	4,7	2,73	1,4	8	133	42,01
3	4,3	4	8,12	3	3,04	14,5	20,93	5,4	3,13	0,8	8	133	54,76
4	4,6	4,4	4,64	1,57	1,7	8,24	19,28	6,3	3,65	0,8	32	130	33,94
5	4,2	4,2	1,51	0,78	2,86	5,56	7,02	4,5	2,61	1,7	25	123	37,1
6	4,4	4,3	2,92	1,42	2,5	7,15	13,17	4,6	2,67	0,8	32	123	35,35
7	4,5	4,4	1,54	1,08	2,48	5,44	9,75	2,7	1,57	1,7	8	133	30,36
8	4,3	4,2	0,93	0,6	3,06	4,85	4,93	4,3	2,49	2,1	8	101	36,29
9	4,2	4,2	1,35	0,8	3,32	5,83	6,78	4,3	2,49	1,4	42	140	37,01
10	4,4	4,7	2,33	1,19	3,38	7,03	15,85	5,2	3,02	1,6	14	52	23,05
11	4,2	4,4	1,05	0,79	5,02	7,02	6,8	6,4	3,71	2,1	16	62	29,4
12	4,4	4,5	2,34	1,71	3,57	7,78	14,73	5	2,9	0,8	16	64	28,61
13	4,3	4,4	1,55	0,93	4,13	6,74	8,71	4,6	2,67	1	16	52	30,01
14	4,2	4,5	1,14	0,95	4,51	6,74	8,37	5,1	2,96	1,1	16	54	26,63
15	4,2	6,4	1,48	0,98	4,38	7,01	48,51	4,9	2,84	0,8	32	68	5,43

Sendo: Ca= Cálcio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Mg= Mgnésio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Al=Alumínio em cmolc/dm<sup>3</sup>, CTC efet.= CTC efetiva em cmolc/dm<sup>3</sup>, Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em mg/dm<sup>3</sup>, Na= Sódio em mg/dm<sup>3</sup>, K= Possálio em mg/dm<sup>3</sup>.

Fonte: Laboratório de Análises de Solos – UDESC (2014).

### Apêndice D – Análises físicas do solo para os três locais.

Ponto	São Joaquim				Urupema				Painel							
	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad e total do solo (%)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad e do solo (%)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Densidad e do solo (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad e do solo (%)	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	
1	0,96	72,02	30,53	22,93	46,52	0,83	68,56	35,94	24,61	39,44	0,95	63,87	34,96	37,00	28,04	
2	0,80	69,59	50,95	32,41	16,63	0,91	65,53	31,21	25,80	42,97	1,01	61,80	15,10	42,17	42,72	
3	0,83	68,39	45,90	37,45	16,64	0,87	66,959	17,74	34,41	47,84	0,99	62,52	17,73	52,20	30,05	
4	0,78	70,30	37,84	32,17	29,98	1,07	59,571	14,84	59,11	26,03	0,83	68,63	15,25	61,44	23,30	
5	0,77	70,82	37,86	35,31	26,82	0,90	65,994	27,19	27,80	45,00	1,02	61,26	19,10	50,00	30,89	
6	0,76	71,45	34,46	23,05	42,48	0,81	69,335	21,91	28,37	49,70	0,95	63,82	12,56	55,15	32,27	
7	0,66	75,02	68,85	11,56	19,58	0,92	65,095	35,06	31,20	33,73	0,98	62,76	9,436	38,39	52,17	
8	0,90	65,81	41,41	36,87	21,70	0,89	66,409	14,31	37,86	47,83	0,98	62,81	15,57	47,09	37,32	
9	0,77	70,67	51,09	32,47	16,42	0,94	64,351	12,29	36,37	51,32	0,94	64,17	11,28	42,57	46,13	
10	0,88	66,83	51,54	33,87	14,57	0,83	68,521	18,23	46,79	34,96	0,98	62,95	19,73	42,04	38,21	
11	0,73	72,49	41,49	27,55	30,94	0,93	64,749	7,44	36,33	56,22	0,89	66,15	11,59	56,15	32,30	
12	0,63	75,97	48,77	28,10	23,12	0,77	70,618	17,06	36,17	46,75	0,94	64,43	19,50	38,36	42,17	
13	0,82	69,12	41,64	31,29	27,05	0,88	66,608	10,77	40,73	48,49	0,96	63,52	8,45	24,66	66,88	
14	0,82	69,11	29,85	33,41	36,72	0,90	65,860	14,77	39,75	45,47	1,00	61,91	11,28	42,59	46,11	
15	0,845	68,22	40,566	32,10	27,32	0,947	64,274	10,34	42,51	47,14	1,01	61,55	19,75	42,03	38,21	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apêndice E – Análise de Correlação do incremento médio e idade com as variáveis do ambiente e do solo para São Joaquim.

	Idade	UR	SMP	Ph 7,0	Mg	Al	CTC	Sat. B	M.O	C.O	P	Na	K	CTC ef.	Dens	Poros	Areia	Argila	Silte
Inc	-0,965			0,532		0,596		0,685	0,684										
Idade	1					-0,548		-0,727	-0,726										
Ins.tl		-0,544										0,620		0,618				0,510	
Precit		0,977																	
Tmmáx	0,698		0,725	0,973	0,722	0,544	0,967										0,594	0,728	0,699
Tmmín	0,752							0,858	0,851	0,527		0,852	0,604	0,848			0,935		0,560
pH7,0								0,748	0,747			0,545					0,544		0,566
SMP		1										0,938		0,886				0,534	
Ca			1									0,864		0,862					0,572
Mg				1								0,563							0,895
Al					1											0,565		-0,823	
CTC						1											-0,660		
Sat.B							1					0,688		0,694		0,815		0,887	
C.O								1										-0,691	
Na									1										
																		0,98	

Sendo: Idade= Idade em anos, Inc= Incremento médio em  $\text{cm.ano}^{-1}$ , Ins.tl= Insolação total em dias, Precit= Precipitação total em mm, Tmmáx= Temperatura média máxima em  $^{\circ}\text{C}$ , Tmmín= Temperatura média mínima em  $^{\circ}\text{C}$ , Ca= Cálcio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Mg= Mgnésio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Al=Alumínio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , CTC efet.= CTC efetiva em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em  $\text{mg/dm}^3$ , Na= Sódio em  $\text{mg/dm}^3$ , K= Possálio em  $\text{mg/dm}^3$ , Dens= Densidade do solo em  $\text{g/cm}^3$ , Poros= Porosidade do solo em %.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Apêndice F – Análise de Correlação do incremento médio e idade com as variáveis do ambiente e do solo para Urupema.

	Idade	NDP	Tmm áx	UR	pH <sub>7,0</sub>	SMP	Ca	Mg	Al	CTC	Sat.B	M.O	C.O	P	Na	K	CTC. ef	Dens	Poros	Areia	Argil a	
Inc	-				0,592						0,55	0,549	0,613		0,590					0,661		
Idade	0,914										1											
Idade	1					0,602		0,520	0,511			0,50	0,502	0,574		0,544					0,692	
Ins.tl		0,934	0,665			0,681				0,800					0,909		0,538	0,864	0,868			
Precit				0,977																		
pH					1	0,628	0,711	0,788	-		0,832			0,747		0,728	-		0,575	-	0,565	
SMP						1	0,536			0,752		0,775					0,592				0,986	
Ca							1	0,897		0,706	0,905			0,691		0,569				0,542		
Mg								1	0,532	-	0,621	0,876			0,712		0,691			0,508		
Al									1	-0,704							0,746					
CTC										1	0,533		0,500	0,657	0,541	0,502						
Sat.B											1			0,796		0,752	-			0,536		
M.O												1			0,552							
C.O													1		0,553							
P													1	0,710	0,949			0,639	-	0,539		
Na														1	0,771							
K															1			0,589	-	0,519	0,544	
Dens																1	0,999				0,544	
Poros																	1				-	
Areia																		1		0,631		

Sendo: Idade= Idade em anos, Inc= Incremento médio em  $\text{cm.ano}^{-1}$ , NDP= Número de dias de precipitação em dias, Ins.tl= Insolação total em dias, Precit= Precipitação total em mm, Tmmáx= Temperatura média máxima em  $^{\circ}\text{C}$ , UR= Umidade relativa em %, Ca= Cálculo

em cmolc/dm<sup>3</sup>, Mg= Mgnésio em cmolc/dm<sup>3</sup>, Al=Alumínio em cmolc/dm<sup>3</sup>, CTC efet.= CTC efetiva em cmolc/dm<sup>3</sup>, Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em mg/dm<sup>3</sup>, Na= Sódio em mg/dm<sup>3</sup>, K= Possásio em mg/dm<sup>3</sup>, Dens= Densidade do solo em g/cm<sup>3</sup>, Poros= Porosidade do solo em %, Areia= Areia em %, Argila= Argila em %.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## Apêndice G – Análise de Correlação do incremento médio e idade com as variáveis do ambiente e do solo para Painel.

Sat.B	1	0,53	0,55	
M.O	1	0,99	1	0,56
C.O		9		3
P		1		4
K				0,56
Dens			2	2
				0,52
				9
			1	0,53
			7	5
				0,99
			1	9

Sendo: Idade= Idade em anos, Inc= Incremento médio em  $\text{cm.ano}^{-1}$ , NDP= Número de dias de precipitação em dias, Ins.tl= Insolação total em dias, Precl= Precipitação total em mm, Tmmáx= Temperatura média máxima em  $^{\circ}\text{C}$ , Tmmín= Temperatura média mínima em  $^{\circ}\text{C}$ , UR= Umidade relativa em %, Ca= Cálcio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Mg= Mgnésio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Al=Alumínio em  $\text{cmolc/dm}^3$ , CTC efet.= CTC efetiva em  $\text{cmolc/dm}^3$ , Bases (sat)= Saturação de Bases em %, M.O= Matéria orgânica em %, C.O= Carbono orgânico em %, P Mehlich= Fosfóro pelo método de Mehlich em  $\text{mg/dm}^3$ , Na= Sódio em  $\text{mg/dm}^3$ , K= Possásio em  $\text{mg/dm}^3$ , Dens= Densidade do solo em  $\text{g/cm}^3$ , Poros= Porosidade do solo em %, Areia= Areia em %, Silte= Silte em %.

Fonte:

Elaborado

pelo

autor.

