

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

**ARQUITETURA E ALOMETRIA DE ESPÉCIES  
ARBÓREAS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL  
SUBTROPICAL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Malcon do Prado Costa**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

# **ARQUITETURA E ALOMETRIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

**Malcon do Prado Costa**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura (Caracterização de florestas e ecossistemas associados), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal.**

**Orientador: Prof. Dr. Solon Jonas Longhi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

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

do Prado Costa, Malcon  
Arquitetura e alometria de espécies arbóreas em uma  
Floresta Estacional Subtropical / Malcon do Prado Costa.-  
2014.  
67 p.; 30cm

Orientador: Solon Jonas Longhi  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2014

1. Silvologia 2. Arquitetura arbórea 3. Alometria de  
plantas 4. Floresta Estacional 5. Fitossociologia I.  
Jonas Longhi, Solon II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Florestal**

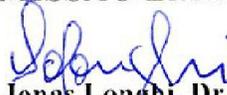
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**ARQUITETURA E ALOMETRIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UMA  
FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

elaborada por  
**Malcon do Prado Costa**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
**Solon Jonas Longhi, Dr.** (PPGEF / UFSM)  
(Presidente/Orientador)

  
**Ana Paula Moreira Rovedder, Dra.** (PPGEF / UFSM)

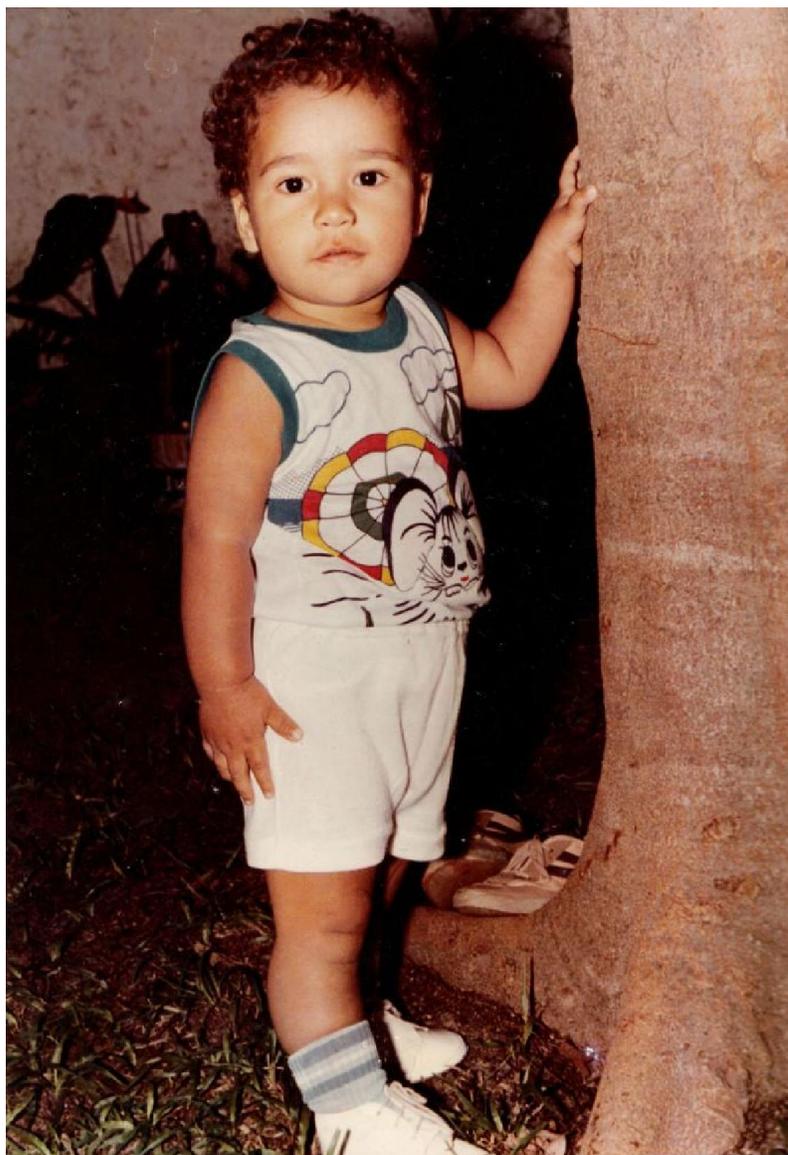
  
**Flavio Antonio Maes dos Santos, Dr.** (IB / UNICAMP)

**Mauro Valdir Schumacher, Dr.nat tech.** (PPGEF / UFSM)

  
**Sônia Maria Eisinger, Dra.** (PPGAGROBIO / UFSM)

Santa Maria, 22 de janeiro de 2014.

## DEDICATÓRIA



Fonte: Arquivo pessoal de Maria Rosa do Prado.

Título: Tocando o Flamboyant.

Fotógrafo: Não identificado.

Data: 1984.

Local: Rua Joaquim Nabuco, 57 – Araruama / RJ.

Personagens: Do lado esquerdo, Malkito com 1 ano de idade - *Malcon do Prado Costa / Homo sapiens* L. var. *Dendroecologicus*; Do lado direito, o Flamboyant - *Delonix regia* L.; No chão, a Grama de São-Carlos ou Missioneira - *Axonopus compressus* (Sw.) P. Beauv.; No canteiro ao fundo, uma Babosa - *Aloe vera* L. - em consórcio com um Antúrio - *Anthurium andraeanum* Lind.; E na raiz da árvore, o tênis de futebol de salão do senhor Grimaldo Barbosa Costa, sendo que a Dona Maria Rosa do Prado se escondeu para não haver choro e pedidos por colo.

Comentário: Desde os primeiros passos até hoje, meu irmão Paikan do Prado Costa, Mamãe e Papai me apoiaram e aceitaram a minha essência, natureza e forma de ser. Se sou o que sou hoje, devo a minha família. Eu dedico, pela minha criação, e agora – sempre. Por todos os seres que passaram pelo meu viver e caminhar nesta vida tão bela e exuberante, com difíceis obstáculos passados, presentes e futuros. Viva Maria Rosa! Viva Seu Grimaldo! Viva Paikan! Viva Milena! Viva Arthur! Viva a Vida!

## **AGRADECIMENTOS**

Universidade Federal de Santa Maria – pela qualidade do ensino público e gratuito;

A toda a minha família pela confiança em todos os momentos.

Ao PPGEF - UFSM, pela oportunidade e recepção.

Ao meu Mestre e Orientador, Solon Jonas Longhi, pela bela amizade e confiança manifestada em todas as etapas do doutorado.

Aos co-orientadores Miguel Antão Durlo (Em breve vamos fazer aquela Muqueca Capixaba em Silveira Martins) e Frederico Dimas Fleig, pelas trocas de experiências e idéias, fomentando um maior interesse no estudo arquitetura alometria de plantas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Exército Brasileiro, em especial ao Tenente Ayrton Sydnei Cavalheiro, por todo o apoio e logística, fornecidos durante a realização da coleta de dados deste trabalho.

A todos os professores da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal de Lavras (UFLA) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica, profissional e científica.

Aos amigos Alessandro Abreu Fávero, Maurício Figueira, pelo auxílio na identificação das espécies e troca de experiências na construção da tese.

E àqueles que esqueci de citar em palavras, mas guardarei os momentos para sempre.

Por fim, meio e início, a Deus, que sempre esteve perto e deu-me forças para superar as adversidades.

## EPÍGRAFE

"As plantas movem seus corpos com uma liberdade, um desembaraço e uma graça tão grandes quanto os do homem ou do bicho mais capacitado - só não apreciamos isto pelo fato de as plantas se moverem a um passo bem mais lento que o nosso."

(RAOUL HEINRICH FRANCÉ, 1874 – 1973)

## **RESUMO**

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ARQUITETURA E ALOMETRIA DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

**AUTOR: MALCON DO PRADO COSTA**

**ORIENTADOR: SOLON JONAS LONGHI**

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de janeiro de 2014.

O objetivo geral deste trabalho foi descrever alguns modelos arquiteturais e estudar o comportamento dos mesmos na estrutura da vegetação, seus padrões alométricos e dinâmica de crescimento para subsidiar atividades de manejo e conservação de espécies arbóreas em Floresta Estacionais de Santa Maria (RS). No primeiro capítulo foi realizada uma análise descritiva das espécies presentes no fragmento e de seus modelos arquitetônicos. Uma lista de 53 espécies da flora arbórea de uma Floresta Estacional Subtropical de Santa Maria (RS), distribuídas em 45 gêneros e 28 famílias foram inventariadas. No segundo capítulo foi realizado um estudo das espécies e o comportamento dos modelos arquitetônicos na estruturação vertical da comunidade. Detectando-se uma associação entre as espécies e seus modelos arquitetônicos com os estratos verticais da floresta. Os distúrbios naturais na arquitetura da floresta, como as formações de clareiras, fornecem explicações para a permanência das espécies com distribuição irregular na estrutura vertical da floresta. No terceiro capítulo foram estudados os desenhos mecânicos dos modelos arquitetônicos e foram selecionadas, dentre algumas variáveis, as que melhor explicam o incremento em área basal de árvores individuais no remanescente. As variáveis que melhor explicaram o incremento em área basal das árvores foram o diâmetro a altura do peito, o diâmetro da copa e o índice de saliência, sendo que a variável categórica dos modelos arquiteturais aumentou a eficiência da regressão. O estudo de dinâmica da vegetação a partir do comportamento de grupos de espécies de modelos arquitetônicos são promissores para atividades de planejamento de ecossistemas florestais.

**Palavras-chave: Silvologia. Arquitetura arbórea. Alometria de plantas.**

## **ABSTRACT**

Doctorate Course Thesis  
Pós Graduation Program in Forest Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ARCHITECTURE AND ALLOMETRY OF TREE SPECIES IN A SUBTROPICAL SEASONAL FOREST**

**AUTHOR: MALCON DO PRADO COSTA**

**ADVISER: SOLON JONAS LONGHI**

**Defense Place and Date: Santa Maria, January 22<sup>nd</sup>, 2014.**

The aim of this study was to describe some architectural models and study their behavior in vegetation structure, allometric patterns and their growth dynamics to support management activities and conservation of tree species in seasonal forest of Santa Maria (RS). In the first chapter a descriptive analysis was performed of the species present in the fragment and its architectural models. A list of 53 species of tree flora of a Subtropical feasonal forest in Santa Maria (RS), distributed in 45 genera and 28 families in the local flora gifts inventoried. In the second chapter a study of the species and the behavior of architectural models were performed in the vertical structure of the community. When an association was detected between species and their architectural models with vertical forest strata. The natural disturbances in the architecture of the forest as the formations of gaps provide explanations for the persistence of species with irregular distribution in the vertical structure of the Forest. In the third chapter of the mechanical designs of architectural models have been studied and have been selected among a few variables, which best explain the increase in basal area of individual trees in the remaining. The variables that best explained the increase in basal area of trees were diameter at breast height, crown diameter and salience index, and the architectural models of categorical variable increased the efficiency of regression. The study of vegetation dynamics from the behavior of groups of species of architectural models are promising for planning activities of forest ecosystems.

**Key words: Silvology. Tree architecture. Plant allometry.**

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 1 - MODELOS ARQUITETÔNICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Figura 1.1 - a) Caracteres dos eixos usados nas análises arquitetônicas. O eixo ortotrópico tem um desenvolvimento vertical e a orientação das folhas em espiral; b). O eixo plagiotrópico tem uma orientação horizontal e as folhas em um mesmo plano, em filas; c) Ramificação contínua; d). Ramificação rítmica; e) Crescimento determinado, com o eixo terminando em uma inflorescência. f) Crescimento determinado, como no modelo de Prevost, terminando em uma bola de parênquima..... 23

Figura 1.2 - Modelos arquitetônicos. A. Modelos sem ramificação; B. Modelos com ramificação sem diferenciação entre os eixos; C. Modelos com diferenciação entre os eixos; D. Modelos com eixos mistos, formando tronco e ramo..... 26

### **CAPÍTULO 2 - ARQUITETURA E ESTRUTURA VERTICAL DA COMUNIDADE ARBÓREA DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Figura 2.1 - Distribuição das parcelas na área..... 37

Figura 2.2 - Dendrograma da análise de agrupamento das classes de altura para a delimitação dos estratos verticais..... 39

Figura 2.3 - Diagrama de ordenação da análise de correspondência distendenciada (DCA), para todas as espécies arbóreas amostradas nas diferentes classes de altura (camadas) na comunidade arbórea..... 43

Figura 2.4 - Diagrama da ordenação canônica pela análise de redundância (RDA), para a relação entre as espécies arbóreas e seus modelos arquitetônicos, nas diferentes classes de altura (camadas) da comunidade arbórea..... 44

### **CAPÍTULO 3 - PADRÕES ALOMÉTRICOS DE COMUNIDADES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Figura 3.1 - Ilustração dos critérios para cálculos dos índices de competição horizontal (A) e vertical (B), adaptado de Rouvinen e Kuuluvainen (1997)..... 53

Figura 3.2 - Curvas obtidas da relação entre o diâmetro do tronco e a altura total e valores observados para os cinco modelos arquiteturais estudados..... 57

Figura 3.3 - Análise de resíduos da equação de regressão do modelo de incremento em área basal de árvores individuais..... 59

## LISTA DE QUADROS

### **CAPÍTULO 1 - MODELOS ARQUITETÔNICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Quadro 1.1 - Chave dicotômica dos 23 modelos arquiteturais, preparada a partir de caracteres da arquitetura de árvores..... 29

### **CAPÍTULO 3 - PADRÕES ALOMÉTRICOS DE COMUNIDADES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Quadro 3.1 - Formulário com os caracteres morfométricos calculados para cada árvore mensurada..... 54

Quadro 3.2 - Critérios de informação de Aikaike e Bayesiano..... 55

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 1 - MODELOS ARQUITETÔNICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Tabela 1.1 - Critérios e características que definem os modelos arquitetônicos.....	24
Tabela 1.2 - Famílias botânicas, espécies arbóreas e seus respectivos modelos arquitetônicos.....	26

### **CAPÍTULO 2 - ARQUITETURA E ESTRUTURA VERTICAL DA COMUNIDADE ARBÓREA DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Tabela 2.1 - Distribuição das espécies, dos indivíduos no estrato emergente (Em), dossel (Do), sub-dossel (Sd) e no sub-bosque (Sb); $N_i$ = total dos indivíduos da espécie $i$ ; e modelo arquitetônico das espécies.....	40
Tabela 2.2 - Número de indivíduos de cada modelo arquitetônico nos estratos verticais da floresta.....	42
Tabela 2.3 - Resumo da análise de variância da RDA para a relação entre as espécies arbóreas e seus modelos arquitetônicos.....	43

### **CAPÍTULO 3 - PADRÕES ALOMÉTRICOS DE COMUNIDADES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL**

Tabela 3.1 - Estimativas de ajuste dos modelos de regressão entre o diâmetro do tronco (DAP) e altura total (AT).....	56
Tabela 3.2 - Estimativas de ajuste da modelagem do incremento em área basal.....	59

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO DO ESTUDO</b>	
Introdução.....	14
Objetivos.....	16
<b>CAPÍTULO 1 - MODELOS ARQUITETÔNICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL</b>	
Resumo.....	17
Abstract.....	18
1.1 Introdução.....	19
1.2 Materiais e métodos.....	21
1.3 Resultados e discussão.....	26
1.4 Conclusões.....	31
1.5 Referências bibliográficas.....	31
<b>CAPÍTULO 2 - ARQUITETURA E ESTRUTURA VERTICAL DA COMUNIDADE ARBÓREA DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL</b>	
Resumo.....	33
Abstract.....	34
2.1 Introdução.....	35
2.2 Materiais e métodos.....	36
2.2.1 Caracterização da área de estudo.....	36
2.2.2 Obtenção e análise dos dados.....	36
2.3 Resultados e discussão.....	38
2.4 Conclusões.....	45
2.5 Referências bibliográficas.....	45
<b>CAPÍTULO 3 - PADRÕES ALOMÉTRICOS DE COMUNIDADES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL</b>	
Resumo.....	48
Abstract.....	49
3.1 Introdução.....	50
3.2 Materiais e métodos.....	52
3.2.1 Coleta de dados.....	52
3.2.2 Análise de dados.....	55
3.3 Resultados e discussão.....	55
3.4 Conclusões.....	60
3.5 Referências bibliográficas.....	60
<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>

## APRESENTAÇÃO DO ESTUDO

### Introdução

As florestas tropicais apresentam uma grande heterogeneidade temporal e espacial que é explicitada por meio dos mosaicos silváticos (OLDEMAN, 1990) – manchas na floresta com vegetação de diferentes idades e tipos de distúrbios. Devido às constantes e intensas pressões antrópicas a que os referidos ecossistemas naturais estão submetidos, é necessário que se concentrem esforços em estudos de natureza dinâmica.

A abordagem silvigênica constitui-se em uma análise da dinâmica florestal dentro de um contexto mais amplo, que permite não só estudar a alteração temporal (dinâmica sucessional) de eventos passados, que determinaram a condição atual, mas também estabelecer relações dessas alterações vegetacionais com as características do ambiente e ainda fazer previsões acerca do potencial futuro de regeneração do referido ecossistema (homeostase), possibilitando inferir sobre o potencial de crescimento das diferentes espécies nas diferentes situações ambientais, bem como sobre a probabilidade desses indivíduos virem a compor os estratos superiores.

Estudos silvigênicos possuem a vantagem de se fundamentar na arquitetura arbórea e não em conhecimentos taxonômicos e auto-ecológicos, que são fatores limitantes no estudo de florestas devido ao pequeno acúmulo de conhecimento, quando considerada a riqueza de espécies nos trópicos e subtropicais (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978).

As florestas tropicais se encontram entre os ecossistemas mais ameaçados pela exploração desordenada, apesar de abrigarem aproximadamente metade do total de espécies animais e vegetais existentes no planeta (MYERS, 1997). No Brasil, uma evidência deste fato é que as florestas nativas (Mata Atlântica e Floresta Amazônica), que antes cobriam cerca de 50% do território, atualmente revestem apenas 37% (THIBAU, 2000). O processo de fragmentação das florestas, comumente associado às ações antrópicas, pode resultar numa maior perda de espécies arbóreas e conseqüentemente na mudança da composição florística e estrutura comunitária ao longo do tempo (NASCIMENTO et al., 1999).

O estado do Rio Grande do Sul possui uma diversidade biológica considerável, encontrada nos diversos ecossistemas existentes em seu território. Grande parte das áreas naturais foram substituídas por culturas agrícolas, pecuária e urbanização. Com isso algumas espécies

vegetais encontram-se em riscos de extinção de acordo com o decreto estadual nº 42.099/03 (RIO GRANDE DO SUL, 2003).

As diferentes formações florestais presentes do Rio Grande do Sul são todas classificadas como Mata Atlântica (lato sensu) desde que este conceito foi ampliado e passou a incluir também ecossistemas associados (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). No entanto, as classificações tradicionais da vegetação brasileira reconhecem para o Rio Grande do Sul a ocorrência de Floresta Ombrófila Densa e Mista e ainda de Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, além das áreas de formações pioneiras ou restingas (VELOSO; GÓES FILHO, 1982; TEXEIRA et al., 1986).

No Estado, as florestas estacionais distribuem-se no noroeste (região do Alto Uruguai), na região central (encosta meridionais da Serra Geral e Depressão Central) e na metade sul, a leste, nas encostas orientais da Serra do Sudeste (TEIXEIRA et al., 1986). Dentre estas, somente as últimas e uma porção próxima na bacia do Rio Sinos são classificadas como Floresta Estacional Semidecidual, sendo o restante correspondente à Floresta Estacional Decidual (VELOSO; GOES FILHO, 1982).

De acordo com Leite e Klein (1990), uma das vegetações predominantes do Bioma Mata Atlântica é a Floresta Estacional Decidual também conhecida como Floresta Estacional Caducifólia. Esta abrange grandes altitudes e baixas temperaturas, com ocorrência na porção noroeste e central do estado do Rio Grande do Sul. Janzen (1980) descreveu as Florestas Estacionais Deciduais como uma das tipologias mais ameaçadas, entre todos os principais habitats de floresta tropical de terra baixa.

A Floresta Estacional Subtropical as florestas das porções médias e superiores do Vale do Uruguai, da maior parte da vertente sul da Serra Geral e de diversas áreas dispersas pelas bacias dos rios Ijuí, Jacuí e Ibicuí. As espécies estão distribuídas irregularmente, dentro dessa região, ocasionando três tipos de formações: uma aluvial; uma submontana, correspondente a terrenos ondulados e dissecados em altitudes entre 30 a 400 m; e outra montana, abrangendo áreas dissecadas com altitudes superiores a 400 m (LEITE; KLEIN, 1990).

Os mesmos autores caracterizaram essa região por ser tipicamente ombrófila, sem período seco e com bastante intensidade e regularidade pluviométrica. No entanto, apresenta dois períodos térmicos bem distintos: um de 4 a 5 meses, correspondente a estação mais quente, com temperatura média anual superior a 20°C, e outra mais fria, com médias anuais

inferiores a 15°C. Neste período frio, mais de 50% dos indivíduos do estrato superior perdem as folhas, o que confere a característica estacional desta tipologia.

Na tipologia de Floresta Estacional Subtropical, a região de Santa Maria está inserida na formação florestal localizada no centro geográfico do Rio Grande do Sul entre a Serra Geral e a Planície que forma a Depressão Central. O clima mesotérmico e úmido favorece a diversidade de espécies existentes (LONGHI et al., 2000). Estudos realizados na região descrevem a presença de espécies como *Luehea divaricata*, *Parapiptadenia rigida*, *Myrocarpus frondosus*, *Apuleia leiocarpa*, *Cedrela fissilis*, *Cabrlea canjerana*, *Cupania vernalis*, *Allophylus edulis*, *Actinostemon concolor*, dentre outras (LONGHI et al., 2000).

## **Objetivos**

### Geral

Esta tese teve o objetivo de caracterizar os padrões e processos relacionados aos modelos arquiteturais de árvores e alometria de plantas, em um remanescente de Floresta Estacional Subtropical, localizado no Campo de Instrução de Santa Maria (CISM), no Rio Grande do Sul. Essas informações fornecerão subsídios para o planejamento de atividades silviculturais e de manejo eficientes para a recuperação de áreas degradadas e conservação e manejo de espécies nativas da região fitogeográfica da Floresta Estacional Subtropical.

### Específicos

- a) Caracterizar os modelos arquiteturais das espécies arbóreas do remanescente de Floresta Estacional Subtropical, e comparar com a riqueza dos modelos arquiteturais de outros remanescentes em Floresta Pluvial;
- b) Testar as estratégias de ocupação do dossel florestal das espécies e seus respectivos modelos arquiteturais;
- c) Avaliar as relações alométricas de comunidades arbóreas do remanescente de Floresta Estacional Subtropical.

## CAPÍTULO 1

### MODELOS ARQUITETÔNICOS DAS ESPÉCIES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL

#### RESUMO

Os modelos arquitetônicos ajudam a descrever o desenvolvimento e a organização das copas das árvores. Este conhecimento é essencial para a compreensão do desenvolvimento das árvores na floresta e pode ajudar a compreender a relação evolutiva entre táxons. O trabalho teve o objetivo verificar se uma floresta estacional possui uma menor riqueza de modelos arquitetônicos em relação à floresta pluvial. Foram encontradas 53 espécies da flora arbórea de uma Floresta Estacional Subtropical de Santa Maria - RS, distribuídas em 45 gêneros e 28 das famílias. No total, 13 diferentes modelos arquitetônicos foram reconhecidos. Os modelos com maior destaque foram Rauh, Troll, Scarrone, Roux e Massart. O número de modelos foi considerado elevado e a riqueza relativa de modelos não é menor do que a floresta pluvial.

**Palavras-chave:** Arquitetura arbórea, Modelo Arquitetônico, Silvologia, Chaves dicotômicas.

## CHAPTER 1

### ARCHITECTURAL MODELS OF THE TREE SPECIES IN A SUBTROPICAL SEASONAL FOREST

#### ABSTRACT

Architectural models help to describe the development and build-up of tree crowns. This knowledge is indispensable for understanding the behavior of trees in the forest and is useful in studying the evolutionary relationships between taxa. This contribution presents a list of 53 tree species from the tree flora of the Subtropical Seasonal Forest of the Santa Maria – RS, distributed in 45 genera and 28 families in the tree flora. A total of 13 different architectural models were recognized. Data were acquired from field observations and literature study.

**Keywords:** Tree architecture, architectural model, Silvology, Dichotomous key.

## 1.1 Introdução

A análise arquitetural das árvores ajuda a descobrir e examinar parte da história e qualidade de vida da planta (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978), é uma ferramenta para encontrar e estabelecer relações evolutivas (VESTER, 1999), possui utilidade em estudos taxonômicos (TOURN; BARTHÉLÉMY; GROSFELD, 1999), ajuda a interpretar a dinâmica da comunidade florestal a partir do reconhecimento dos padrões de desenvolvimento da arquitetura das árvores individuais (TORQUEBIAU, 1986; VESTER, 1997; VESTER; CLEEF, 1998). Durante a evolução, as formas das árvores se modificam interagindo com a estrutura da floresta (OLDEMAN, 1990; VESTER, 1999).

O estudo de arquitetura de plantas, como um método para a análise e compreensão do desenvolvimento biológico das árvores, foi consolidado como uma disciplina a partir da década de 70, com o livro sobre modelos arquitetônicos de Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978). Os autores proporcionaram a estrutura teórica para o estudo do crescimento e desenvolvimento de plantas, em termos de unidades biologicamente significativas e visualmente diferenciáveis, e como resultado, foi gerado um novo significado para a noção de indivíduo e população de plantas (TORQUEBIAU, 1979; BARTHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007).

Um elemento chave no estudo da arquitetura de plantas é o reconhecimento inicial de um padrão de ramificação primordial, que se expressa entre a germinação e a floração, e pode ser descrito como um modelo arquitetônico (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978) ou unidade arquitetônica (PERRETA; VEGETTI, 2005). Com base no modelo arquitetônico pode-se examinar qualquer árvore, em sua história de vida, e confeccionar um diagrama com o padrão de desenvolvimento de uma espécie, da plântula até a sua senescência. Se usam conceitos como o de reiteração (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978), significando a repetição de um modelo dentro do mesmo modelo, total ou parcialmente, de acordo com pressões ambientais, e o de metarmofose, processo de reiteração programada de acordo com o desenvolvimento da árvore (OLDEMAN, 1990; TOURN; BARTHÉLÉMY; GROSFELD, 1999).

A arquitetura de uma planta, num dado momento, é a expressão de um equilíbrio entre os processos de crescimento endógeno e as forças externas exercidas pelo ambiente

(BARTHÉLÉMY; CARAGLIO, 2007). O objetivo da análise arquitetônica é identificar os processos endógenos que determinam a forma de uma árvore.

Para entender a arquitetura de uma planta se analisa a atividade dos meristemas, principalmente os apicais. A base para a análise das árvores são os eixos de crescimento, produto da atividade de apenas um meristema apical caulinar, com suas respectivas características quanto à orientação e posição dos órgãos, como as folhas e as flores. A caracterização do eixo principal de uma planta e suas ramificações de primeira ordem forma uma combinação característica para uma espécie, a qual se conhece como modelo arquitetônico. Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) citam a possibilidade de 24 modelos teóricos possíveis, dos quais apenas 23 foram reconhecidos. Mesmo assim o número de variações é tão grande como o número de espécies.

A existência de modelos arquitetônicos intermediários se deve em parte à capacidade de muitas árvores de repetir o desenvolvimento de suas estruturas, cada uma repetindo o modelo básico da árvore dentro da mesma árvore - processo denominado como reiteração. O resultado da reiteração é uma copa muito maior e completa do que um modelo básico pode produzir por si próprio, e assegura a substituição da copa quando danificada. A reiteração se expressa de diferentes formas, uma delas modificando as características dos eixos secundários e ao longo do eixo principal. Esta forma de reiteração é denominada metamorfose. Durante este processo, a árvore modifica seu modelo arquitetônico. Uma forma de expressar esta mudança é considerar o modelo como intermediário, outra, é descrever a arquitetura com mais detalhes durante sua história de vida (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978; OLDEMAN, 1990. TOURN; BARTHÉLÉMY; GROSFELD, 1999).

Os modelos arquitetônicos não são categorias ou classes, mas sim áreas de sobreposição em um contínuo da construção arquitetural da planta. Desta maneira, os descritores dos modelos, como por exemplo, a plagiotropia e a ortotropia são extremos de um contínuo de diferenciação. Junto com a reiteração, a continuidade entre os descritores é uma causa da existência de modelos intermediários (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978).

Parte do interesse em modelos arquitetônicos é o seu relacionamento com a ecologia (TORQUEBIAU, 1986; OLDEMAN, 1990; VESTER; SALDARRIAGA, 1993; VESTER, 1997; VESTER; CLEEF, 1998). Globalmente foi observado que a maior concentração de modelos ocorre nos trópicos. De acordo com Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) a quantidade de modelos arquitetônicos diminui com o aumento de pressão e estresse

ambiental, por isso esperam-se encontrar menor riqueza de modelos em florestas estacionais, devido a pronunciada estação seca, em comparação com floresta pluviais. Sendo a floresta estacional estudada é caracterizada por apresentar uma estação de frio intenso, o qual ocasiona seca fisiológica, provocando a perda das folhas em algumas espécies vegetais (LEITE; KLEIN, 1990).

Diante do exposto, o trabalho teve o objetivo verificar a riqueza de modelos arquitetônicos de uma Floresta Estacional. E responder a seguinte afirmativa: A riqueza de modelos arquitetônicos, assim como a de espécies, é mais elevada em Floresta Pluvial do que em Floresta estacional.

## 1.2 Material e métodos

Os dados foram coletados em remanescentes da Floresta Estacional Subtropical, no município de Santa Maria, no período 2011-2013. Foram observados vários indivíduos da mesma espécie em diferentes fases de desenvolvimento, com o objetivo de acumular a informação necessária para determinar o modelo arquitetônico. Também foram examinados classificações de modelos arquiteturais encontrados em literatura (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978; VESTER; SALDARRIAGA, 1993; VESTER, 1997). As espécies foram observadas em um remanescente de Floresta Estacional Subtropical, no Campo de Instrução de Santa Maria do Exército Brasileiro (CISM). As observações ocorreram diretamente em árvores pequenas (Altura Total < 5 m) e por meio de binóculos para árvores grandes (Altura total > 5 m). Nas espécies com identidade desconhecida, foram coletadas amostras de ramos para sua determinação, que foram depositadas no Herbário do Departamento de Ciências Florestais (HCDF) da UFSM.

Foram utilizadas as seguintes características para distinguir os diferentes tipos de eixo de uma planta (Figura 1.1):

**Diferenciação:** a ortotropia – resposta à gravidade em que o eixo vertical produz os seus ramos - se reconhece pelo desenvolvimento vertical e a orientação das folhas em espiral ou oposta (eixo ortotrópico – Figura 1A), e a plagiotropia – resposta à gravidade que os eixos horizontais ou oblíquos produzem seus ramos - se reconhece com simetria dorsiventral e em forma dística no extremo (eixo plagiotrópico – Figura 1B). Existem muitas formas

intermediárias entre estes extremos. Por isto é sugerido que o eixo plagiotrópico é mais diferenciado do que o ortotrópico (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978). Neste trabalho consideramos como eixo plagiotrópico qualquer eixo que tenha algum indício de plagiotropia, seja por sua orientação oblíqua ou pela orientação das folhas em um plano.

**Tipo de ramificação:** presente ou ausente, rítmica ou contínua. Muitas palmeiras e outras monocotiledôneas não apresentam nenhuma forma evidente de ramificação. Elas se formam pela atividade de um único meristema que não se ramifica. Outras plantas podem ter tanto eixos que se ramificam como outros que não o fazem. A ramificação pode ocorrer em todas as axilas das folhas que formam o meristema (ramificação contínua – Figura 1C), ou pode ocorrer em zonas definidas e repetidas ao longo do eixo (ramificação rítmica – Figura 1D).

**Tipo de crescimento:** contínuo ou rítmico. Refere-se à atividade recorrente de crescimento e descanso do meristema apical, geralmente visível pela distribuição de folhas pequenas e grandes ao longo do eixo. O ritmo de crescimento é diferente do ritmo de ramificação, sendo que a maioria das espécies que apresentam crescimento contínuo, apresentam também ramificação contínua, com algumas exceções em que espécies com crescimento contínuo apresentam ramificação rítmica. Para a identificação do modelo arquitetônico, o ritmo da ramificação tem prioridade, pois expressa uma atividade rítmica do meristema.

**Crescimento determinado ou indeterminado:** o primeiro se refere à conversão do meristema apical em inflorescência (E), gavinha ou bola de parênquima (F), ou outra estrutura que não permite que o eixo siga se alongando. Os eixos com crescimento indeterminado não possuem um fim determinado em seu funcionamento. Um tronco ou um ramo formado pelo encadeamento de eixos com crescimento determinado se conhece como ramo ou tronco simpodial enquanto um tronco ou ramo formado por um só eixo indeterminado é um ramo ou tronco monopodial. Um tronco simpodial, também é formado, pelo encadeamento de eixos mistos (HALLÉ, 2009).

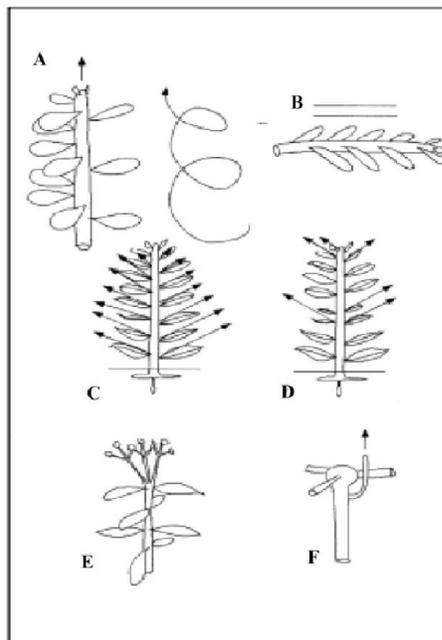


Figura 1.1 - a) Caracteres dos eixos usados nas análises arquitetônicas. O eixo ortotrópico tem um desenvolvimento vertical e a orientação das folhas em espiral; b). O eixo plagiotrópico tem uma orientação horizontal e as folhas em um mesmo plano, em filas; c) Ramificação contínua; d). Ramificação rítmica; e) Crescimento determinado, com o eixo terminando em uma inflorescência. f) Crescimento determinado, como no modelo de Prevost (*Cordia americana*), terminando em uma bola de parênquima.

Para determinar o modelo arquitetônico foram realizadas as seguintes observações: tipo de crescimento: rítmico ou contínuo; tipo de ramificação: rítmica ou contínua; caracterização dos eixos principais: ortotrópicos, plagiotrópicos ou mistos; caracterização dos eixos secundários: ortotrópicos, plagiotrópicos ou mistos; posição das flores ou inflorescências: terminais ou laterais. As definições de Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) foram usadas para a identificação dos modelos arquitetônicos (Tabela 1.1 e Figura 1.2). Nas seguintes caracterizações foi usado o conceito de eixo de acordo com a abordagem descrita acima, como o produto de um único meristema apical. O termo tronco refere-se ao eixo ou encadeamento do eixo principal no modelo. O termo ramo se refere à estrutura secundária axilar no modelo. Na maioria de vezes, uma árvore se constrói pela multiplicação de réplicas do modelo, denominadas reiterações.

Tabela 1.1 – Critérios e características que definem os modelos arquitetônicos.

<b>A - Modelos sem ramificação</b>
<b>Modelo de Holtum:</b> Consta de um único meristema que forma um eixo não ramificado, com crescimento determinado por uma inflorescência terminal.
<b>Modelo de Corner:</b> É caracterizado por um crescimento vegetativo com meristema que produz um eixo não ramificado, com crescimento indeterminado, em qual a inflorescência é lateral.
<b>B - Modelos ramificados sem diferenciação entre os eixos</b>
<b>Modelo de Chamberlain:</b> Superposição determinada dos eixos de crescimento, formando um tronco simpodial ascendente linear.
<b>Modelo de Schoute:</b> Crescimento por meio de meristemas que formam eixos ortotrópicos ou plagiotrópicos por dicotomia, ou seja, a divisão do meristema apical em dois novos meristemas equivalentes. As inflorescências são laterais.
<b>Modelo de Leeuwenberg:</b> Consta de eixos ortotrópicos equivalentes com crescimento determinado pela produção de uma inflorescência terminal. A ramificação produz vários eixos equivalentes que, por sua vez, são ortotrópicos e de crescimento determinado. A ramificação está relacionada com a inflorescência, ocorrendo após o florescimento, e em posição periférica, debaixo da inflorescência, exceto nos eixos juvenis onde pode haver ramificação sem inflorescência. Nestes casos o meristema terminal geralmente deixa de funcionar.
<b>Modelo de Tomlinson:</b> Arquitetura que resulta do desenvolvimento repetitivo dos eixos ortotrópicos equivalentes, de ramificação basal. As inflorescências podem ser terminais ou laterais; o crescimento de cada eixo pode ser contínuo ou rítmico.
<b>C - Modelos com diferenciação entre eixos</b>
<b>Modelo de McClure:</b> Possui dois tipos de eixos. Os troncos são ortotrópicos e se originam por ramificação basal; apicalmente apresentam ramos plagiotrópicos. Ambos os tipos de eixos possuem crescimento determinado e um alto grau de pré-formação. Ou seja, significa que na gema já estão formadas todas as partes dos eixos antes do crescimento em extensão. Ecologicamente significa que durante a extensão, não pode haver ajustes maiores na organização do eixo.
<b>Modelo de Scarrone:</b> Arquitetura caracterizada por um tronco ortotrópico com crescimento rítmico, formando pseudoverticilos de ramos ortotrópicos e simpodiais por substituição, com inflorescências terminais.
<b>Modelo de Stone:</b> Se forma por um tronco ortotrópico com crescimento contínuo e ramos ortotrópicos, simpodiais por substituição. As inflorescências são terminais.
<b>Modelo de Attims:</b> Se forma por um eixo principal ortotrópico, com crescimento e ramificação contínua, sendo os ramos também ortotrópicos. As inflorescências são laterais.
<b>Modelo de Rauh:</b> Este modelo possui a arquitetura determinada por um tronco monopodial com crescimento rítmico, em que se desenvolve pseudoverticilos de ramos morfogeneticamente iguais ao tronco. A posição das flores ou inflorescências são, sempre, laterais.
<b>Modelo de Koriba:</b> Este modelo se caracteriza por eixos ortotrópicos com diferenciação secundária entre eles. O primeiro eixo é ortotrópico com ramificação distal, produzindo uma série de ramos que a princípio são equivalentes, e também ortotrópicos. Um destes ramos se torna dominante, funcionando como o eixo principal, os outros funcionam como ramos. As inflorescências são terminais.
<b>Modelo de Prevost:</b> Modelo que forma um tronco simpodial, com eixos crescendo de forma determinada. Geralmente os eixos terminam em uma bola de parênquima. Os ramos se originam em uma área subapical (siléptico) restringida do tronco e são simpodiais com eixos mistos plágio-ortotrópicos com crescimento determinado, geralmente terminando na inflorescência. Este modo de formação de ramos plagiotrópicos por eixos mistos de crescimento determinado é denominado plagiotropia por substituição (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978). O tronco se forma pela superposição de eixos que nascem debaixo dos verticilos do ramo (proléptico).
<b>Modelo de Fagerlind:</b> Arquitetura caracterizada por um tronco monopodial (formado por um só eixo), ortotrópico, com crescimento rítmico e verticilos ou pseudoverticilos de ramos plagiotrópicos simpodiais. Cada ramo se forma a partir de plagiotropia por substituição.
<b>Modelo de Petit:</b> Arquitetura caracterizada por um crescimento contínuo de um tronco monopodial, ortotrópico, que produz continuamente ramos plagiotrópicos simpodiais com folhas em espiral, ou opostas com crescimento determinado, terminando na inflorescência (ramo simpodial plagiotrópico por substituição).

Continua...

Tabela 1.1 - Continuação ...

<p><b>Modelo de Aubreville:</b> Arquitetura caracterizada por um tronco monopodial ortotrópico com crescimento rítmico e filotaxia em espiral ou oposta. Este tronco possui pseudoverticilos de ramos simpodiais, cada um constituído por eixos mistos plagio-ortótopos, com floração lateral. Este modo de formação de ramo plagiotrópico por eixos de crescimento indeterminado se denomina plagiotropia por justaposição.</p>
<p><b>Modelo de Nozeran:</b> A arquitetura é caracterizada por um tronco ortotrópico, simpodial, aonde cada eixo simpodial apresenta crescimento determinado, geralmente em uma bola de parênquima e em posição apical um verticilo de ramos plagiotrópicos; a plagiotropia está estabelecida pela posição das folhas, e não por superposição ou substituição. Os eixos podem ter ou não crescimento rítmico. Os ramos podem ser simpodiais ou monopodiais e a posição da inflorescência não influencia o modelo.</p>
<p><b>Modelo de Roux:</b> Este modelo possui uma arquitetura determinada por um tronco ortotrópico monopodial com crescimento contínuo; os ramos são pagiotrópicos e se inserem no tronco de forma contínua. A localização da inflorescência não é relevante para este modelo.</p>
<p><b>Modelo de Cook:</b> É igual ao modelo de Roux, pois os ramos são filiformes, ou seja, parecem folhas compostas; Possuem um crescimento determinado sem formar ramos simpodiais.</p>
<p><b>Modelo de Massart:</b> Este modelo apresenta arquitetura caracterizada por um tronco monopodial ortotrópico, com crescimento rítmico e filotaxia espiral ou oposta. Este tronco carrega pseudoverticilos de ramos plagiotrópicos. A posição da inflorescência não influencia o modelo.</p>
<p><b>D - Modelos com eixos mistos</b></p>
<p><b>Modelo de Mangenot:</b> Se define por eixos mistos. O meristema apical produz primeiro uma parte basal vertical, logo uma parte periférica horizontal, muitas vezes relacionada com mudanças em sua filotaxia, de espiral a dística, e de folhas pequenas a grandes. A superposição indeterminada de tais eixos, ao nível da transição de vertical a horizontal, constrói a arquitetura da árvore, com o tronco formado por o encadeamento sucessivo das partes verticais próximas de cada um dos eixos. Os ramos resultam das partes periféricas horizontais de cada eixo.</p>
<p><b>Modelo de Champagnat:</b> Se define pela superposição dos eixos mistos ortotrópicos. As partes periféricas se tornam pêndulas e formam os ramos. As partes basais formam um tronco simpodial.</p>
<p><b>Modelo de Troll:</b> Este modelo apresenta eixos mistos. Define-se por eixos plagiotrópicos. A arquitetura está construída pela sobreposição contínua destes eixos. Os principais eixos constituem parte do tronco e do ramo; a parte próxima ao eixo cresce ereta (parte do tronco). A parte distante forma um ramo com ou sem crescimento determinado, e com os eixos laterais em geral sem formar uma parte basal ereta.</p>

A definição de árvore utilizada no presente trabalho está referenciada nas obras de Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) e Oldeman (1990). Os quais consideram árvores, todo organismo vegetal que vive seu ciclo de vida de acordo com uma estratégia, incluindo a maximização do seu tempo e vida, investindo matéria e energia na formação de tecidos de autossustentação e de transporte em quantidades importantes em relação à sua biomassa total, sobressaindo-se à vegetação circundante a partir de um programa adaptado de crescimento em camadas.

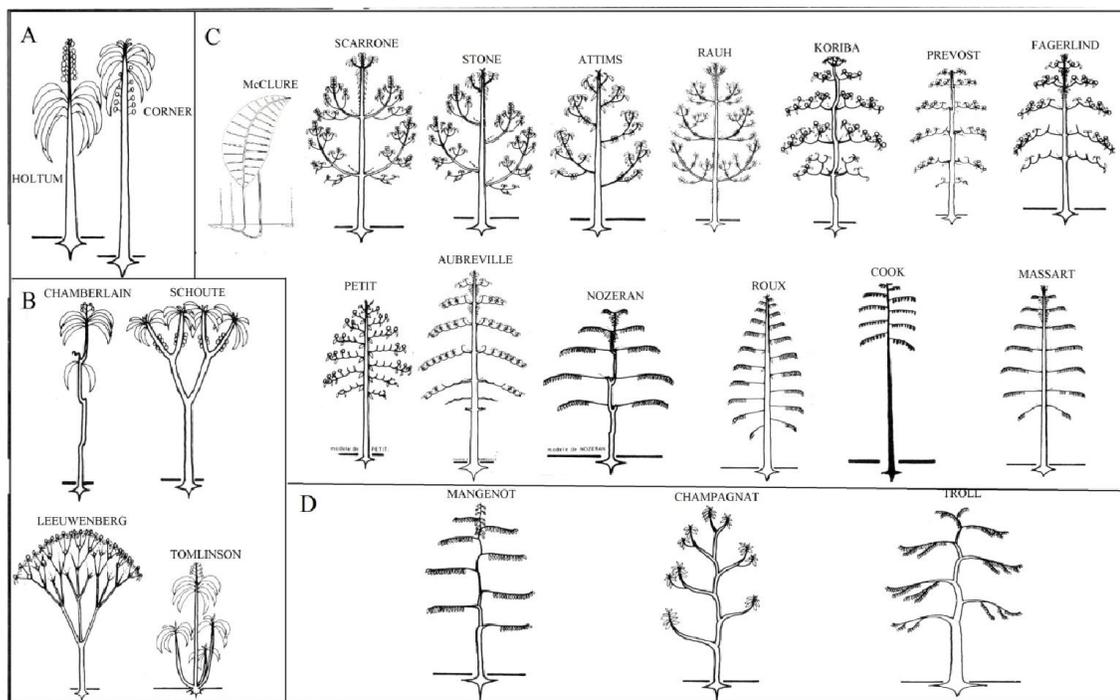


Figura 1.2 - Modelos arquitetônicos segundo Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978). A. Modelos sem ramificação; B. Modelos com ramificação sem diferenciação entre os eixos; C. Modelos com diferenciação entre os eixos; D. Modelos com eixos mistos, formando tronco e ramo (Ilustração adaptada - OLDEMAN, 1990; VESTER, 2002).

A partir da classificação das espécies arbóreas de acordo com seus modelos arquitetônicos foram elaboradas chaves dicotômicas, com o uso de caracteres morfológicos e arquiteturais das plantas inventariadas.

### 1.3 Resultados e discussão

A lista contém 52 espécies (44 gêneros de 28 famílias), distribuídas em 13 modelos arquitetônicos encontrados na pesquisa.

Tabela 1.2 – Famílias botânicas, espécies arbóreas e seus respectivos modelos arquitetônicos.

Família	Espécie	Modelo Arquitetônico
ANNONACEAE	<i>Annona neosalicifolia</i> H.Rainer	Troll
ARALIACEAE	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerl.	Leeuwenberg
ARECACEAE	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Corner
ASTERACEAE	<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera	Attim
BIGNONIACEAE	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Martius) Mattos	Koriba

Continua...

Tabela 1.2 - Continuação ...

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Modelo Arquitetônico</b>
BORAGINACEAE	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.J.Mill.	Prévost
	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.	Prévost
CARDIOPTERIDACEAE	<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard	Nozeran
EBENACEAE	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	Massart
ERYTHROXYLACEAE	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	Rauh
EUPHORBIACEAE	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Rauh
	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Rauh
	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L. B. Sm. & Downs	Rauh
FABACEAE	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Troll
	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Troll
	<i>Inga vera</i> Willd.	Troll
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Troll
LAMIACEAE	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	Rauh
LAURACEAE	<i>Aiouea saligna</i> Meisn.	Rauh
	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Roux
MALVACEAE	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Troll
MELIACEAE	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Scarrone
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Scarrone
	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss	Rauh
	<i>Trichilia clausenii</i> C.DC.	Rauh
	<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	Rauh
MORACEAE	<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	Rauh
	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Don ex Steud.	Rauh
MYRTACEAE	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	Troll
	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Massart
	<i>Eugenia ramboi</i> D.Legrand	Massart
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Rauh
	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. legrand	Massart
	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	Troll
NYCTAGINACEAE	<i>Pisonia zapallo</i> Griseb.	Leeuwenberg
PHYTOLACCACEAE	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Koriba
POLYGONACEAE	<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.	Troll
PRIMULACEAE	<i>Myrsine loefgrenii</i> (Mez) Imkhan.	Roux
RUBIACEAE	<i>Randia ferox</i> DC.	Scarrone
RUTACEAE	<i>Helietta apiculata</i> Benth.	Rauh
	<i>Pilocarpus pennatifolius</i> Lem.	Scarrone
	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Scarrone
SALICACEAE	<i>Banara tomentosa</i> Clos	Troll
	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Roux
	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Roux
SAPINDACEAE	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	Champagnat
	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	Champagnat
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Champagnat
SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	Troll
	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	Troll
SOLANACEAE	<i>Solanum sanctaecatatharinae</i> Dunal	Aubréville
URTICACEAE	<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	Aubréville
	<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	Aubréville

O único modelo sem ramificação encontrado na pesquisa foi para uma palmeira, *Syagrus romanzoffiana*, classificada com Modelo de Corner.

Nos modelos sem diferenciação entre os eixos, as espécies *Pisonia zapallo* e *Schefflera morototoni* foram classificadas no modelo de Leeuwenberg.

Entre os modelos com diferenciação entre os eixos, foram classificadas as espécies *Handroanthus heptaphyllus* e *Phytolacca dioica* no modelo de Koriba. As espécies do gênero *Cordia* no modelo de Prevost. *Citronela paniculata* no modelo de Nozeran. A espécie *Diospyros inconstans*, assim como as Myrtáceas *Eugenia involucrata*, *Eugenia ramboi* e *Myrcianthes pungens* foram classificadas no modelo de Massart.

O modelo de Rauh foi o que envolveu um maior número de espécies, entre elas: *Actinostemon concolor*, *Aiouea saligna*, *Erythroxylum deciduum*, *Eugenia uniflora*, *Ficus luschnathiana*, *Helietta apiculata*, *Maclura tinctoria*, *Sebastiania brasiliensis*, *Sebastiania commersoniana*, *Trichilia catigua*, *Trichilia claussenii*, *Trichilia elegans*, *Vitex megapotamica*. As espécies *Casearia decandra*, *Casearia sylvestris*, *Myrsine loefgrenii* e *Nectandra megapotamica* foram classificadas no modelo de Roux. As espécies *Cabralea canjerana*, *Cedrela fissilis*, *Pilocarpus pennatifolius*, *Randia ferox* e *Zanthoxylum rhoifolium* foram classificadas no modelo de Scarrone. As espécies *Boehmeria caudata*, *Solanum sanctaecatharinae* e *Urera baccifera* foram classificadas no modelo de Aubréville. No modelo de Attim apenas foi classificada a espécie *Gochnatia polymorpha*.

Nos modelos mais complexos, com eixos mistos, foram classificadas três espécies no modelo de Champagnat, entre elas: *Allophylus edulis*, *Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*. O modelo de Troll é um dos mais comuns e no remanescente, 12 espécies foram classificadas pelo modelo de Troll, foram elas: *Albizia niopoides*, *Annona neosalicifolia*, *Banara tomentosa*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Chrysophyllum gonocarpum*, *Chrysophyllum marginatum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Inga vera*, *Luehea divaricata*, *Parapiptadenia rígida*, *Plinia rivularis* e *Ruprechtia laxiflora*.

O quadro 1.1 abaixo ilustra uma chave dicotômica para a classificação das espécies arbóreas, nos modelos arquetônicos sistematizados no trabalho de Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978).

1a. Tronco que não se ramifica e inflorescência lateral.....	2
1b. Tronco que se ramifica.....	3
2a. Inflorescência lateral.....	<b>Corner</b>
Ex. <i>Syagrus romanzoffiana</i>	
2b. Inflorescência terminal.....	Holtum
3a. Eixos vegetativos equivalentes, na maioria das vezes ortotrópicos e modulares.....	4
3b. Eixos vegetativos não equivalentes (diferença entre troco e ramo).....	7
4a. Ramos na base do tronco, geralmente subterrâneos, normalmente um crescimento contínuo.....	Tomlinson
4b. Ramos distantes da base do tronco.....	5
5a. Ramificação por semelhante divisão do meristema apical.....	Schoute
5b. Ramificação axilar, sem dicotomia.....	6
6a. Apenas um ramo por módulo, simpodial, linear e aparentemente não ramificado.....	Chamberlain
6b. Dois ou mais ramos por módulo; simpodial, com ramificação bem definida; inflorescência terminal.....	<b>Leewenberg</b>
Ex. <i>Pisonia zapallo</i> ; <i>Schefflera morototoni</i>	
7a. Eixos vegetativos heterogêneos, diferenciados em ortotrópicos e plagiotrópicos ou complexos.....	8
7b. Eixos vegetativos homogêneos, ou todos ramos ortotrópicos ou mistos.....	18
8a. Ramos na base do tronco, geralmente subterrâneos, normalmente um crescimento contínuo.....	McClure
8b. Ramos distantes da base do tronco.....	9
9a. Construção modular, ramos plagiotrópicos, normalmente com inflorescências terminais ou sésseis.....	10
9b. Construção não modular, inflorescências normalmente laterais.....	13
10a. Crescimento simpodial em altura, modular.....	11
10b. Crescimento monopodial em altura, construção modular restrita aos ramos.....	12
11a. Módulos com ramos aparentes, e posteriormente diferentes, com um que se torna o tronco.....	<b>Koriba</b>
Ex. <i>Handroanthus heptaphyllus</i> ; <i>Phytolacca dioica</i>	
11b. Módulos diferenciados, com tronco surgindo posteriormente ao ramo, sendo bem diferenciados.....	<b>Prévost</b>
Ex. <i>Cordia americana</i> ; <i>Cordia trichotoma</i>	
12a. Crescimento monopodial e rítmico em altura.....	Fagerlind
12b. Crescimento monopodial e contínuo em altura.....	Petit
13a. Tronco com um crescimento simpodial de eixos ortotrópicos.....	<b>Nozeran</b>
<i>Citronella paniculata</i>	
13b. Tronco com crescimento monopodial de eixos plagiotrópicos.....	14
14a. Tronco com crescimento e ramificação rítmicos.....	15
14b. Tronco com crescimento e ramificação contínuos ou difusos.....	16
15a. Ramos plagiotrópicos por aposição.....	<b>Aubréville</b>
Ex. <i>Boehmeria caudata</i> ; <i>Solanum sanctaecatharinae</i> ; <i>Urera baccifera</i>	
15b. Ramos plagiotrópicos, monopodial ou simpodial por substituição.....	<b>Massart</b>
Ex. <i>Diospyros inconstans</i> ; <i>Eugenia involucrata</i> ; <i>Eugenia ramboi</i> ; <i>Myrcianthes pungens</i>	
16a. Ramos plagiotrópicos, monopodial ou simpodial por substituição.....	17
16b. Ramos plagiotrópicos por aposição.....	Teórico
17a. Ramos longevos, sem semelhança com uma folha composta.....	<b>Roux</b>
<i>Casearia decandra</i> ; <i>Casearia sylvestris</i> ; <i>Myrsine loefgrenii</i> ; <i>Nectandra megapotamica</i>	
17b. Ramos efêmeros, semelhantes a uma folha composta.....	Cook
18a. Eixos vegetativos ortotrópicos.....	19
18b. Eixos vegetativos mistos.....	22
19a. Inflorescência terminal, ramos simpodiais e, as vezes na periferia da copa.....	20
19b. Inflorescência lateral, ramos monopodiais.....	21
20a. Tronco com crescimento rítmico em altura.....	<b>Scarrone</b>
Ex. <i>Cabralea canjerana</i> ; <i>Cedrela fissilis</i> ; <i>Pilocarpus pennatifolius</i> ; <i>Randia ferox</i> ; <i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	
20b. Tronco com crescimento contínuo em altura.....	Stone
21a. Tronco com crescimento rítmico em altura.....	<b>Rauh</b>
Ex. <i>Actinostemon concolor</i> ; <i>Aiouea saligna</i> ; <i>Erythroxylum deciduum</i> ; <i>Eugenia uniflora</i> ; <i>Ficus luschnathiana</i> ; <i>Helietta apiculata</i> ; <i>Maclura tinctoria</i> ; <i>Sebastiania brasiliensis</i> ; <i>Sebastiania commersoniana</i> ; <i>Trichilia catigua</i> ; <i>Trichilia clausenii</i> ; <i>Trichilia elegans</i> ; <i>Vitex megapotamica</i>	
21b. Tronco com crescimento contínuo em altura.....	<b>Attim</b>
Ex. <i>Gochmatia polymorpha</i>	
19a. Inflorescência terminal, ramos simpodiais e, as vezes na periferia da copa.....	20
19b. Inflorescência lateral, ramos monopodiais.....	21
22a. Eixos mistos no crescimento primário, ramos basais ortotrópicos e distais plagiotrópicos.....	Mangenot
22b. Eixos mistos por mudanças secundárias.....	22
23a. Todos eixos ortotrópicos, posteriormente flertados.....	<b>Champagnat</b>
Ex. <i>Allophylus edulis</i> ; <i>Cupania vernalis</i> ; <i>Matayba elaeagnoides</i>	
23b. Todos eixos plagiotrópicos, posteriormente eretos, após a queda das folhas.....	<b>Troll</b>

Quadro 1.1 – Chave dicotômica dos 23 modelos arquiteturais (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978), preparada a partir de caracteres da arquitetura de árvores.

Dos 23 modelos descritos por Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) foram encontrados 13 modelos entre as espécies do fragmento de Floresta estudado. Em comparação com 15 modelos encontrados nas espécies da Península de Yucatán e com as 306 espécies de 154 gêneros e de 55 famílias na Amazônia colombiana, onde se encontraram 17 modelos arquitetônicos (VESTER, 2002), pode-se questionar a tese de Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) que menciona que o número de modelos decresce com o aumento da pressão e estresse ambiental, mais presentes em florestas estacionais do que em florestas pluviais. Pois apesar do menor número de espécies na floresta estacional, poucos são os modelos arquiteturais a menos (2) do que na Península de Yucatán e da Amazônia colombiana (4).

Os modelos mais comumente encontrados foram o Troll e Rauh. Estes modelos são abundantes nas regiões tropicais e em zonas temperadas, e seu sucesso na natureza ocorre, de acordo com Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978), devido à flexibilidade na construção de sua estrutura arbórea.

Na região neotropical o modelo de Prévost está representado principalmente por espécies do gênero *Cordia* (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978, VESTER, 1997; 2002), também encontrado em duas espécies neste estudo.

A ausência de outros modelos pode ser explicada, na maioria dos casos, como modelos típicos de arbustos ou ervas. Modelo de Stone é muito raro na natureza e é encontrado principalmente no gênero *Pandanus* (Madagáscar) e algumas ervas, principalmente da família Asteraceae (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978). Outro modelo escasso é o de Schoute, que é limitado as monocotiledóneas e algumas espécies da família Cactaceae, encontrada no México (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978). O Modelo Holttum não foi registrado, no entanto, é encontrado em espécies da família Bromeliaceae, que crescem naturalmente no solo (Gravatá – *Bromelia balansae* Meze). Modelo Tomlinson é escasso entre árvores, de modo que não foi registrado no trabalho. O modelo McClure também não é característico entre as árvores, as plantas encontradas no fragmento que são deste modelo são as taquaras da família Poaceae (*Merostachys* sp). Modelos não amostrados por não possui hábito arbóreo.

## 1.4 Conclusões

- Os modelos arquitetônicos mais encontrados foram os de Rauh, Troll, Scarrone, Roux e Massart;
- Este trabalho teve um caráter pioneiro e exploratório e deve fornecer um marco para novos estudos sobre arquitetura de plantas na região central do Rio Grande do Sul;
- Devem ser realizados novos trabalhos sobre arquitetura de plantas com outros hábitos vegetais e sinúsias de plantas na região.
- Apesar da menor riqueza de espécies arbóreas em Florestas Estacionais, quando comparadas com Floresta Pluviais, o número de modelos arquiteturais é equiparável.

## 1.5 Referências bibliográficas

BARTHÉLÉMY, D.; CARAGLIO, Y. Plant Architecture: A Dynamic, Multilevel and Comprehensive Approach to Plant Form, Structure and Ontogeny. **Ann Bot.**, v. 99, n. 3, p. 375 – 407, mar. 2007.

HALLÉ ,F., OLDEMAN, R. A A & TOMLINSON, P. B. **Tropical Trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441p.

HALLÉ, F. Arquitectura de los árboles. **Bol. Soc. Argent. Bot.**, Córdoba, v.45, n. 3-4, p. 405-418, out. 2009.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: IBGE.**Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p.113-150.

OLDEMAN, R. A. A. **Forests: Elements of Silvology**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 624 p.

PERRETA, M. G.; VEGETTI , A. C. Patrones Estructurales En Las Plantas Vasculares: Una Revision. **Gayana Bot.**, v. 62, n. 1, p. 9-19, 2005.

SCCOTI, M. S. V.; et al. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p. 459-472, 2011.

TORQUEBIAU, E. **The reiteration of the architectural model, a demographic approach to the tree**. Montpellier (Francia): AdEM, 1979. 55 p. Tesis (Maestría) - Academie de Montpellier, 1979.

TORQUEBIAU, E. F. Mosaic patterns in dipterocarps forest in Indonesia, and their implications for practical forestry. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.2, p. 301-325, nov. 1986.

TOURN, G. M.; BARTHÉLÉMY, D.; GROSFELD, J. Una aproximación a la arquitectura: conceptos, objetivos y metodología. **Bol. Soc. Argent. Bot.**, Córdoba, v.32, n. 1-2, p. 85-99, jan.-mar. 1999.

VESTER, H.F.M. Architectural diversification within the genus *Vismia* (Clusiaceae) in Amazonian rain forest (Araracuara, Colombia). In: Kurmann M.H. y Hemsley, A.R. Eds. **The Evolution of Plant Architecture**. Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido, 1999, p. 147-158.

VESTER, H. F. M. **The trees and the forest. The role of tree architecture in canopy development; a case study in secondary forests (Araracuara, Colombia)**. Amsterdam (Holanda): UvA, 1997. 180 p. Tesis (Doctoral) - Universiteit van Amsterdam, 1997.

VESTER, H.F.M.; CLEEF, A.M. Tree architecture and secondary tropical rain forest development: a case study in Araracuara, Colombian Amazonia. **Flora**, s/v, n. 193, p. 75-97, 1998.

VESTER, H. F. M. & J. SALDARRIAGA. Algunas características estructurales, arquitectónicas y florísticas de la sucesión secundaria sobre Terrazas Bajas en la región de Araracuara (Colombia). **Revista de La Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 1, n. 2, p. 15 – 45, 1993.

VESTER, H. F. M. Modelos arquitectónicos em La Flora arbórea de La península de Yucatán. **Bol. Soc. Bot. México**, Distrito Federal, s/v, n. 071, p. 45-57, dez. 2002.

## CAPÍTULO 2

### ARQUITETURA E ESTRUTURA VERTICAL DA COMUNIDADE ARBÓREA DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL

#### RESUMO

Objetivou-se delimitar e caracterizar os estratos verticais, observando a regularidade da distribuição de abundância de espécies no gradiente hipsométrico de árvores na floresta. Os dados foram obtidos de catorze parcelas (20m x 100m), distribuídas sistematicamente, registrando os táxons e a altura total das árvores com circunferência à altura do peito  $\geq 30$  cm. Os estratos foram delimitados a partir da análise de agrupamento. Caracterizou-se a abundância de espécies e os modelos arquitetônicos. Foi realizada uma análise de redundância (RDA), da distribuição de abundância das espécies com os modelos arquitetônicos, nos estratos verticais delimitados. Para avaliar a distribuição de abundância nas classes de altura usou-se a análise de correspondência destendenciada (DCA). A comunidade está formada por quatro estratos. Detectou-se associação entre as espécies e seus modelos arquitetônicos com os estratos verticais da floresta. Os distúrbios naturais na arquitetura da floresta como as formações de clareiras fornecem explicações para a permanência das espécies com distribuição irregular na estrutura vertical da floresta.

**Palavras-chave:** Ecologia Vegetal, Fitosociologia, Estrutura de Comunidades, Silvologia.

## CHAPTER 2

### ARCHITECTURE AND VERTICAL STRUCTURE OF THE TREE COMMUNITY IN A SUBTROPICAL SEASONAL FOREST

#### ABSTRACT

This study proposed stipulate the limits and characterize the vertical strata, observing the regularity of the distribution of species abundance, on height gradient of the trees in forest. Data were obtained from fourteen plots (20m x 100m) distributed systematically, registering the species and the total height of the trees with circumference at breast height (CBH)  $\geq 30$  cm. The strata were defined from the cluster analysis. We conducted a redundancy analysis between species abundance and architectural models, in the vertical strata. For the species distribution in vertical strata was used canonical correspondence analysis (DCA). The community is comprised of four vertical strata. It found an association between the species abundance and your architectural model with vertical strata. Some natural disturbance in forest architecture like the gaps formation can provide explanations about maintenance of the species with irregular distribution at vertical structure.

**Key-words:** Plant Ecology, Fitossociology, Community Structure, Silvology.

## 2.1 Introdução

As pesquisas da estrutura de comunidades arbóreas são caracterizadas pela distribuição das árvores em determinada área e são representadas por modelos de estrutura horizontal, vertical e paramétrica (HOSOKAWA et al., 2008).

Os modelos de estrutura vertical compreendem a distribuição de árvores no gradiente de altura, sendo essencial a aplicação de métodos para delimitar os estratos, os quais são difíceis de detectar devido à mescla das copas das árvores (LAMPRECHT, 1964) e a falta de técnicas que estabeleçam limites precisos (VEGA, 1966).

A hipótese dos distintos estratos verticais em comunidades arbóreas é a que se refere à diferenciação de crescimento e da adaptação das árvores causado pela existência de nichos ecológicos relacionados às seções horizontais de disponibilidade de radiação solar ao longo do perfil vertical (KOHYAMA, 1993). Estes nichos criam condições para a existência de grupos de espécies que apresentam uma funcionalidade similar na comunidade, como no caso de comunidades arbóreas que apresentam um tipo de modelo arquitetônico (VESTER, 1997). Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978) sugeriram que existe uma ampla expressão de formas e grande diversidade de padrão de crescimento em plantas lenhosas (arquitetura arbórea) que podem ser estudadas nos neotrópicos. Pesquisas procuraram trabalhar com a relação existente entre a arquitetura arbórea e a ecologia florestal (VESTER; SALDARRIAGA, 1993; OLDEMAN, 1990).

Na estrutura vertical, as espécies arbóreas têm o lugar assegurado quando estão representadas em todos os estratos verticais (FINOL, 1971), ao contrário de espécies que se encontram apenas no estrato superior ou superior e médio que possuem a duvidosa permanência, excetuam-se as espécies típicas do estrato inferior. As espécies com a

distribuição regular possuem a mesma abundância de indivíduos ou diminui gradualmente do estrato inferior para os superiores (HOSOKAWA et al., 2008).

Neste contexto, a pesquisa teve o objetivo de relacionar os modelos arquitetônicos com a estrutura vertical da floresta, observando se existem estratégias específicas de ocupação do dossel entre as espécies de cada modelo arquitetural.

## **2.2 Materiais e métodos**

### 2.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em um remanescente de Floresta Estacional Decidual localizado no Campo de Instrução de Santa Maria (53°52'O e 29°46'S), pertencente ao Ministério da Defesa, no município de Santa Maria, RS (Figura 2.1). A área apresenta 5.876 ha e o remanescente estudado, aproximadamente, 560 ha (SCCOTI et al., 2011).

As principais classes de solo da região pertencem à Unidade de Mapeamento Santa Maria e são denominadas: Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico úmbrico e Argissolo Amarelo Alítico típico, ambas originadas de siltitos e arenito, e que ocorrem em duas situações de paisagem: uma dominando o relevo suavemente ondulado e, outra, ocupando áreas de coxilhas em cotas intermediárias entre Argissolos Vermelhos (Unidade São Pedro) e em cotas mais altas (STRECK et al., 2008).

O clima da região é Cfa, conforme classificação de Köppen, com temperatura média de 17,9 a 19,2°C, podendo ocorrer geadas de abril a novembro e precipitação média anual entre 1400 e 1760 mm (HELDWEIN et al., 2009).

### 2.2.2 Obtenção e análise dos dados

Foi realizado, um levantamento florístico incluindo todos os indivíduos inclusos no inventário, com circunferência à altura do peito (CAP) igual ou superior a 30 cm contidos em 14 blocos de 20 x 100 m (2000 m<sup>2</sup>) nas áreas amostradas – sendo as árvores marcadas para estudos futuros. A classificação das famílias foi conforme *Angiosperm Phylogeny Group* (APG III, 2009).

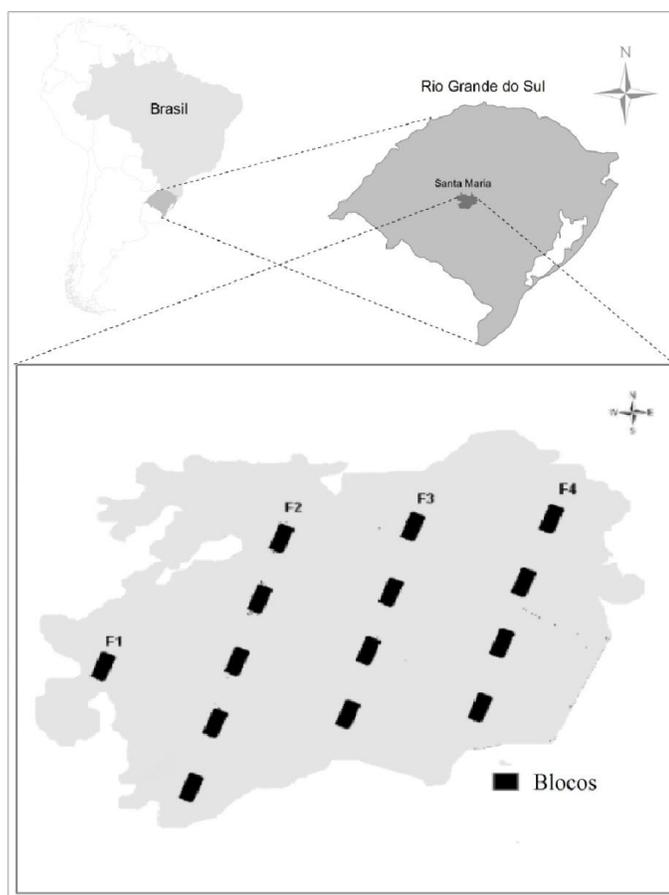


Figura 2.1 - Distribuição das parcelas na área (Mapa adaptado de Scoti et al., 2011).

Para delimitar os estratos verticais: (1) formaram-se as classes de alturas das árvores, em intervalos de um metro, denominadas como as camadas do gradiente vertical; (2) efetuou-

se a análise de agrupamento de *Cluster*, a partir da matriz de distância de dissimilaridade de Bray-Curtis pelo Método por Ligações Completas.

Na análise das espécies arbóreas nas classes de alturas usou-se a ordenação de análise de correspondência destendenciada (DCA) com base na matriz de abundância padronizada pela função de Chi-Quadrado (LEGENDRE; GALLAGHER, 2001).

Nas análises de agrupamento de *Cluster* e ordenação, foram as classes de altura da extremidade inferior da distribuição no intervalo de  $1,50 \text{ m} < \text{HT} \leq 4,5 \text{ m}$ , e as do intervalo superior,  $\text{HT} \geq 26,5$ , excluídas devido ao diminuto número de indivíduos.

A associação da distribuição de abundâncias das espécies com os modelos arquitetônicos nos estratos verticais foi avaliada pela ordenação canônica entre uma matriz de abundância das espécies por classe de altura e outra matriz com a abundância dos modelos arquitetônicos (ambas transformadas a partir do método de distâncias de Hellinger). Foi realizada a análise de redundância (RDA – Redundancy Analysis) entre as duas matrizes seguindo o protocolo apresentado por Borcard et al. (2011).

Os dados foram processados no *software* R, o pacote usado foi o VEGAN: *Community Ecology Package* (OKSANEN et al., 2011).

### **2.3 Resultados e discussão**

A altura máxima na comunidade foi de 26 m, representada por *Ficus luschnathiana* (Miq.) Miq., espécie típica do dossel (LEITE; KLEIN, 1990; MARCHIORI, 2009). Deste modo, para estabelecer a altura da comunidade considerou-se a classe de 24,5 m onde houve a concentração das árvores emergentes.

O dendrograma de *Cluster* (Figura 2.2) das classes de altura indica a existência de quatro grupos homogêneos (menor variabilidade intragrupo) e distintos (maior variabilidade intergrupo), confirmando a ocorrência da estratificação vertical, de acordo com os estudos da floresta estacional no sul do Brasil (HUECK, 1972; KLEIN, 1984; LEITE; KLEIN, 1990; GIEHL et al., 2007; MARCHIORI, 2009).

Delimitaram-se quatro estratos verticais: sub-bosque abaixo de 9,5 m de altura, sub-dossel de 10,5 m a 14,5 m, dossel acima de 15,5 m a 22,5 m e o emergente acima de 23,5 m de altura. O sub-dossel e dossel possuem os maiores números de camadas vegetais no gradiente de altura, dificultando a passagem de luz para o sub-bosque.

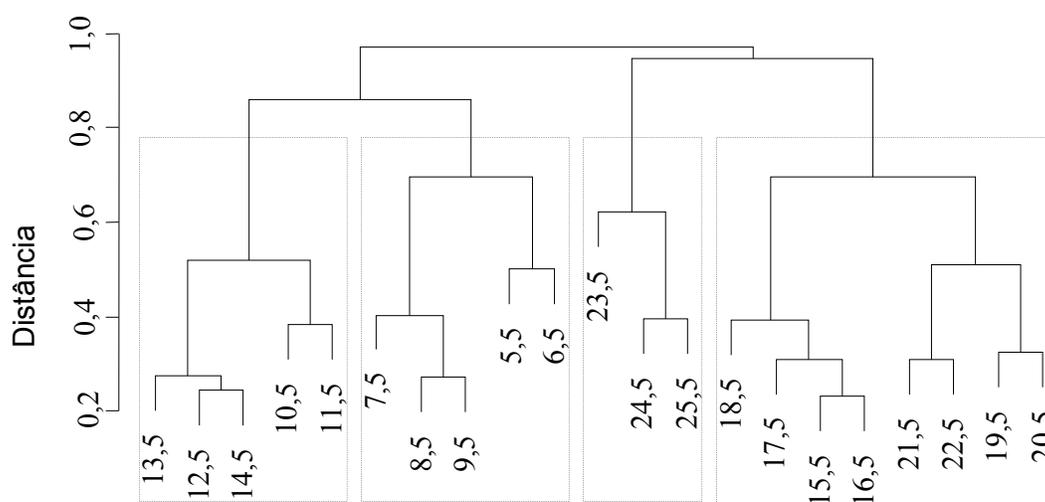


Figura 2.2 - Dendrograma da análise de agrupamento das classes de altura para a delimitação dos estratos verticais.

Foram registrados 1393 indivíduos, distribuídos em 53 espécies, 45 gêneros e 28 famílias botânicas.

Observou-se que 10 espécies ocorrem em todos os estratos verticais. As espécies com maior abundância dos indivíduos no sub-bosque e sub-dossel foram *Trichilia claussenii*, *Actinostemon concolor*, *Casearia sylvestris*, *Eugenia ramboi*, *Plinia rivularis* e *Sebastiania commersoniana*. As espécies com maior abundância no dossel e como emergentes foram *Chrysophyllum marginatum*, *Cordia americana*, *Cupania vernalis*, *Luehea divaricata*, *Myrcianthes pungens*, *Nectandra megapotamica*.

Tabela 2.1 - Distribuição das espécies, dos indivíduos no estrato emergente (Em), dossel (Do), sub-dossel (Sd) e no sub-bosque (SB); Ni = total dos indivíduos da espécie i; e modelo arquitetônico das espécies.

Famílias / Espécies	Estratos				Ni	Modelo Arquitetônico
	SB	SD	D	E		
ANNONACEAE						
<i>Annona neosalicifolia</i> H.Rainer	3	9	12		24	Troll
ARALIACEAE						
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerm.		2			2	Leeuwenberg
ARECACEAE						
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	3	2	3	16	24	Corner
ASTERACEAE						
<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabrera		1	1		2	Attim
BIGNONIACEAE						
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Martius) Mattos	7	1	7		15	Koriba
BORAGINACEAE						
<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.J.Mill.	5	14	15	21	55	Prévost
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.			4	12	16	Prévost
CARDIOPHYLLACEAE						
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A. Howard		3			3	Nozeran
EBENACEAE						
<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	1	2			3	Massart
ERYTHROXYLACEAE						
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.			1		1	Rauh
EUPHORBIACEAE						
<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	52	7			59	Rauh
<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	3	10			13	Rauh
<i>Sebastiania commersoniana</i> (Baill.) L. B. Sm. & Downs	11	45	2		58	Rauh
FABACEAE						
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	1			3	4	Troll
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong			5	2	7	Troll
<i>Inga vera</i> Willd.		1			1	Troll
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	4	2	15	7	28	Troll
LAMIACEAE						
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	2	1			3	Rauh

Continua ...

Tabela 2.1 - Continuação ...

Famílias / Espécies	Estratos				Ni	Modelo Arquitetônico
	SB	SD	D	E		
LAURACEAE						
<i>Aiouea saligna</i> Meisn.	4	4	5		13	Rauh
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	3	14	42	1	60	Roux
MALVACEAE						
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	6	16	15	15	52	Troll
MELIACEAE						
<i>Cabralea canjerana</i> ( Vell.) Mart.			2		2	Scarrone
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.		1	1	1	3	Scarrone
<i>Trichilia catigua</i> A. Juss	4	35	2		41	Rauh
<i>Trichilia claussenii</i> C.DC.	25	110	12		147	Rauh
<i>Trichilia elegans</i> A.Juss.	7	11	1		19	Rauh
MORACEAE						
<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	1	1	5	7	14	Rauh
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) Don ex Steud.			1		1	Rauh
MYRTACEAE						
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	4	14	13	2	33	Troll
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	2	2	12		16	Massart
<i>Eugenia ramboi</i> D.Legrand	11	38	3		52	Massart
<i>Eugenia uniflora</i> L.	2	3	1		6	Rauh
<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. legrand	3	19	46	1	69	Massart
<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	23	36	29		88	Troll
NYCTAGINACEAE						
<i>Pisonia zapallo</i> Griseb.	1	3			4	Leeuwenberg
PHYTOLACCACEAE						
<i>Phytolacca dioica</i> L.		1	5	5	11	Koriba
POLYGONACEAE						
<i>Ruprechtia laxiflora</i> Meisn.		2	4		6	Troll
PRIMULACEAE						
<i>Myrsine loefgrenii</i> (Mez) Imkhan.	2	2	3		7	Roux
RUBIACEAE						
<i>Randia ferox</i> DC.		1			1	Scarrone
RUTACEAE						
<i>Helietta apiculata</i> Benth.		6	5	1	12	Rauh
<i>Pilocarpus pennatifolius</i> Lem.		7	2		9	Scarrone
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.		4	1		5	Scarrone
SALICACEAE						
<i>Banara tomentosa</i> Clos	10	32			42	Troll
<i>Casearia decandra</i> Jacq.		1	1		2	Roux
<i>Casearia sylvestris</i> SW.	20	31			51	Roux
SAPINDACEAE						
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	5	22			27	Champagnat
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	11	14	110	8	143	Champagnat
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	1	5	16	9	31	Champagnat
SAPOTACEAE						
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	6	7	2		15	Troll
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	5	18	43		66	Troll
SOLANACEAE						
<i>Solanum sanctaecatharinae</i> Dunal	5	5			10	Aubréville
URTICACEAE						
<i>Boehmeria caudata</i> Sw.	2				2	Aubréville
<i>Urera baccifera</i> (L.) Gaudich.	15				15	Aubréville

Entre os modelos arquitetônicos (Tabela 2.2), o mais representativo no sub-bosque foi o de Aubréville. No sub-dossel os modelos de maior presença foram o de Leeuwenberg, Nozeran e Rauh. No dossel, os modelos em destaque foram os de Champagnat, Koriba e Troll. Enquanto no estrato emergente predominaram-se indivíduos do modelo arquitetônico de Prévost (Boraginaceae) e Corner.

Tabela 2.2 - Número e porcentagem de indivíduos de cada modelo arquitetônico nos estratos verticais da floresta.

Modelo Arquitetônico	Sub-Bosque	Sub-Dossel	Dossel	Emergente
Corner	3 (12,5%)	2 (8,3%)	3 (12,5%)	16 (66,7%)
Leeuwenberg	1 (16,7%)	5 (83,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Koriba	7 (26,9%)	2 (7,7%)	12 (46,2%)	5 (19,2%)
Attim	0 (0%)	1 (50%)	1 (50%)	0 (0%)
Massart	17 (12,1%)	61 (43,6%)	61 (43,6%)	1 (0,7%)
Nozeran	0 (0%)	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
Prévost	5 (7%)	14 (19,7%)	19 (26,8%)	33 (46,5%)
Rauh	111 (28,7%)	233 (60,2%)	35 (9%)	8 (2,1%)
Roux	25 (20,8%)	48 (40%)	46 (38,3%)	1 (0,8%)
Scarrone	0 (0%)	13 (65%)	6 (30%)	1 (5%)
Aubréville	22 (81,5%)	5 (18,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Champagnat	17 (8,5%)	41 (20,4%)	126 (62,7%)	17 (8,5%)
Troll	62 (16,9%)	137 (37,4%)	138 (37,7%)	29 (7,9%)

A distribuição de todas as espécies arbóreas registradas em diferentes classes de altura e permitiu constatar que algumas das espécies típicas dos estratos superiores concentram-se nos estratos inferiores, devido a grande abundância dos indivíduos nestes estratos. De tal modo, que a intensa competição por espaço e radiação solar interfere no crescimento e na distribuição de alguns indivíduos aos estratos verticais superiores. A DCA produziu autovalores de ordenação de 0,6274 para o eixo 1 e de 0,3006 para o eixo 2 implicando gradiente bem mais forte no eixo 1 (Figura 2.3).

O eixo 1 da DCA ordena a relação da distribuição das espécies com a estrutura vertical da floresta. As espécies com maior número de indivíduos de maior porte (*C. trichotoma*, *P. dioica*, *E. contortisiliquum*, *F. luschnathiana*) encontram-se no lado esquerdo do plot, as

espécies com indivíduos mais abundantes no sub-bosque estão posicionadas no lado direito do plot (*A. concolor*, *B. tomentosa*, *T. catigua*, *T. clausenii*, *T. elegans*, *E. uniflora*).

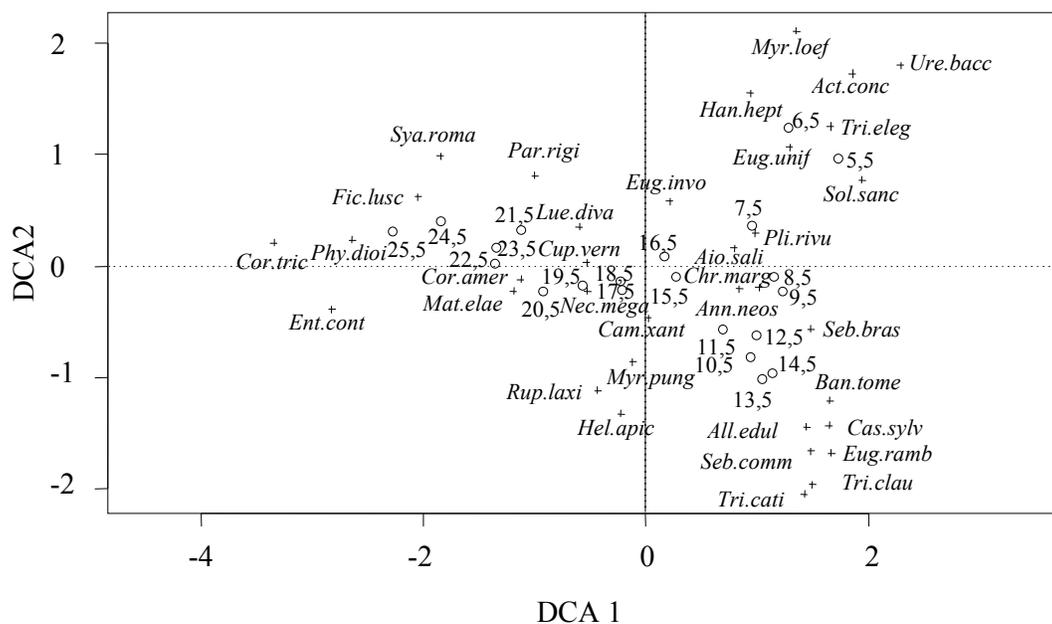


Figura 2.3. Diagrama de ordenação da análise de correspondência distendenciada (DCA), para todas as espécies arbóreas amostradas nas diferentes classes de altura (camadas) na comunidade arbórea.

Existe relação entre a distribuição de abundância das espécies com a distribuição dos modelos arquitetônicos, expressa pela análise de redundância. A variabilidade explicada pela ordenação canônica foi de 45,23% e o coeficiente de regressão ajustado foi de 0,67 (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Resumo da análise de variância da RDA para a relação entre as espécies arbóreas e seus modelos arquitetônicos.

ANOVA	GL	Var	F	Pr(>F)	R <sup>2</sup>
Modelo	13	0,4523	4,07	0,001	0,67
Resíduo	7	0,0598			
RDA 1	1	0,1872 (41,39%)	21,91	0,002	
RDA 2	1	0,1052 (22,26%)	12,32	0,001	

GL: Graus de liberdade; Var: Variabilidade explicada; F: Valor F calculado; Pr(>F): Probabilidade (1000 permutações); R<sup>2</sup>: Proporção da variabilidade explicada pelo modelo; RDA: Coeficiente canônico das variáveis; (%): porcentagem da variância explicada pelo modelo.

Os modelos arquitetônicos de Corner (*S. romanzofiana*), Prévost (*C. americana* e *C. trichotoma*), Koriba (*H. heptaphyllus*, *P. dioica*), Champagnat (*A. edulis*, *C. vernalis*, *M. elaeagnoides*) retrataram as espécies em que grande parte de seus indivíduos encontravam-se no dossel e como emergentes no remanescente florestal, o que pode ser observado nos vetores presentes no gráfico da figura 2.3. Assim como os vetores dos modelos arquitetônicos de Aubréville (*B. caudata* e *U. baccifera*, *S. santaecatharinae*) e Rauh estão relacionados com os indivíduos mais representativos no sub-dossel e sub-bosque (Figura 2.4; Tabela 2.2).

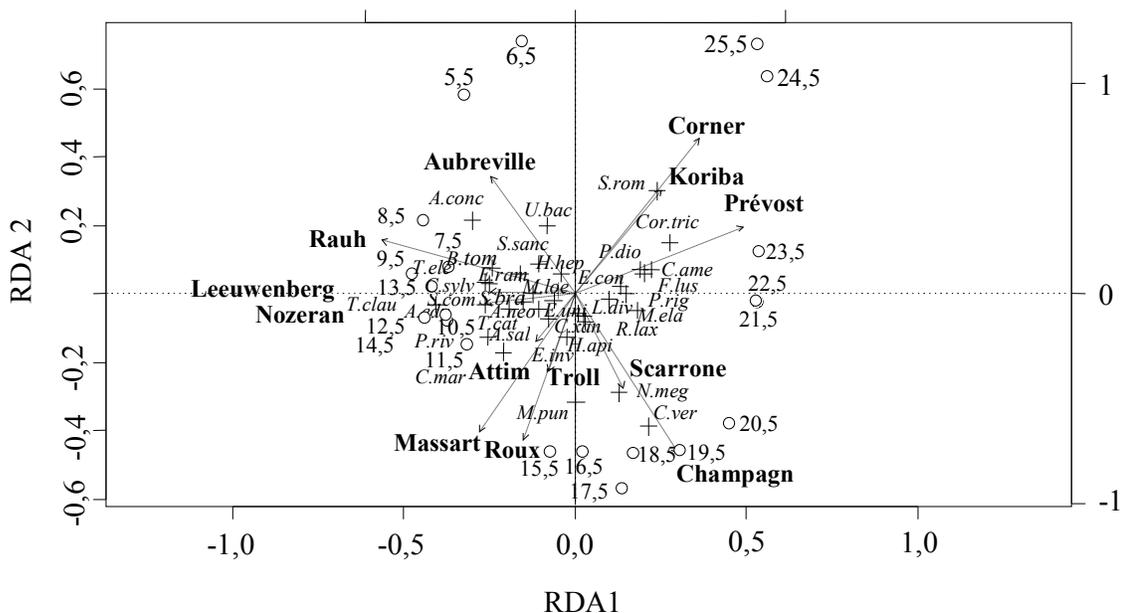


Figura 2.4. Diagrama da ordenação canônica pela análise de redundância (RDA), para a relação entre as espécies arbóreas e seus modelos arquitetônicos, nas diferentes classes de altura (camadas) da comunidade arbórea.

Assim, a existência a árvores típicas de estratos superiores que ocorrem nos inferiores e entre os diferentes estratos (KLEIN, 1979), interfere nas variáveis não explicadas pela análise de redundância (GUILHERME et al., 2004). Os distúrbios naturais e as clareiras são responsáveis pela permanência das espécies pioneiras no interior da comunidade arbórea

(DENSLOW, 1980; BROKAW, 1987; TABARELLI; MANTOVANI, 1999), pois proporcionam a disponibilização de radiação solar e oferta de recursos, que acabam influenciando na diversidade de microhabitats e nichos específicos (RICKLEFS, 2003).

## 2.4 Conclusões

Ocorre um aumento visível na complexidade da arquitetura da floresta de acordo com o desenvolvimento dos estratos verticais no dossel florestal. Algumas espécies possuem como característica a ocupação preferencial de determinado estrato. Confirmando que existe relação entre a ocupação do dossel com os modelos arquiteturais das espécies.

## 2.5 Referências bibliográficas

APG III. Angiosperm Phylogeny Group III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, p. 105–121, 2009.

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, F. **Numerical ecology with R.** Springer, New York, USA, Springer, 2011. 306 p.

BROKAW, N. V. L. Gap-phase regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest. **Journal of ecology**, v. 75, n.1, p. 9–19, 1987.

DENSLOW, J. S. Gap partitioning among tropical rainforest trees. **Biotropica**, v. 12, n.2, p. 47-55, 1980.

FINOL, H. Nuevos parâmetros a considerar-se em el análisis estructural de las sevas virgenes tropicales. **Ver. For. Venez.**, Merida, v.14, n.21, p.29-42, 1971.

GIEHL, E. L. H.; et al. Espectro e distribuição vertical das estratégias de dispersão de diásporo do componente arbóreo em uma floresta estacional no sul do Brasil. **Acta bot bras.**, Belo Horizonte, v.21, n. 1, p. 137-145, 2007.

GUILHERME, F. A. G.; MORELLATO, L. P. C.; ASSIS, M. A. Horizontal and vertical tree community structure in a lowland Atlantic Rain Forest, Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 725-737, 2004.

HALLÉ, F., OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical Trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441p.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria, RS. *Ciência & Ambiente*, v. 38, s/n, p.43-58, 2009.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia florestal**. Curitiba: Ed. UFPR, 2008. 164p.

HUECK, K. **As Florestas da América do Sul**. São Paulo: Ed. Polígono S. A., 1972. 466p.

KLEIN, R. M. Ecologia da Flora e Vegetação do Vale do Itajaí. Santa Catarina, **Sellowia**, Itajaí, n.31, 389 p. 1979.

KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil. **Sellowia**, Itajaí, n.36, p. 5-54, 1984.

KOHYAMA, T. Size-structure tree populations in gap-dynamic Forest-the Forest architecture hypothesis for the stable coexistent of species. **Journal of Ecology**, v.81, n.1, p.131-143,1993.

LAMPRECHT, H. Ensayo sobre la estructura florística del parte sur-oriental del bosque universitario " El Caimital " Estado Baridas. **Ver. For. Venez.**, Merida, v. 7, n. 10-11, p. 77-119, 1964.

LEGENDRE, P.; GALLAGHER, E. D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. **Oecologia**, v. 129, n. 2, p. 271-280, Oct. 2001.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 113-150.

MARCHIORI, J. N. C.. A vegetação em Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 38, p. 91-112, jan./jun. 2009.

OLDEMAN, R. A. A. **Forests: Elements of Silvology**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 624 p.

OKSANEN, J.. **VEGAN: Community Ecology Package**. R package version 1.17-8. Viena, 2011. Versão 1.17-8. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=vegan>>. Acesso em: 21 abr. 2011.

RICKLEFS, R. E. A economia da natureza. 5. ed Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

SCCOTI, M. S. V.; et al. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 459-472, 2011.

STRECK, E. V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre, EMATER / RS – ASCAR, 2008. 222 p.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. A Regeneração de uma Floresta Tropical Montana Após Corte e Queima (São Paulo - Brasil). **Rev. Brasil. Biol.**, São Paulo, v. 59, n. 2, p, 239-250, 1999.

VEGA, C. L. Observaciones ecologicas sobre los bosques de roble de la Sierra Boyacá, Colombia. **Turrialba**, Turrialba, v.16, n.3, p.286-296, 1966.

VESTER, H. F. M.; SALDARRIAGA, J. Algunas características estructurales, arquitectónicas y florísticas de la sucesión secundaria sobre Terrazas Bajas en la región de Araracuara (Colombia). **Revista de La Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 1, n. 2, p. 15-45, 1993.

VESTER, H. F. M. The trees and the forest. The role of tree architecture in canopy development; a case study in secondary forests (Araracuara, Colombia). Amsterdam (Holanda): UvA, 1997. 180 p. Tesis (Doctoral) - Universiteit van Amsterdam, 1997.

VESTER, H. F. M. Modelos arquitectônicos em La Flora arbórea de La península de Yucatán. **Bol. Soc. Bot. México**, Distrito Federal, s/v, n. 071, p. 45-57, dez. 2002.

## CAPÍTULO 3

### PADRÕES ALOMÉTRICOS DE COMUNIDADES ARBÓREAS DE UMA FLORESTA ESTACIONAL SUBTROPICAL

#### RESUMO

O estudo visou caracterizar os modelos de *design* mecânico dos diferentes modelos arquiteturais do remanescente florestal estudado, e realizar a modelagem do incremento em área basal da comunidade arbórea. Foram utilizadas as mensurações de diâmetro a altura do peito e altura de um inventário realizado nos anos de 2008 e 2010, e amostradas medidas dimensionais da copa e de indivíduos competidores de um total de 152 indivíduos de espécies arbóreas. As espécies foram classificadas em seus modelos arquitetônicos. Os coeficientes alométricos das arquiteturas de Champagnat e Rauh se enquadraram no modelo geométrico, enquanto Massart e Troll, no modelo elástico e a arquitetura de Roux, entre o modelo elástico e o de constante estresse. As variáveis que melhor explicaram o incremento em área basal das árvores foram o diâmetro a altura do peito, o diâmetro da copa e o índice de saliência, sendo que a variável categórica dos modelos arquiteturais aumentou a eficiência da regressão. O estudo de dinâmica da vegetação a partir do comportamento de grupos de espécies de modelos arquitetônicos são promissores para atividades de planejamento de ecossistemas florestais.

**Palavras-chave:** Dinâmica da vegetação. Alometria de plantas. Arquitetura arbórea.

### CHAPTER 3

## ALLOMETRIC PATTERNS OF TREE COMMUNITIES IN A SUBTROPICAL SEASONAL FOREST

### ABSTRACT

The study aimed to characterize the mechanical design models of different architectural models of the remaining forest studied. Were used Measurements of diameter and height of an inventory conducted in 2008 and 2010, and sampled dimensional measurements of canopy and competing individuals a total of 152 individuals of tree species. The species were classified in its architectural models. The allometric coefficients of Champagnat and Rauh architectures fitted in the geometric mechanical design, while Massart and Troll, the elastic mechanical design and architecture Rauh, between the elastic model and the stress constant. The variables that explain the increase in basal area of trees were diameter at breast height, crown diameter and salience index, whereas the categorical variable of architectural models increased the efficiency of regression. The study of vegetation dynamics from the behavior of architectural models are promising for planning activities of forest ecosystems.

**Key-words:** Vegetation dynamic, Plant allometry, Tree Architecture.

### 3.1 Introdução

As florestas tropicais apresentam uma grande heterogeneidade temporal e espacial que é explicitada por meio dos mosaicos silváticos (OLDEMAN, 1990) – manchas na floresta com vegetação de diferentes idades e tipos de distúrbios. Devido às constantes e intensas pressões antrópicas a que os referidos ecossistemas naturais estão submetidos, é necessário que se concentrem esforços em estudos de natureza dinâmica. Os resultados desses estudos poderão subsidiar ações eficientes para a conservação, recuperação e manejo desses ambientes.

O que é um modelo arquitetural? De acordo com Hallé, Oldeman e Tomlinson (1978), o modelo arquitetural é o modelo de crescimento que determina as sucessivas fases arquiteturais das árvores, o qual é baseado em um programa ontogenético, que prediz como a planta elabora sua forma, que resulta na sua arquitetura.

A alometria é o estudo do crescimento de uma parte do organismo em relação ao todo, como a investigação das consequências do tamanho na forma do organismo, como a propriedade que certos objetos têm de conservarem sua geometria enquanto eles variam de tamanho (KOHYAMA, 1987; NIKLAS, 1995), ou ainda, as consequências biológicas e funções ambientais de determinados padrões alométricos (NIKLAS, 2004). Este estudo é utilizado para descrever relações quantitativas entre mudanças no tamanho de diversos organismos e uma variedade de características morfológicas, fisiológicas, de história de vida ou de comportamento (AIBA; KOHYAMA, 1997; GAYON, 2000; VIEIRA et al., 2008). Fornecem subsídios para comparação e entendimento das diferentes estratégias adaptativas dos seres vivos quanto à adaptação, sobrevivência e reprodução no ambiente (SPOSITO; SANTOS, 2001a).

O tamanho, formato e posição da copa de uma árvore são determinantes da quantidade de luz interceptada, enquanto as dimensões do tronco estão relacionadas à resistência mecânica frente às pressões exercidas por fatores como vento e a massa da própria copa (KING, 1996). As relações entre tamanho e forma das plantas irão influenciar o padrão estrutural e funcional dos diferentes tipos de vegetação (FONTES, 2000). Existem espécies com caracteres morfológicos que variam intra e inter-populações nos ambientes e suas estratégias de alocação de recursos devem ser estudadas para uma melhor compreensão de

suas respostas adaptativas e o desenvolvimento de suas estruturas mecânicas (CRAWLEY, 1997; GRACE, 1997).

A variedade morfológica das plantas sempre foi um conceito em evidência. O que explicita uma série de arranjos de componentes tendo características morfológicas específicas organizadas em diferentes escalas (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978; PERRETA ; VEGETTI, 2005). Muitas plantas apresentam estratégias de crescimento relacionadas ao tipo de eco-unidade silvigenética, que compreende uma unidade de vegetação definida, com estágio e grupo sucessionais caracterizados e que apresentam idades de colonização similares (OLDEMAN 1990; BORMANN; LIKENS 1994). As plantas apresentam ampla plasticidade em seu comportamento ecológico devido a características arquiteturais (SPOSITO; SANTOS, 2001b) e padrões alométricos peculiares à situação ambiental, o que promove um grande espectro morfológico para atingirem o sucesso adaptativo e colonizarem distintos ecossistemas. Segundo Niklas (1994b), as explicações evolutivas para o sucesso adaptativo de espécies vegetais em diferentes ambientes são a eficiência na interceptação de luz e na utilização de recursos, a estabilidade mecânica e a capacidade de reproduzir-se no local. Várias características biológicas definem a capacidade competitiva das plantas de se perpetuarem em diferentes ambientes. Uma mínima nuance morfológica em certas espécies pode fornecer aptidão suficiente para que as mesmas desenvolvam plasticidade ambiental.

O enfoque sobre as relações interdimensionais, advindas do conhecimento sobre a morfometria e alometria de espécies arbóreas é importante e complementar a estudos de populações, pois fornece um arcabouço conceitual para inferências sobre a adaptação das espécies ao meio (NIKLAS, 1994a). Além disso, pode subsidiar possíveis tomadas de decisão em relação às técnicas silviculturais adotadas em remanescentes florestais cujas populações de espécies lenhosas sejam passíveis de manejo (DURLO; MARCHIORI; SPATHELF, 2000).

Em condições de desenvolvimento, as árvores suportam a sua própria biomassa e as pressões do ambiente, adquirindo um design mecânico específico, em termos adaptativos. Assim, com base nas relações entre diâmetro e altura, três modelos foram propostos, a partir de regressão linear com as variáveis logaritmizadas (log-log), para explicar como se combinam as forças em um caule de espécies lenhosas para que este mantenha os modelos de design mecânico (McMAHON, 1973; NIKLAS, 1992), tais como: similaridade de stress constante, similaridade elástica e similaridade geométrica.

O modelo de similaridade de stress constante assume que um nível máximo de estresse é mantido através de uma altura de uma árvore, sendo que esta suposição requer que o crescimento do diâmetro do tronco de uma árvore seja proporcional ao quadrado do crescimento da altura para que a árvore se mantenha de pé. A inclinação ( $\beta$ ) da reta seria igual a dois. O modelo de similaridade elástica assume que a deflexão do lado livre de um caule deve permanecer constante em relação à altura e que os troncos são colunas auto-suportantes que diminuem de diâmetro com a altura. Se as árvores são grossas o suficiente para prevenir o tombamento, então o crescimento em diâmetro deve ser proporcional ao aumento de  $3/2$  da potência da altura. Assim, a inclinação ( $\beta$ ) de uma reta descrevendo o modelo seria igual a 1,5. O modelo de similaridade geométrica, a hipótese nula para os modelos descritos acima, ocorre quando a relação altura x diâmetro é constante ao longo da ontogenia, e o modelo prevê altura ( $h$ ) aumentando em proporção direta ao diâmetro. Nesse caso diz-se que a árvore tem um crescimento isométrico e a inclinação ( $\beta$ ) correspondente é igual a um.

Assim, o estudo buscou caracterizar os modelos mecânicos dos diferentes modelos arquiteturais, mais abundantes no remanescente florestal estudado, e realizar a modelagem do incremento em área basal da comunidade arbórea. E, desta forma, contribuir para o planejamento de atividades de silvicultura no fragmento a partir do comportamento dos modelos arquiteturais.

## **3.2 Materiais e métodos**

### **3.2.1 Coleta de dados**

Foram utilizadas, para as análises do *design* mecânico, as mensurações de diâmetro a altura do peito e altura total de um inventário realizado nos anos de 2008, 2009 e 2010 (SCCOTI et al., 2011), e amostradas medidas dimensionais da copa e de indivíduos competidores de um total de 150 indivíduos de espécies arbóreas, em Santa Maria (RS). As espécies foram classificadas, de acordo com os seus modelos arquitetônicos (HALLÉ; OLDEMAN; TOMLINSON, 1978 – 1º capítulo). Entre os modelos arquitetônicos medidos,

21 indivíduos tinham a arquitetura de Champagnat, sendo das espécies *Allophylus edulis*, *Cupania vernalis* e *Matayba elaeagnoides*. Da arquitetura de Massart, foram medidos 25 indivíduos, sendo das espécies *Eugenia involucrata*, *Eugenia ramboi* e *Myrcianthes pungens*. Foram medidos 33 indivíduos do modelo arquitetônico de Rauh, distribuídos entre as espécies *Actinostemon concolor*, *Erythroxylum deciduum*, *Eugenia uniflora*, *Ficus luschnathiana*, *Helietta apiculata*, *Sebastiania commersoniana*, *Trichilia clausenii*, *Trichilia elegans* e *Vitex megapotamica*. No modelo arquitetônico de Roux foram medidos 22 indivíduos, entre as espécies *Casearia sylvestris*, *Myrsine loefgrenii* e *Nectandra megapotamica*. E no modelo de Troll foram medidos 49 indivíduos, dentre as espécies *Annona neosalicifolia*, *Banara tomentosa*, *Campomanesia xanthocarpa*, *Chrysophyllum gonocarpum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Luehea divaricata*, *Parapiptadenia rigida*, *Plinia rivularis* e *Ruprechtia laxiflora*.

De cada planta, foram mensurados os seguintes dados: diâmetro do tronco a uma altura de 1,30 m (DAP); altura total (AT); área da copa (AC), obtida a partir de sua projeção no solo e a partir da medição de oito raios entre o centro e os limites da copa; o número de competidores sobre a copa do indivíduo e seus diâmetros e alturas, onde a árvore vizinha é considerada competidora quando apresenta altura de pelo menos 80% da altura total do indivíduo mensurado e possui copas sobrepostas à copa da árvore medida.

Também foram medidos dois índices de competição, calculados a partir de ângulos verticais e horizontais (Figura 3.1 A e B).

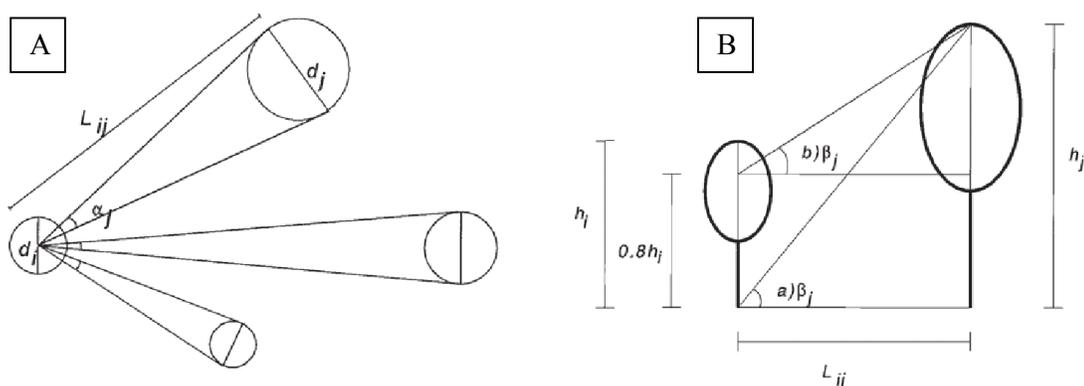


Figura 3.1 - Ilustração dos critérios para cálculos dos índices de competição horizontal (A) e vertical (B), adaptado de Rouvinen e Kuuluvainen (1997). Onde: d - diâmetro da árvore, h - altura da árvore,  $\alpha$  - ângulo horizontal,  $\beta$  - ângulo vertical.

De acordo com Rouvinen e Kuukuvainen (1997) o índice de competição horizontal é calculado a partir da seguinte fórmula:  $CI_1 = \sum \arctan [D_j/L_{ij}]$ . Já o índice de competição vertical é calculado a partir da seguinte fórmula:  $CI_6 = \sum \arctan [(H_j - 0,8 H_i)/ L_{ij}]$ ,  $H_i > 0,8 H_j$ . Onde:  $\arctan$  = arco tangente de um ângulo em radianos;  $D_j$  = Diâmetro da árvore competidora;  $H_i$  = Altura da árvore amostra;  $H_j$  = Altura da árvore competidora; e  $L_{ij}$  = distância entre a árvore amostra e a árvore competidora.

Com base nos valores medidos de DAP, altura total (AT), altura dos primeiros ramos com folha da copa (Af), o diâmetro de copa (Dc), foi possível calcular as seguintes características morfométricas e arquiteturas (Quadro 3.1): o grau de esbeltez (GE), o índice de saliência (IS), o índice de abrangência (IA), o formal de copa (FC).

O Grau de Esbeltez (GE) é a relação entre a altura total da árvore e o DAP. Uma relação superior a 1 indica que o crescimento em diâmetro é reduzido em relação à altura (DURLO, 2001).

O Índice de Saliência (IS) é a relação entre o diâmetro de copa e o DAP e indica quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o DAP. Este índice pode ser usado como indicador de competição sobre a planta, pois fornece uma noção do espaço ao redor de uma árvore selecionada (DURLO; DENARDI, 2004).

A razão entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore também é conhecida como Índice de Abrangência (IA). Este índice fornece um indicativo do investimento da planta no desenvolvimento horizontal da copa com o crescimento em altura (DURLO & DENARDI, 1998). O Formal de Copa (FC) é a relação entre o diâmetro e a altura de copa. Quanto menor o formal de copa, melhor é a produtividade da árvore (DURLO, 2001).

Parâmetro	Fórmula
Grau de esbeltez (GE)	$GE = \frac{At}{Dap}$
Índice de Saliência (IS)	$IS = \frac{Dc}{Dap}$
Índice de Abrangência (IA)	$IA = \frac{Dc}{At}$
Formal da Copa (FC)	$FC = \frac{Dc}{(At - Af)}$

Quadro 3.1 - Características morfométricas calculadas para cada árvore mensurada. Onde: At - Altura total, Af - Altura das primeiras folhas da copa, Dap - Diâmetro a altura do peito, Dc - Diâmetro da copa.

### 3.2.2 Análise de dados

A estabilidade mecânica dos modelos arquiteturais foi caracterizada através de uma regressão linear entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total (HT), obtendo-se a Expressão  $\ln(DAP) = \alpha + \beta x \ln(HT)$  - pelo método do maior eixo padronizado (*Standardized Major Axis* - SMA) que considera que as duas variáveis (dependente e independente) se influenciam de forma mútua (NIKLAS, 1994a). Para verificar a adequação das linhas de regressão das espécies com os modelos de design mecânico, compararam-se os intervalos de confiança obtidos para as inclinações ( $\beta$ ) com aquelas previstas pelos modelos: similaridade geométrica ( $\beta=1$ ), similaridade elástica ( $\beta=1,5$ ) e similaridade de stress constante ( $\beta=2$ ).

Para modelagem do incremento em área basal foi realizado o procedimento stepwise (DELLA-FLORA; DURLO; SPATHELF, 2004), onde a variável dependente foi o incremento em área basal dos indivíduos arbóreos em um período de dois anos (2008 – 2010) e as variáveis independentes foram todas as variáveis contínuas dendrométricas e morfométricas mensuradas, além das variáveis categóricas (espécies e modelos arquitetônicos).

A precisão das equações foi avaliada a partir do coeficiente de determinação de ajuste ( $R^2$ ). Todas as análises estatísticas foram realizadas pelo software R, sendo utilizado os pacotes SMATR (WARTON et al., 2011) para o ajuste das equações de regressão lineares e MASS (R DEVELOPMENT TEAM, 2011) para o ajuste da equação dos modelos lineares generalizados e do procedimento stepwise para escolha de variáveis (DELLA-FLORA; DURLO; SPATHELF, 2004). Os critérios de informação de Akaike (AIC) e o Bayesiano (BIC) foram utilizados para escolha e seleção das variáveis independentes que entraram no modelo de incremento, sendo os representados no quadro 3.2:

(A) $AIC = -2 \ln L_{\max} + 2k$	(B) $BIC = -2 \ln L_{\max} + k \ln N$
----------------------------------	---------------------------------------

Quadro 3.2 - Critérios de informação de Aikaike (A) e Bayesiano (B). Onde:  $\ln$  - Logaritmo neperiano;  $L_{\max}$  - Máxima verossimilhança;  $k$  - Número de parâmetros do modelo; e  $N$  - número de unidades amostrais.

### 3.3 Resultados e discussão

Todas as regressões lineares entre diâmetro do tronco e altura total foram significativas (Tabela 3.1). Entretanto, a variação do diâmetro do tronco foi explicada com maior acurácia pela altura no modelo de Roux do que nos outros. De acordo com os valores dos coeficientes alométricos ( $\beta_1$ ), as arquiteturas de Champagnat e Rauh se enquadram no *design* mecânico de geométrico ( $\beta_1=1$ ), enquanto Massart, Troll se enquadram no *design* mecânico elástico ( $\beta_1=1,5$ ) e a arquitetura de Roux, fica entre o modelo elástico ( $\beta_1=1,5$ ) e o de stress constante ( $\beta_1=2$ ).

Tabela 3.1 - Estimativas de ajuste dos modelos de regressão entre: diâmetro do tronco (DAP) e altura total (AT).

Y	$\beta_0$	$\beta_1$	p	Intervalos de confiança		R <sup>2</sup>	Spp	Ind
				Mínimo	Máximo			
<b>Log (DAP) vs. Log (AT)</b>								
Champagnant	0,797	1,259 <sup>ab</sup>	*	1,112	1,424	0,215	3	21
Massart	-0,148	1,588 <sup>bc</sup>	*	1,392	1,812	0,385	3	25
Rauh	0,978	1,201 <sup>a</sup>	*	1,102	1,309	0,258	9	23
Roux	-0,158	1,710 <sup>c</sup>	*	1,523	1,919	0,595	3	22
Troll	0,412	1,434 <sup>bc</sup>	*	1,319	1,559	0,342	9	49

Onde:  $\beta$  - Coeficientes da regressão, p - significância da regressão ao nível de 0,1% de probabilidade, R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação ajustado, Spp - número de espécies, Ind - Número de indivíduos.

As relações alométricas entre Dap-At diferem significativamente entre alguns dos modelos arquiteturais em estudo (Figura 3.2), mas estão dentro da faixa relatada por outros estudos, em ambientes de floresta (KING, 1990; THOMAS, 1996; ALVES; SANTOS, 2002). Os dados obtidos sugerem que a similaridade geométrica é a melhor aproximação para o padrão de crescimento observado para as árvores menores e de similaridade elástica e de stress constante para as plantas maiores. Assim, as mudanças no tamanho parecem influenciar nas relações de escala entre Dap-At, nas árvores das florestas dos neotrópicos.

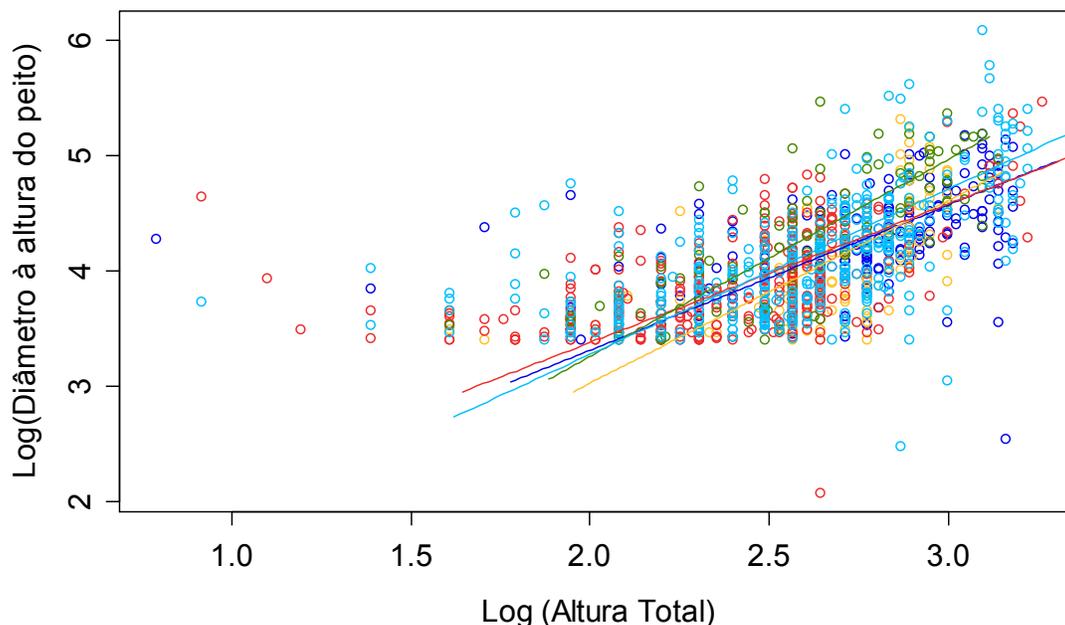


Figura 3.2. Curvas obtidas da relação entre o diâmetro do tronco e a altura total e valores observados para os cinco modelos arquiteturais estudados na mata do CISM, Santa Maria, RS. Sendo que os modelos: Champagnat (Azul Escuro); Massart (Bege); Rauh (Vermelho); Roux (Verde); Troll (Azul Claro).

Alguns autores demonstraram resultados semelhantes de escala próxima ao modelo de similaridade elástica para as árvores emergentes (O'BRIEN et al., 1995), enquanto outros têm detectado relacionamento de similaridade geométrica para as espécies de sub-bosque (KING, 1996; KOHYAMA, 1987; SPOSITO; SANTOS, 2001a). Mas, deve-se observar que os padrões de alocação e crescimento, bem como as mudanças físicas que ocorrem durante o desenvolvimento da árvore (por exemplo, mudanças em recursos de luz e densidade de plantas vizinhas) alteram o coeficiente alométrico, e raramente são considerados na explicação do desenho mecânico das árvores.

Na realidade, Niklas e Spatz (2004) mostraram que a regra de similaridade elástica é violada por árvores pequenas e médias e sugeriram que um dimensionamento baseado no crescimento e nas propriedades hidráulicas das árvores pode fornecer dados biologicamente mais precisos e realistas para modelos de estabilidade mecânica. As causas relacionadas à escala ainda não estão esclarecidas, apesar das muitas hipóteses propostas. Entre estas,

incluem-se a resistência à deformação elástica, transferência de massa, e a influência do comportamento fractal de ramificações das partes internas das plantas. Todas essas hipóteses ressaltam que a escala é uma resposta à necessidade de distribuir fluidos de forma eficiente (McMAHON, 1973; NIKLAS; SPATZ, 2004).

Na maioria dos casos, os traços arquitetônicos podem se alterar significativamente com a altura das plantas, tanto dentro como entre as espécies para lidar com a crescente disponibilidade de luz e carga de maior respiração com a elevação das árvores nos estratos verticais. As árvores tendem a aumentar a largura da copa com o crescimento em altura. Esta hipótese é confirmada pelos trabalhos em florestas tropicais ao redor do globo (KING, 1996; STERCK; BONGERS, 2001).

Alguns autores (KING, 1990; KOHYAMA; HOTTA, 1990) argumentam que a expansão lateral da copa alta deve ser mais acentuada em espécies de sub-bosque do que em outras posições sociológicas, mas outros pesquisadores (O'BRIEN et al., 1995; STERCK; BONGERS, 2001; POORTER et al., 2003) verificaram esta distinção característica entre os três estágios de altura para uma mesma espécie. Para comparações interespecíficas e intraespecíficas de estatura de plantas adultas, a hipótese de maior expansão lateral da copa de árvores do sub-bosque pode ser mantida, mas a estratégia muda quando relacionada à profundidade da copa. Também é interessante que muitas espécies de sub-bosque se adaptam à luz baixa, investindo mais em profundidade do que em largura da copa. O que levanta a questão: o que acontece com o autossombreamento em condições de pouca luz?

De acordo com Givnish (1988) plantas com eixos ortotrópicos e filotaxia espiralada apresentam vantagens em ambientes ensolarados, porque troncos eretos suportam maior massa foliar por ramo. Nesse caso, o maior autossombreamento da copa teria um efeito pequeno na assimilação de carbono em níveis próximos ao ponto de saturação fotossintética e este alto sombreamento diminuiria a carga calorífica e o esforço de transpiração em ambientes de maior radiação. Plantas com eixos plagiotrópicos e filotaxia dística se favorecem em ambientes sombreados, apesar de sua ineficiência mecânica, por que: os baixos níveis de autossombreamento teriam efeito sobre assimilação de carbono em níveis de irradiância perto do ponto de compensação fotossintética; e a exposição direta à luz em ambientes de baixa radiação teriam custos adicionais com transpiração quase nulos. Como órgãos de crescimento, plantas com troncos ortotrópicos se favorecem no sol, pois a assimilação de carbono seria reforçada pelo crescimento vertical e ocupação do dossel da floresta, enquanto plantas com

troncos plagiotrópicos são mais adaptadas à sombra, cuja captação total de luz seria reforçada pelo crescimento horizontal da copa.

Em relação à modelagem do incremento em área basal foram selecionadas as variáveis, diâmetro à altura do peito, diâmetro da copa e índice de saliência com as de melhor eficiência para o modelo. Percebe-se que com a adição dos modelos arquitetônicos como variáveis qualitativas fatoriais, houve uma melhoria no modelo de regressão (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Estimativas de ajuste da modelagem do incremento em área basal.

Incremento = $dap + dc + is$					
$\beta_0$	$\beta_1$ (dap)	$\beta_2$ (dc)	$\beta_3$ (is)	AIC	EPR
-0,042261	0,002349	-0,005887	0,001146	-740	0,05916
Incremento = $dap * (arq) + dc + is$					
-0,064243	0,003314	-0,004747	0,000894	-759,2	0,04679
Massart	0,030000				
Rauh	0,032781				
Roux	0,043982				
Troll	0,037751				

Onde:  $\beta$  - Coeficientes da regressão, dap - Diâmetro à altura do peito, dc - Diâmetro da copa, is - Índice de saliência, arq - Modelo arquitetural, AIC - Critério de informação de Aikaike, EPR - Erro padrão residual.

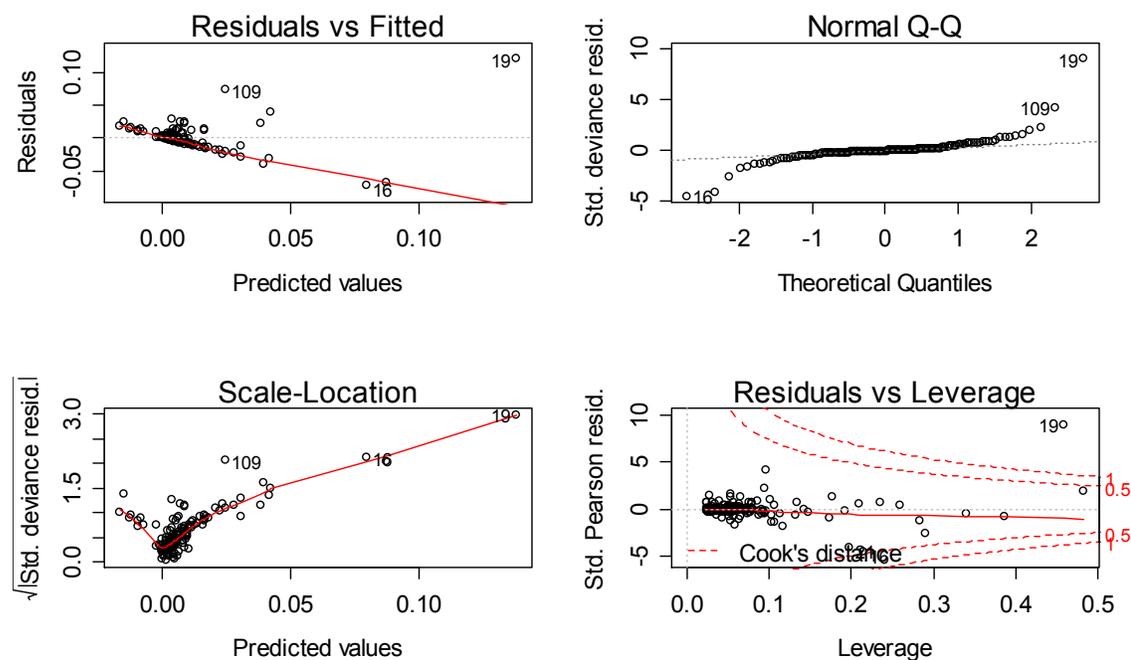


Figura 3.3. Análise de resíduos da equação de regressão do modelo de incremento em área basal de árvores individuais.

### 3.4 Conclusões

Os modelos arquitetônicos possuem grau de homogeneidade entre si, em relação ao de investimento em recursos de sustentação de biomassa, o que foi percebido nos seus coeficientes alométricos relacionados aos modelos estabilidade mecânica (*Mechanical Design*).

O estudo de dinâmica da vegetação a partir do comportamento das espécies agrupadas em seus modelos arquitetônicos são promissores para atividades de planejamento de ecossistemas florestais. Tais como, a escolha de espécies a partir dos modelos arquiteturais para composição de plantios mistos com o intuito de conservação.

### 3.5 Referências bibliográficas

AIBA, S.I.; KOHYAMA, T.. Crown Architecture and Life-History Traits of 14 Tree Species in a Warm-Temperate Rain. **The Journal of Ecology**, Cambridge, v. 85, n. 5, p. 611-624, Oct. 1997.

ALVES, L. F.; SANTOS, F. A. M. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, SE, Brazil. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v. 18, n. 2, p. 245-260, 2002.

BORMAN F.H.; LIKENS, G.E. **Pattern and Process in a Forested Ecosystem**. New York: Springer-Verlag New York Inc., 1994. 253 p.

CRAWLEY, M. J. Life History and Environment. In: CRAWLEY, M. J. (Org.). **Plant Ecology** – 2<sup>nd</sup>. Oxford: Blackwell Science Ltd., 1997. p. 75-131.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P. Modelo De Incremento Para Árvores Singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 165-177, 2004.

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

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C.; SPATHELF, P. Perspectivas do manejo florestal por árvores singulares. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 20, p.71-82, 2000.

DURLO, M. A. . Relações morfométricas para *Cabrlea canjerana* (Well.) Mart.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, jun. 2001.

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

FONTES, M. A. L. Padrões alométricos em espécies arbóreas pioneiras tropicais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 55, p. 79-87, Jun. 2000.

GAYON, J. History of the Concept of Allometry. **American Zoologist**, Oxford, v. 40, n. 5, p. 748-758, Oct. 2000.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun vs. shade: a whole-plant perspective. **Aust. J. Plant Physiol.**, Clayton South, v. 15, n. 2, p. 63–92, 1988.

GRACE, J. Towards Models of Resource Allocation by Plants. In: BAZZAZ, F. A.; GRACE, J. (Ed.) **Plant Resource Allocation**. São Diego (USA): Academic Press, 1997. p. 279-289.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun vs. shade: a whole-plant perspective. **Aust. J. Plant Physiol.**, Clayton South, v. 15, n. 2, p. 63–92, 1988.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Heidelberg: Springer-Verlag Berlim, 1978. 441 p.

KING, D.A. Allometry of saplings and understorey trees of Panamanian forest. **Functional Ecology**, London, v. 4, n. 1, p. 27-32, jan.-mar. 1990.

KING, D.A. Allometry and life story of tropical trees. **Journal of tropical Ecology**, Cambridge, v. 12, n. 1, p. 25-44, Jan. 1996.

KOHYAMA, T. Significance of architecture and allometry in sapling. **Functional Ecology**, Oxford, v. 1, n. 4, p. 399-404, Jan./Dec. 1987.

KOHYAMA, T.; HOTTA, M. Significance of allometry in tropical saplings. **Functional Ecology**, Oxford, v. 4, p. 515 – 521, out.-dez. 1990.

McMAHON, T. Size and shape in biology. **Science**, San Diego, v. 179, n. 79, p. 1201-1204, Mar. 1973.

NIKLAS, K.J. **Plant Biomechanic: An Engineering Approach to Plant Form and Function**. Chicago: The University of Chicago Press, 1992. 630 p.

NIKLAS, K.J. **Plant allometry: the scaling of form and process**. Chicago: The University of Chicago Press, 1994a. 395 p.

NIKLAS, K.J. Morphological evolution through complex domains of fitness. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, Palo Alto, v. 91, n. 15, p. 6772-6779, Jul. 1994b.

NIKLAS, K.J. Size-dependent Allometry of Tree Height, Diameter and Trunk-taper. **Annals of Botany**, Ithaca, v. 75, n. 3, p. 217-227, Sept. 1995.

NIKLAS, K.J. Plant allometry: is there a grand unifying theory? **Biological reviews**, Cambridge, v. 79, n. 4, p. 871-889, Apr. 2004.

NIKLAS K. J.; SPATZ H. C. Growth and hydraulic (not mechanical) constraints govern the scaling of tree heights and mass. **Proceedings of National Academy of Sciences, USA**, Palo Alto, v. 101, n. 44, p. 15661-15663, nov. 2004.

O'BRIEN, S. T.; et al. Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. **Ecology**, Ithaca, v. 76, n. 6, p. 1926-1939, Sept. 1995.

OLDEMAN, R. A. A. **Forests: Elements of Silvology**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 624 p.

PERRETA, M. G.; VEGETTI, A. C. Patrones estructurales en las plantas vasculares: una revisión. **Gayana Botánica**, Concepción, v. 62, n. 1, p. 09-19, Jan./Mar. 2005.

POORTER L. BONGERS F. STERCK F. J. WOLL H. Architecture of 53 rainforest tree species differing in adult stature and shade tolerance. **Ecology**, Washington, v. 84, n. 3, p. 602-608, mar. 2003.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna (Austria), 2011. Versão

2.12.2. ISBN: 3-900051- 07-0. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 21 abr. 2011.

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

SCCOTI, M. S. V.; et al. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de Floresta Estacional Decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 459-472, 2011.

STERCK, F.J.; BONGERS, F. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. **Journal of Ecology**, London, v. 89, n. 1, p. 1-13, 2001.

SPOSITO, T.C.; SANTOS, F.A.M. Scalling of stem and crown in eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. **American Journal of Botany**, Chicago, v. 88, n. 5, p. 939-949, 2001a.

SPOSITO, T.C.; SANTOS, F.A.M. Architectural patterns of eight *Cecropia* (Cecropiaceae) species of Brazil. **Flora** (Jena), München, v. 196, n. 3, p. 215-226, 2001b.

THOMAS, S. C. Asymptotic height as a predictor of growth and allometric characteristics in Malaysian rainforest trees. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 83, n. 5, p. 556-566, 1996.

VIEIRA, S.A., et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 21-29, Abr. 2008.

WARTON, D. et al. (Standardised) **Major Axis Estimation and Testing Routines**. R package version 3.2.0. Viena, 2011. Versão 1.17-8. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=smatr>>. Acesso em: 21 abr. 2011.

## DISCUSSÃO

A diversidade de modelos arquitetônicos encontrados na Floresta Estacional estudada (presente tese) foi equiparável à encontrada em Floresta Pluvial (VESTER, 1997; VESTER; CLEEF, 1998; VESTER; SALDARRIAGA, 1993; VESTER, 2002). No presente estudo foram encontrados 13 modelos em 54 espécies catalogadas, enquanto na Amazônia Colombiana, em 306 espécies foram encontrados 17 modelos arquitetônicos. Ou seja, a partir dos dados deste trabalho pode-se admitir a diversidade de modelos arquitetônicos não tem comportamento análogo à diversidade de espécies que tende a ser bem maior nos trópicos, em menores latitudes (GASTON, 2000).

Quando estudados os modelos arquiteturais em diferentes níveis de altura da floresta, percebeu-se um aumento visível na complexidade da arquitetura da floresta de acordo com o desenvolvimento dos estratos verticais no dossel florestal. Algumas espécies possuem como característica a ocupação preferencial de determinado estrato. Confirmando que existe relação entre a ocupação do dossel com os modelos arquiteturais das espécies. Plantas com eixos ortotrópicos e filotaxia espiralada apresentam vantagens em ambientes ensolarados, porque troncos eretos suportam maior massa foliar por ramo. Plantas com eixos plagiotrópicos e filotaxia dística se favorecem em ambientes sombreados, cuja captação total de luz é reforçada pelo crescimento horizontal da copa (GIVNISH, 1988).

De posse das estratégias de crescimento dos diferentes modelos arquiteturais das espécies, o uso de equações alométricas para estimar o crescimento das árvores por modelo arquitetônico tende a ser uma alternativa viável. Os modelos arquitetônicos possuem grau de homogeneidade entre si, em relação ao de investimento em recursos de sustentação de biomassa, o que foi percebido nos seus coeficientes alométricos relacionados aos modelos estabilidade mecânica (MCMAHON, 1973).

Assim, a possibilidade de inclusão dos modelos arquitetônicos de plantas em estudos globais de modelagem de ecossistemas florestais é bem interessante. Pois a possibilidade de redução dos dados de espécies para seus comportamentos funcionais como modelos arquitetônicos facilitará o entendimento de estudos relativos de dinâmica e estrutura de florestas.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve um caráter pioneiro e exploratório e deve fornecer um marco para novos estudos sobre arquitetura de plantas na região central do Rio Grande do Sul.

De posse das informações sobre os modelos arquitetônicos das espécies e o comportamento alométrico dos componentes biométricos das plantas pode-se planejar atividades de manejo da produção e práticas conservacionista em remanescentes florestais.

Em termos de manejo da produção, os modelos arquitetônicos podem ser utilizados como critérios para escolha de plantas a serem desbastadas, de forma a otimizar o crescimento das espécies-alvo para a produção, em cada porção da estrutura vertical da floresta.

Como práticas de conservação, a escolha de espécies para plantio em áreas degradadas, pode ser realizada levando em consideração, não apenas os grupos sucessionais e a presença de espécies atrativas para a fauna, mas também os diferentes modelos arquiteturais. Pois plantas com modelos arquiteturais diferenciados, irão competir menos entre si por recursos, do que plantas do mesmo modelo arquitetural.

Outra grande possibilidade é a geração de modelos globais de estimativa de seqüestro de carbono e de panoramas de mudanças climáticas, pois com o uso de modelos arquiteturais, existentes e qualquer tipo florestal, variando apenas em complexidade, pode-se elaborar equações com dados dos diferentes domínios fitogeográficos distribuídos pela superfície terrestre.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GASTON, K. J. Global patterns in biodiversity. **Nature**, v. 405, p. 220-227, 2000.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun vs. shade: a whole-plant perspective. **Aust. J. Plant Physiol.**, Clayton South, v. 15, n. 2, p. 63-92, 1988.

HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical Trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978. 441p.

JANSEN, D. H. 1980. **Ecologia Vegetal nos trópicos**. São Paulo, EPU, EDUSP, 70p.

LEITE, P.F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: 1990. v.2, p.113-150.

LONGHI, S. J.; et al. Aspectos fitossociológicos de fragmento de Floresta Estacional Decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.10, n.2, p.59-74, dec. 2000.

McMAHON, T. Size and shape in biology. **Science**, San Diego, v. 179, n. 79, p. 1201-1204, Mar. 1973.

MYERS, N. Florestas tropicais e suas espécies. Sumindo, sumindo... In: WILSON, E. O. (Ed.). **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 36-45.

NASCIMENTO, H. E. M; et al. Estrutura e dinâmica de populações arbóreas de um fragmento de floresta estacional semidecidual na região de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v.59, n.2, p.329-332, jun. 1999.

OLDEMAN, R. A. A. **Forests: Elements of Silvology**. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 624 p.

OLIVEIRA FILHO A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Marburg, v. 32, n. 4b, p. 793-810, mar. 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretária Estadual do Meio Ambiente. **Lista das Espécies Ameaçadas de Extinção no RS**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do RS/SEMA, 2003.

TEIXEIRA, M.B.; et al. Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: **Levantamento de recursos naturais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1986. v. 33, p.541-632.

THIBAU, C. E. Paisagem florestal. In: THIBAU, C.E (coord.). **Produção sustentada em florestas: Conceitos e Tecnologia, Biomassa Energética, Pesquisas e Constatações**. Belo Horizonte: o autor, 2000. p.23-40.

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

VESTER, H. F. M. **The trees and the forest. The role of tree architecture in canopy development; a case study in secondary forests (Araracuara, Colombia)**. Amsterdam (Holanda): UvA, 1997. 180 p. Tesis (Doctoral) - Universiteit van Amsterdam, 1997.

VESTER, H.F.M.; CLEEF, A.M. Tree architecture and secondary tropical rain forest development: a case study in Araracuara, Colombian Amazonia. **Flora**, s/v, n. 193, p. 75-97, 1998.

VESTER, H. F. M.; J. SALDARRIAGA. Algunas características estructurales, arquitectónicas y florísticas de la sucesión secundaria sobre Terrazas Bajas en la región de Araracuara (Colombia). **Revista de La Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 1, n. 2, p. 15 – 45, 1993.

VESTER, H. F. M. Modelos arquitectônicos em La Flora arbórea de La península de Yucatán. **Bol. Soc. Bot. México**, Distrito Federal, s/v, n. 071, p. 45-57, dez. 2002.