

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

**MODELAGEM DO INCREMENTO  
DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Cedrela odorata* L.  
NA FLORESTA AMAZÔNICA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Thiago Augusto da Cunha**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MODELAGEM DO INCREMENTO  
DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Cedrela odorata* L.  
NA FLORESTA AMAZÔNICA**

**por**

**Thiago Augusto da Cunha**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia Florestal**

**Orientador: Prof. César Augusto Guimarães Finger**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2009**

Cunha, Thiago Augusto da, 1980-  
C972m

Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na floresta amazônica / por Thiago Augusto da Cunha ; orientador César Augusto Guimarães Finger . - Santa Maria, 2009.  
88 f. ; il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2009.

1. Engenharia florestal 2. Modelo de predição 3. Incremento periódico 4. Morfometria 5. Competição 6. Cedro  
I. Finger, César Augusto Guimarães, orient. II. Título

CDU: 630\*5

Ficha catalográfica elaborada por  
Luiz Marchiotti Fernandes - CRB 10/1160  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**MODELAGEM DO INCREMENTO  
DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Cedrela odorata* L.  
NA FLORESTA AMAZÔNICA**

elaborada por  
**Thiago Augusto da Cunha**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

**César Augusto Guimarães Finger, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Ivanor Müller, Dr. (UFSM)**

**Luciano Farinha Watzlawick, Dr. (UNICENTRO-PR)**

Santa Maria, 5 de agosto de 2009.

*Dedico especialmente a meus pais:*

*Antônio de Pádua Vasconcelos da Cunha e*

*Maria Célia Augusto da Cunha*

*pelo apoio imprescindível para lograr mais este objetivo que tracei  
em minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger, pela grande contribuição no desenvolvimento deste trabalho bem como aos professores Paulo Renato Schneider, Solon Jonas Longhi e Frederico Dimas Fleig pela co-orientação.

Aos membros da banca examinadora doutores Luciano Farinha Watzlawick, Ivanor Müller e Miguel Antão Durlo pela apreciada colaboração para este trabalho.

A CAPES, órgão federal de relevante importância, pela concessão de bolsa de estudo a qual apoiou na concretização deste Curso de Mestrado.

Quero agradecer ao Pesquisador da EMBRAPA – Acre Evandro Orfanó Figueiredo pelo apoio e, sobretudo, boa vontade na disponibilização da área de estudo para a realização deste trabalho.

Ao amigo Raimundo pela colaboração durante a coleta de dados na floresta Amazônica.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### MODELAGEM DO INCREMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS DE *Cedrela odorata* L. NA FLORESTA AMAZÔNICA

AUTOR: THIAGO AUGUSTO DA CUNHA  
ORIENTADOR: Dr. CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER  
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 5 de Agosto de 2009.

O crescimento periódico em área basal de 62 árvores de cedro (*Cedrela odorata* L.) foi reconstruído para o período de 2005 a 2008, com emprego de técnicas dendrocronológicas em Porto Acre, AC, com o objetivo de quantificar e descrever sua taxa mediante relações com variáveis morfológicas, índices de competição, posição sociológica, forma da copa e nível de infestação de lianas sobre a copa. Verificou-se diferença significativa do incremento periódico em área basal entre as classes de diâmetro avaliadas ( $Pr < 0,0001$ ), ocorrendo a maior taxa média na classe 70 a 90 cm ( $222,1 \text{ cm}^2$ ) e a menor taxa em árvores de menor porte (classe 10 a 30 cm) com  $27,8 \text{ cm}^2$ . Alta variação no crescimento ( $CV=71,5\%$ ) ocorreu na classe de diâmetro 10 a 30 cm decorrente, possivelmente, da má posição sociológica e da presença de lianas na copa. Os índices morfológicos: grau de esbeltez, índice de saliência e formal de copa são significativamente correlacionados com o incremento em área basal ( $r=-0,647$ ,  $Pr < 0,0001$ ;  $r=0,592$ ,  $Pr < 0,0001$ ;  $r=0,366$ ,  $Pr=0,0034$ ), respectivamente. O status competitivo, medido pelo índice de Hegyi, Glover e Holl e de competição vertical, mostrou influência negativa das árvores competidoras sobre o incremento em área basal do cedro. Seus valores médios de 0,96; 0,39 e 84,16, respectivamente, indicam que as árvores de cedro amostradas encontram-se sob alta competição. A luz solar, descrita pela posição sociológica e o tamanho da copa são fatores decisivos para proporcionar maiores taxas de crescimento. O modelo de crescimento em área basal mostrou bom ajuste e precisão ( $R_{aj}^2 = 0,928$ ;  $CV=5,8\%$ ), quando utilizado como variáveis preditoras o tamanho da árvore (altura total, o grau de esbeltez, o comprimento e o peso da copa) e a competição. As variáveis de tamanho da árvore responderam por 87,2% da variação e a competição explica 5,6%. Pela análise de anéis de crescimento, utilizando técnicas dendrocronológicas, é possível quantificar o incremento periódico em área basal em árvores de cedro.

**Palavras-chave:** Modelo de predição; incremento periódico; morfometria; competição.



## ABSTRACT

Master's dissertation  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **MODELLING THE INDIVIDUAL TREES INCREMENT OF *Cedrela odorata* L. IN THE AMAZONIAN FOREST.**

AUTHOR: THIAGO AUGUSTO DA CUNHA  
ADVISOR: Dr. CÉSAR AUGUSTO GUIMARÃES FINGER  
Date and Place of Defense: Santa Maria, August 5<sup>th</sup>, 2009.

The periodic growth in basal area of 62 trees of cedro (*Cedrela odorata* L.) was reconstructed from 2005 to 2008, by dendrochronological techniques in Porto Acre, AC, to quantify and describe the growth rate by relationship with morfometric variable, competition index, sociological position, crown shape and occurrence of lianas on the crown. Significant difference in basal area growth was verified between tree DBH class ( $Pr < 0,0001$ ), where the class 70 to 90 cm grown an average of 222,1 cm<sup>2</sup>, and the class 10 to 30 cm with 27,8 cm<sup>2</sup>. Larger variation in the growth rate (CV=71.5%) occurred in the 10 to 30 DBH class, proportionate, possibly, by the bad sociological position and the presence of lianas on the crown. The morfometric index: slenderness degree, saliency index and formal of the crown are significantly correlated with the periodic growth ( $r = -0,647$ ,  $Pr < 0,0001$ ;  $r = 0,592$ ,  $Pr < 0,0001$ ;  $r = 0,366$ ,  $Pr = 0,0034$ ) respectively. The competitive status, measured by Hegyi, Glover & Holl, and Vertical Competition index, showed negative influence on the growth in basal area. The average values for 0,96; 0,39 and 84,16, respectively, indicate high competition in the trees sampled. The light, described by sociological position and the size are decisive to provide high rates for periodic growth in basal area. The periodic increment model in basal area showed adjustment and precision ( $R_{aj}^2 = 0,928$ ; CV = 5,8%), when used as predictor variable the tree size (total height, slenderness degree, length and the weight of the crown) and the competition. The size of the tree accounted for 87,2% of the variation in basal area growth and the competition index explain 5,6%. By the growth ring analysis, using dendrochronological techniques is possible to quantify the rate of periodic increment in basal area of cedro trees.

Keywords: Predicted model; periodic increment; morfometric; competition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Característica do perfil vertical de uma área de bosque amazônico vista de um pátio de exploração, no estado de Pando, Bolívia.....	27
FIGURA 2 – Esquema para a avaliação da posição de copa das árvores de cedro de acordo com Dawkins (1963). .....	30
FIGURA 3 – Padrões para a avaliação da forma de copa das árvores de cedro de acordo com Dawkins (1963). .....	31
FIGURA 4 – Modelo esquemático utilizado para medição de variáveis de tamanho e forma das árvores de acordo com Burger, 1939. ....	33
FIGURA 5 – Área de amostragem para o levantamento da competição exercida por árvores vizinhas do cedro ( <i>C. odorata</i> ). Fonte: Esber (2003). .....	36
FIGURA 6 – Distribuição de frequência de árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) amostradas, por classe de diâmetro, em 328 ha na fazenda Triângulo, em Porto Acre, AC. ....	45
FIGURA 7 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, por classe de diâmetro de 62 árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC. Ls = limite superior, Li = limite inferior. ....	46
FIGURA 8 – Distribuição do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008 e distribuição normal hipotética em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC. ....	48
FIGURA 9 – Média aritmética do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, por posição sociológica (a) e frequência absoluta por classe de diâmetro (b) em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC. (Diferentes letras indicam diferenças entre posições sociológicas (Pr=0,05), utilizando o teste de comparações múltiplas por Tukey – Kramer, gl = 62). ....	51
FIGURA 10 – Comportamento do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da forma da copa e dap de árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC. ....	53
FIGURA 11 – Comportamento médio da mudança no incremento em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da presença de lianas na copa de árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC. Ls = Limite superior, Li = Limite inferior. ....	54
FIGURA 12 – Seção transversal de uma bagueta mostrando anéis de crescimento estreitos causados pela presença de lianas na copa de uma árvore de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, Acre. Cada entalho indica a borda do anel de crescimento. ....	55

FIGURA 13 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da área de copa em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	56
FIGURA 14 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, para cada posição sociológica em função da área de copa em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	57
FIGURA 15 – Eficiência do incremento periódico em área basal $\text{cm}^2$ (dap)/ $\text{m}^2$ (copa) (a) por classe sociológica (b), entre os anos de 2005 e 2008, em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	58
FIGURA 16 – Eficiência do incremento periódico em área basal $\text{cm}^2$ (dap)/ $\text{m}^2$ (copa), entre os anos de 2005 e 2008, por classe de diâmetro em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC.	59
FIGURA 17 – Relação entre o diâmetro de copa (a) e o espaço de crescimento (b) em função do dap em árvores dominantes e co-dominantes de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC.	62
FIGURA 18 – Influência do grau de competição de Glover e Holl sobre o incremento periódico em área basal (a) e na dimensão da copa (b) por classe de diâmetro em cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	63
FIGURA 19 – Influência do grau de competição de Hegyi sobre o incremento periódico em área basal (a) e na dimensão da copa (b) em função da classe diamétrica em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	65
FIGURA 20 – Efeito da competição por luz sobre o crescimento em área basal por classe de diâmetro para árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC.	66
FIGURA 21 – Influência da competição exercida por árvores de jatobá sob a forma da copa de uma árvore de cedro ( <i>C. odorata</i> ) dentro da unidade amostral.	67
FIGURA 22 – Diagnóstico de pontos influentes de Cook (a) e resíduos padronizados (b) da função operacional para o incremento em área basal do cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, AC.	70
FIGURA 23 – Comportamento do incremento em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, transformado em função da altura total em árvores cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	71
FIGURA 24 – Distribuição residual da equação ajustada para o incremento periódico em área basal transformado em árvores de cedro ( <i>C. odorata</i> ), em Porto Acre, AC.	72
FIGURA 25 – Incremento periódico em diâmetro à altura do peito (dap) para os próximos três anos em árvores cedro ( <i>C. odorata</i> ) em Porto Acre, Acre.	73

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Análise da variância do incremento periódico em área basal transformado em função da classe diamétrica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC..... 49
- TABELA 2 – Matriz de diferenças das médias de quadrados mínimos do incremento periódico em área basal transformado em função da classe diamétrica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC..... 49
- TABELA 3 – Correlação parcial entre o incremento periódico em área basal, diâmetro à altura do peito (dap) e posição sociológica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. .... 52
- TABELA 4 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da eficiência do crescimento periódico em área basal por classe de diâmetro em árvores cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC..... 59
- TABELA 5 – Valores médios da produtividade (cm<sup>2</sup> de área basal/m<sup>2</sup> de área de copa) por classe de diâmetro e posição sociológica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC..... 60

## LISTA DE APÊNDICE

- APÊNDICE 1 – Foto demonstrando a verrumagem na região acima do dap devido à presença de raiz tabular em uma árvore de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. 81
- APÊNDICE 2 – Correlação de Pearson e a probabilidade entre o incremento periódico em área basal ( $IP_g$ ) entre 2005 e 2008 e variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição em cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. .... 82
- APÊNDICE 3 – Variáveis qualitativas e morfométricas das árvores amostra de Cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC..... 83
- APÊNDICE 4 – Planilha de campo para o registro de variáveis dendrométricas. .... 85
- APÊNDICE 5 – Planilha de campo para o registro da competição..... 86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
<b>1.2</b>	<b>Hipótese de trabalho</b>	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	19
<b>2.1</b>	<b>Manejo florestal</b>	19
<b>2.2</b>	<b>Crescimento das árvores</b>	20
2.2.1	Modelagem do crescimento florestal	21
2.3	Anéis de crescimento em árvores tropicais	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	26
<b>3.1</b>	<b>Características da espécie em estudo</b>	28
<b>3.2</b>	<b>Descrição da área de estudo</b>	26
3.2.1	Características edafoclimáticas	26
3.2.2	Características do sítio florestal	27
<b>3.3</b>	<b>Levantamento de dados</b>	28
3.3.1	Variáveis dendrométricas mensuradas	29
3.3.2	Índices de morfometria	32
3.3.3	Índices de concorrência	35
3.3.4	Crescimento periódico em área basal	38
<b>3.4</b>	<b>Análise estatística dos dados</b>	39
3.4.1	Análise da variável dependente	39
3.4.2	Análise de correlação	40
3.4.3	Modelagem e validação da equação de regressão	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	45
<b>4.1</b>	<b>Crescimento em área basal</b>	45
4.1.1	Incremento periódico em área basal por classe diamétrica	46
<b>4.2</b>	<b>Variação do incremento periódico em área basal</b>	50

4.2.1 Variáveis dendrométricas e índices morfométricos.....	50
<b>4.3 Influência da competição sobre o crescimento em diâmetro .....</b>	<b>63</b>
4.3.1 Índice de Glover & Holl .....	63
4.3.2 Índice BAL modificado .....	64
4.3.3 Índice de Hegyi .....	64
4.3.4 Índice de competição vertical.....	65
<b>4.4 Modelo de crescimento periódico em área basal .....</b>	<b>68</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade da produção de madeira, associada à conservação da biodiversidade de florestas nativas como a Amazônica pode ser alcançada mediante as técnicas de manejo florestal sustentável (MFS), que têm por finalidade garantir o fornecimento de madeira de forma contínua, além de benefícios econômicos, sociais e ambientais, mediante um planejamento eficaz para o aproveitamento dos recursos madeireiros e não-madeireiros disponíveis.

Seguindo os aspectos técnicos do manejo florestal, com um ciclo de exploração mínimo de 25 anos, uma taxa máxima de extração de 90 % dos indivíduos exploráveis, e a fixação de um diâmetro mínimo de corte, variável por espécies, de 40 a 70 cm, aproveita-se parte do volume comercial da madeira, mantendo a população de árvores remanescentes para desempenhar a função de sementeiras.

O ciclo de corte está baseado num crescimento geral de toda a população florestal, e desta forma, desconsidera a variação do crescimento dentre as espécies que compõem o sitio florestal.

Logo, um dos pontos importantes a serem investigados nesses tipos florestais tropicais refere-se à taxa de crescimento das árvores e outro à identificação e quantificação dos fatores que influem sobre o crescimento em menor e maior grau. Naturalmente, além desses, outros fatores são extremamente relevantes para que florestas tropicais possam ser utilizadas em base sustentada, tais como: suscetibilidade das espécies à exploração; economicidade do manejo sustentado; maior eficiência no processo de beneficiamento e aproveitamento da madeira; a racionalização das técnicas de exploração e transporte, dentre outras.

O entendimento da influência do ambiente no crescimento, refletido por variações no tamanho e na forma das árvores, bem como o comportamento passado da taxa de crescimento são essenciais para a execução de planos de manejo



florestal, pois refletem respostas relacionadas às variações do crescimento, auxiliando na prescrição de práticas de manejo e facilitando a avaliação dos seus efeitos sobre a sustentabilidade das florestas nativas.

Para estudar a taxa de crescimento de uma árvore, necessita-se, primeiramente, de medições contínuas (medições repetidas ou série temporal) da variável de interesse. Para isso, a possível reconstrução do crescimento pode se dar com o emprego da dendrocronologia, que se baseia na visualização e medição dos anéis anuais. Apesar de, comumente assumir-se que as árvores tropicais não formam anéis anuais de crescimento, em razão da ausência de estações climáticas marcadas (LIEBERMAN; LIEBERMAN, 1985), algumas pesquisas comprovaram esse fato para espécies tropicais, como o cedro (*Cedrela odorata* L.), porém não generalizado para todas as regiões.

A técnica de dendrocronologia viabiliza os objetivos de estudo do crescimento propostos neste trabalho, o qual constitui a base para o manejo florestal, cuja taxa de corte seja baseada no ritmo de crescimento das árvores, cuja magnitude é influenciada por fatores que compõem o sítio florestal.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é quantificar e descrever a taxa de crescimento periódico em área basal para árvores individuais de *Cedrela odorata* L., na região do Porto Acre-AC, como contribuição para melhorar as práticas de manejo da espécie na região.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Entre os objetivos específicos, destacam-se os seguintes:

- a) Reconstrução do crescimento periódico em área basal dos últimos três anos (2005 – 2008), utilizando a técnica de análise de tronco;
- b) Descrever a relação das variáveis morfométricas e do grau de competição, além da posição sociológica e infestação de lianas sobre o crescimento periódico em área basal;
- c) Desenvolver um modelo para descrever o crescimento periódico em área basal sob condições naturais de competição;
- d) Demonstrar o uso da Dendrocronología para o estudo do crescimento de árvores, em floresta tropical.

## 1.2 Hipótese de trabalho

A presente pesquisa está direcionada para responder as seguintes perguntas:

- (i) qual a magnitude da variação na taxa de crescimento periódico em área basal, suas causas e como estas influem sobre árvores de cedro de portes diferentes?
- (ii) árvores de cedro com baixa taxa de crescimento podem ser favorecidas com maior disponibilidade de luz no dossel?

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manejo florestal

Recentemente, houve considerável aumento no número de áreas de produção de madeira exploradas legalmente e com certificação florestal na área da Amazônia legal. Segundo Sabogal et al. (2006), essa tendência associada à exploração em locais estratégicos representa uma mudança de paradigma para o setor florestal na região. Um exemplo é o da Bolívia que comemorou um feito muito importante no manejo florestal de suas florestas: com mais de 2,2 milhões de hectares de floresta tropical certificados, o país é líder mundial em manejo e certificação de bosques naturais tropicais (SUPERINTENDENCIA FORESTAL, 1999).

Entretanto, existem expectativas sobre a capacidade de gerenciamento das concessões florestais e grande incerteza em questões técnicas de compatibilidade entre o crescimento das florestas exploradas e a duração do ciclo de corte que atualmente é de, no mínimo, 25 anos (VERISSIMO et al., 2003).

Assim, como na Bolívia, em diferentes regiões com bosques tropicais foram estimados ciclos de corte baseados nas taxas de crescimento oriundas de parcelas permanentes, estabelecidas por períodos que variam de 20 a 100 anos, de acordo ao sítio florestal, pois a aplicação de ciclos de corte muito curtos não garantem a produção contínua de madeira em níveis comerciais aceitáveis (SUPERINTENDENCIA FORESTAL, 1999).

Na verdade, as regiões tropicais ainda não vivenciaram a implementação e o sucesso da prática florestal sustentável em grande escala, em decorrência das escassas informações sobre o rendimento da floresta pós-corte e da insegurança na viabilidade econômica.

O manejo florestal orientado em sistemas ecológicos exige prognóse com base em modelos de crescimento para árvores individuais aplicados na produção de madeira de alta qualidade tanto em florestas equiâneas como em florestas tropicais (VANCLAY, 1994).

Assim, o manejo florestal é vantajoso, trazendo benefícios como: continuidade da produção de madeira, rentabilidade econômica em que os benefícios econômicos do manejo superam os custos, segurança no trabalho, respeito à lei, maiores oportunidades de mercado, conservação da floresta e manutenção dos serviços ambientais (SCHNEIDER, 1993).

Nesse sentido, Sterba (2001) definiu que “em um sistema de manejo”, três pontos são fundamentais para garantir a sustentabilidade: avaliação do estoque disponível, conhecimento das taxas de crescimento e da capacidade de regeneração natural da espécie explorada. Adicionalmente, Silva et al. (1995) mencionam que retirar mais do que a floresta produz num determinado período pode conduzir à exaustão, ao passo que retirar menos causa a subutilização dos recursos e pode conduzir a uma superpopulação e, conseqüentemente, à estagnação da floresta.

## **2.2 Crescimento das árvores**

O desenvolvimento das árvores, além de sua idade, depende da disponibilidade dos recursos ambientais (temperatura, precipitação, vento, insolação e nutrientes), do espaço físico, das características edáficas (físicas, químicas e biológicas), topográficas (inclinação, altitude e exposição) e de fatores de competição, como a influência de outras espécies, tamanho e constituição genética da árvore, bem como de sua história de desenvolvimento (POORTER; BONGERS, 1993). Cada um desses fatores pode afetar de forma isolada ou em conjunto o crescimento das árvores.

De acordo com Vanclay (1994) e Prodan et al. (1997), o crescimento é o aumento de dimensões de um ou mais indivíduos em uma floresta num determinado período de tempo, o qual está influenciado pelas características da espécie interagindo com o ambiente.

Muitos autores definem a palavra crescimento, indicando a importância dessa grandeza. Nesse sentido, as estimativas do crescimento de uma árvore ou de um povoamento tornam-se essenciais para o planejamento de um empreendimento florestal, uma vez que várias decisões dependem diretamente dessas estimativas, como a determinação da quantidade de terra necessária para suportar certo nível de produção presente ou desejado, a quantidade de madeira que pode ser cortada anualmente, as espécies e tipos de produtos que estão ou se tornarão disponíveis no futuro (SCHNEIDER, 1993).

### 2.2.1 Modelagem do crescimento florestal

A modelagem é um tema envolvente e busca prognosticar o crescimento, para as variáveis dendrométricas em função de uma série de variáveis possíveis de serem quantificadas no povoamento florestal por meio da análise de regressão (ZEIDE, 1993).

Keddy, 1989 reconhece três propósitos para modelar uma variável em função de outras: predição, exploração e descrição dos dados da variável de estudo. Neste sentido, vários métodos foram testados para a modelagem em florestas nativas.

Apesar da dificuldade de classificar sítio e ademais do fato de não se ter controle da idade nesta formação florestal, alguns métodos foram utilizados com sucesso, dentre os quais a distribuição exponencial (PRODAN et al., 1997). Essa distribuição é gerada por um modelo matemático proposto por Meyer (1933).

O ajuste do crescimento, seja em diâmetro, altura ou volume em função da idade, pode ser realizado por uma grande variedade de modelos matemáticos de geometria linear e/ou não linear. Nesse último, grupo alguns modelos apresentavam dificuldades para o ajuste como, por exemplo, o proposto por Richards (1959) e a função logística, descartando-se tal dificuldade com o avanço da computação eletrônica.

Os modelos de crescimento são sobretudo sistemas de equações matemáticas que permitem a predição do crescimento e a produção de um povoamento, mediante

condições que devem apresentar duas características importantes: precisão, já que as previsões devem ser as mais precisas possíveis; e flexibilidade (Tomé, 1991).

De acordo com Lopes (2001), um modelo pode ser expresso de forma verbal, como, por exemplo, uma descrição, ou de forma material (como em uma tabela). Um modelo matemático é semelhante a um modelo verbal, mas utiliza uma linguagem matemática para representar um determinado aspecto da realidade, linguagem que é mais exata e menos ambígua que a linguagem verbal.

Para Scolforo (1998), existem dois tipos de modelos de crescimento: os biológicos e os empíricos, sendo que o modelo biológico, embora propicie uma boa análise do crescimento, por ser complexo, torna difícil seu ajuste e manuseio. Por este motivo, os modelos empíricos são mais empregados, como também por serem menos complexos e propiciarem estimativas confiáveis do crescimento e da produção.

Muitos modelos têm sido propostos para descrever o crescimento das árvores; normalmente um para cada objetivo de estudo. Por exemplo, há modelos de crescimento e produção, que permitem simular a dinâmica de um povoamento de modo a prever a sua produção ao longo do tempo (TOMÉ, 1991), sob hipóteses de exploração alternativas ou sujeitas a agentes físicos e bióticos distintos. Kiviste (1988) descreveu 75 modelos de crescimento embora somente alguns tenham sido usualmente testados; nenhum modelo biológico descreveu todo o processo de crescimento.

Finger (1992) demonstrou que o modelo de Richards (1959) apresenta como vantagem a possibilidade de obtenção de uma interpretação lógica, além de ser bastante flexível, adaptando-se bem ao desenvolvimento de diferentes variáveis dendrométricas.

Na comparação e seleção entre modelos de regressão, usualmente utilizam-se critérios estatísticos em que, de uma forma geral, a maioria dos autores cita o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ), usados em conjunto, como critérios de análise mais empregados (FINGER, 1992), devendo-se analisar a distribuição do erro para a seleção segura de uma equação ajustada.

O fato é que é possível utilizar os modelos de crescimento já elaborados mediante estudos que comprovem sua eficiência na predição florestal, ou, por outro

lado, construir um modelo com base em variáveis altamente correlacionadas, como os índices de competição. Neste sentido, a interação da competição em que o crescimento de árvores individuais é reduzido pela presença de árvores vizinhas tem mostrado ser importante desde a última década (JOBIDON, 1994; UMEKI, 1995).

No entanto, para estimar tendências no crescimento, mudanças de habitat e sucessão em longo prazo Tonini, (2007) afirma que os índices de competição são insuficientes.

### **2.3 Anéis de crescimento em árvores tropicais**

Acredita-se que os anéis de crescimento anual não são produzidos por espécies tropicais (BORMANN; BERLYN, 1981), exceto em circunstâncias especiais em floresta periodicamente inundada (WORBES et al., 1992). Devido a isso, dados fiéis de crescimento somente podem ser adquiridos por meio de medições repetidas em parcelas permanentes (CLARK; CLARK, 1999).

Nesse sentido, muitas investigações microscópicas foram realizadas para determinar a periodicidade dos anéis de crescimento das árvores tropicais. Por isso, Barnett (1992) e Catesson (1994) descreveram que a inter e a intra-variação anual em madeira de formação de muitas espécies correlaciona-se com fatores climáticos, principalmente com a temperatura (DENNE, 1971; BRIFFA et al., 1990) e com a precipitação (HUGHES et al., 1994).

Em consequência dessas relações, a análise dos anéis de crescimento das árvores pode ser bem sucedida para sítios com forte variação dos parâmetros meteorológicos (KIENAST et al., 1987). Sobre isso, Fritts (1976) descreve que a maioria das cronologias com anéis de crescimento foram criadas especialmente para espécies de árvores que crescem em regiões com uma forte sazonalidade do clima.

Devido a essa falta de sazonalidade do clima no trópico úmido, o emprego da análise de anéis de crescimento em árvores tropicais tem sido questionado já há muitos anos, embora o pioneiro das investigações tenha indicado um padrão regular de formação de madeira em algumas espécies arbóreas tropicais (COSTER, 1928).



Além disso, durante a última década ficou claro que anéis anuais de crescimento são formados em muitas árvores de floresta tropicais (WORBES, 1999; FICHTLER et al., 2003; FICHTLER et al., 2004; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005), provendo uma oportunidade para estudar o padrão do crescimento de um modo direto e mais seguro.

Por outro lado, vários autores defendem a tese de que os anéis de crescimento geralmente são interpretados como sendo valores duvidosos nas estimativas das taxas de crescimento e idades em árvores tropicais em ambientes de clima não sazonais, pois, teoricamente, nesses ambientes, as árvores não formariam os anéis de crescimento (LANG; KNIGHT, 1983; REICH; BORCHET, 1984; LIEBERMAN; LIEBERMAN, 1985).

Em estudos dendrocronológico de Teca (*Tectona grandis*), crescendo sob a monção asiática, ficou demonstrado que a formação de madeira está relacionada com precipitação sazonal. Isso permitiu a elaboração de cronologias com anéis de crescimento da árvore, com aplicações históricas de clima e estudos ecológicos (BERLAGE, 1931; PUMIJUMNONG et al., 1995).

O padrão anual de anéis para árvores tropicais também foi relatado em inundações da bacia amazônica por Worbes e Junk (1989), em floresta de pântano na Mata Atlântica e também em alguns sítios de "terra firme" por Mariaux (1967); Détienne (1989); Breitspecher; Bethel (1990) e Worbes (1999).

Dünisch et al., (2002a) estudaram a atividade cambial de duas espécies tropicais, o mogno (*Swietenia macrophylla* King) e o cedro (*Cedrela odorata* L.), em florestas plantadas e naturais na cidade de Manaus e no norte do Mato Grosso, Brasil. Nesse estudo, determinaram que ocorre formação de anéis de crescimento para o cedro tanto em madeira juvenil como em adulta, enquanto para o mogno, a anualidade foi restrita somente em madeira adulta.

Os mesmos autores em estudo com Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) também verificaram que não ocorria a formação de anéis de crescimento em madeira juvenil, sendo essa atividade restrita na madeira adulta.

Em outra investigação, Dünisch et al. (2003b) monitoraram a atividade cambial em árvores dominantes de cedro (*C. odorata* L.) no norte do Mato Grosso, Brasil, utilizando faixas dendrométricas. Encontraram que a deposição de camadas

de crescimento ocorria em um período de aproximadamente 12 meses (não conformando um ano civil) e concluíram que a espécie apresenta potencial para estudos de anéis de crescimento.

Brienen; Zuidema (2003) realizaram uma revisão bibliográfica sobre o padrão de crescimento para 32 espécies madeiráveis bolivianas, em que constam que o cedro (*C. odorata*) tem bom potencial, bem como não apresenta nenhuma dificuldade para o estudo de anéis de crescimento, com anéis bem distinguíveis uns dos outros, separados por bandas de parênquima terminal e diferentes distribuições dos vasos intra-anuais.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Descrição da área de estudo

Os dados utilizados para esta pesquisa foram obtidos em uma unidade de produção anual (UPA) de um plano de manejo florestal empresarial localizada na Fazenda Triângulo, no Município de Porto Acre, Acre, distante 49 km da capital do estado, Rio Branco. A UPA situa-se entre as coordenadas geográficas 9° 32' de latitude sul e 67° 37' de longitude oeste de Greenwich (ANEXO 1). Possui uma área total de 328,26 ha de bosque amazônico, apresentando relevo suave com recortes pouco profundos escavados por alguns igarapés com altimetria variando de 150 a 189 m.s.n.m (CUNHA; FIGUEIREIDO, 2008).

#### 3.1.1 Características edafoclimáticas

O clima dominante, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Am”, tropical quente estacional úmido com precipitações abundantes, apresentando um índice médio anual que varia de 1800 a 2000 mm distribuídos nos meses de outubro a maio, período conhecido como “inverno amazônico”. Posteriormente, inicia uma estação seca bem definida compreendida nos meses de julho, agosto e setembro, quando ocorre menos que 100 mm de chuva por mês (ACRE, 2000).

A temperatura média anual do ar varia entre 22 e 25 °C, sendo que a temperatura do mês mais quente é inferior a 36 °C e a do mês mais frio é de 10°C (ACRE, 2000).

A região pertence à Bacia do Acre, constituída por uma zona de subsidência (afundamento) pericratônica, onde ocorrem rochas do paleozóico ao terciário

superior (ACRE, 2000). Em toda a superfície da floresta estudada predominam solos do tipo argissolo vermelho distrófico latossólico e alissolo crômico argilúvico típico (IBGE, 2002).

### 3.1.2 Características do sítio florestal

Nessa tipologia florestal, ocorrem em média 111 espécies por hectare com diâmetro acima de 10 cm, apresentando árvores de grande porte formando três ou mais estratos com dossel médio de, aproximadamente, 25 a 35 metros de altura (FIGURA 1) e árvores emergentes com 45 metros de altura com área basal média considerando diâmetro acima de 20 cm é de 15 metros quadrados por hectare com uma densidade de 103 árvores por hectare (CUNHA; FIGUEIREIDO, 2008).



**Figura 1 – Característica do perfil vertical de uma área de bosque amazônico vista de um pátio de exploração, no estado de Pando, Bolívia.**

A floresta é dominada por espécies com relevante valor econômico como: a castanheira (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) pela extração da castanha; seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) pela extração do látex, ambas bio-indicadoras de bosque amazônico de terra firme e fornecedoras de produto florestal não madeireiro da região; o mogno (*Swietenia macrophylla* King) e o cedro (*Cedrela odorata* L.) que produzem madeira de alto valor comercial (MOSTACEDO et al., 2001).

### **3.2 Características da espécie em estudo**

O cedro (*Cedrela odorata* L.) pertence à família Meliaceae e é comumente encontrada no bosque amazônico de terra firme, desenvolvendo no interior da floresta primária com pluviosidade elevada e constante. No entanto, também encontrada em zonas com marcada estação seca. Possui porte grande e são demandantes de luz, constituindo uma espécie característica do dossel florestal, podendo atingir até 30,0 metros de altura e alcançar 1,0 metro de diâmetro, de acordo a Pennington et al. (1981). Quando jovem, as árvores apresentam a base do tronco reta e com o aumento do porte tendem a apresentar raízes tabulares.

As árvores têm uma copa grande, frondosa e densa, de folhas decíduas, em que seu crescimento é favorecido em clareiras na floresta onde cresce bem em solos argilosos e arenosos, de fertilidade variada. Floresce no início da época úmida (novembro) e os frutos amadurecem entre julho e setembro com sementes aladas, dispersas pelo vento (MOSTACEDO et al., 2001).

A região de distribuição geográfica é ampla, ocorrendo desde o México, América Central, Caribe e América do Sul na parte tropical. É encontrada em altitudes entre 100 e 400 metros (PENNINGTON et al., 1981).

### **3.3 Levantamento de dados**

Foram levantados variáveis dendrométricas de tamanho e forma, presença de lianas na copa, sanidade do fuste, posição sociológica, bem como índices de morfometria e de competição em árvores individuais de cedro (*C. odorata*),

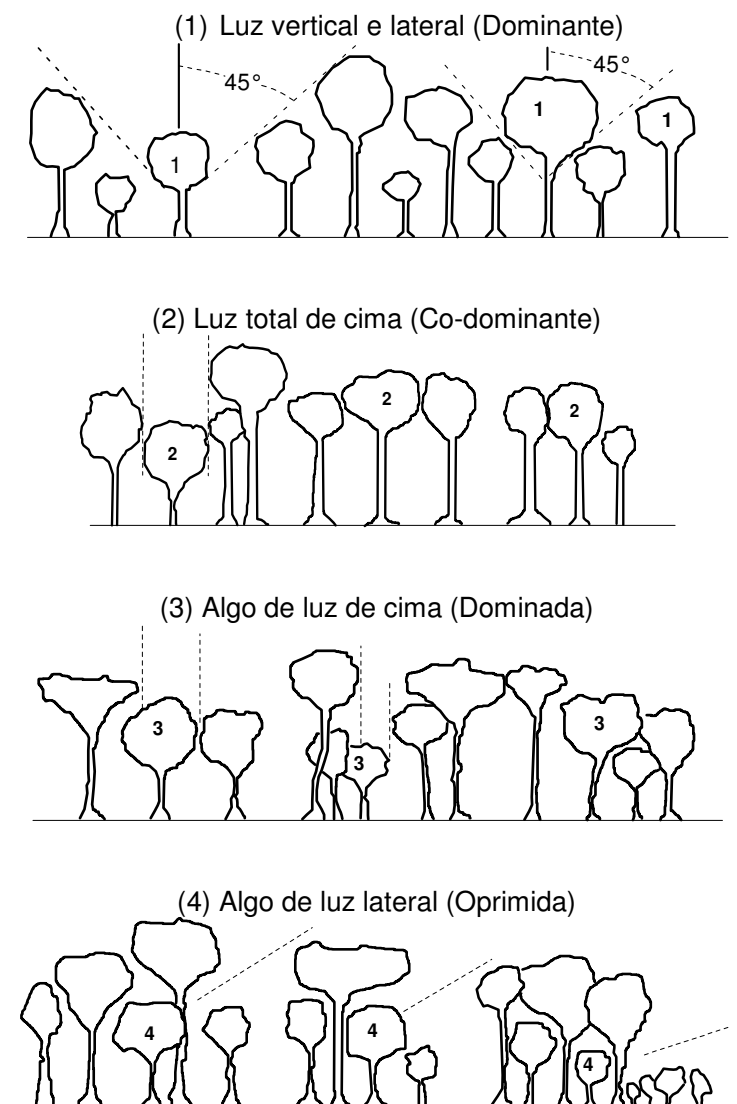
denominadas de árvores-amostra, como forma de avaliar seus efeitos sobre o incremento periódico em área basal.

Para o levantamento de dados, 62 árvores-amostra, foram localizadas dentro da UPA com apropriação de coordenadas por GPS de alta sensibilidade utilizando tecnologia Sirf Star III em conjunto com mapa base do inventário florestal.

### 3.3.1 Variáveis dendrométricas mensuradas

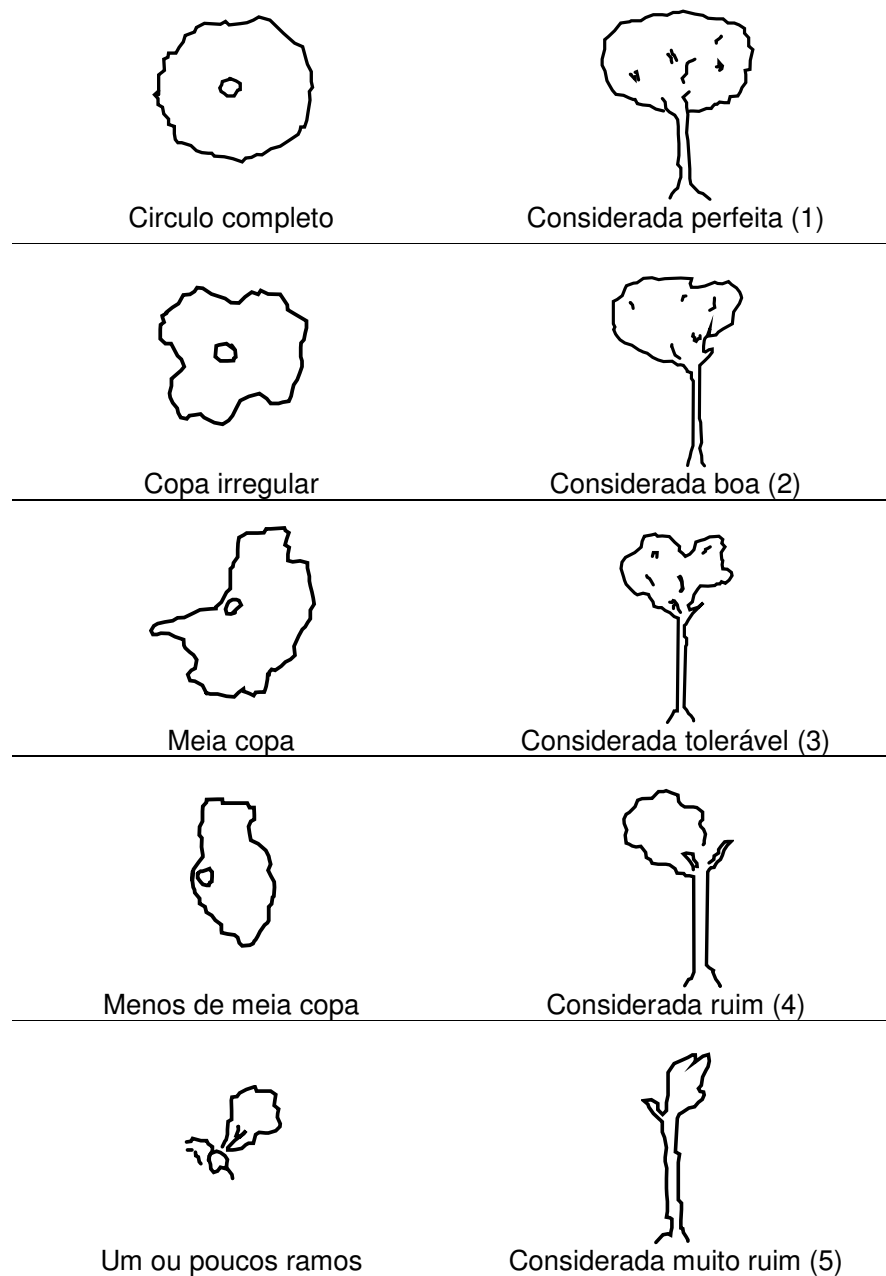
Em cada árvore foram medidas as seguintes variáveis dendrométricas:

- a) Número da árvore: Obtido da numeração de cada árvore durante o inventário florestal;
- b) Diâmetro à altura do peito (dap): Medida com fita diamétrica, em centímetros, a uma altura de 1,3 metros do nível do solo ou a uma altura variável em indivíduos com presença de raízes tabulares.
- c) Altura do fuste: Medida com hipsômetro Vertex III, considerando a altura desde o nível do solo até o ponto de inversão morfológica;
- d) Altura total: Medida com hipsômetro Vertex III;
- e) Índice de iluminação da copa ou posição sociológica: Mede o grau de exposição da copa à luz solar, dada por Dawkins (1963), que varia desde 1 a 4, em que o valor 1 foi atribuído quando a copa estava totalmente exposta à luz vertical e lateral (denominada posição dominante), (2) atribuído para copas com iluminação total superior (denominada posição co-dominante), (3) atribuído quando havia alguma iluminação superior (denominada posição dominada), (4) atribuído para copa sem exposição direta de luz (denominada posição suprimida), conforme exemplificado na Figura 2.



**Figura 2 – Esquema para a avaliação da posição de copa das árvores de cedro de acordo com Dawkins (1963).**

- f) Forma de copa: Seguindo a metodologia dada por Dawkins (1963) foi atribuída uma copa como – Perfeita, recebendo o valor (1), Boa (2), Tolerável (3) e Pobre (4), conforme classificação detalhada na Figura 3.



**Figura 3 – Padrões para a avaliação da forma de copa das árvores de cedro de acordo com Dawkins (1963).**

- g) Raio de copa: Oito raios foram medidos ao longo de eixos com ângulos constantes de  $45^\circ$  utilizando hipsômetro Vertex III e bússola. A média foi utilizada para estimar o diâmetro de copa.



- h) Área de copa: área de projeção da copa calculada a partir do raio médio da copa.

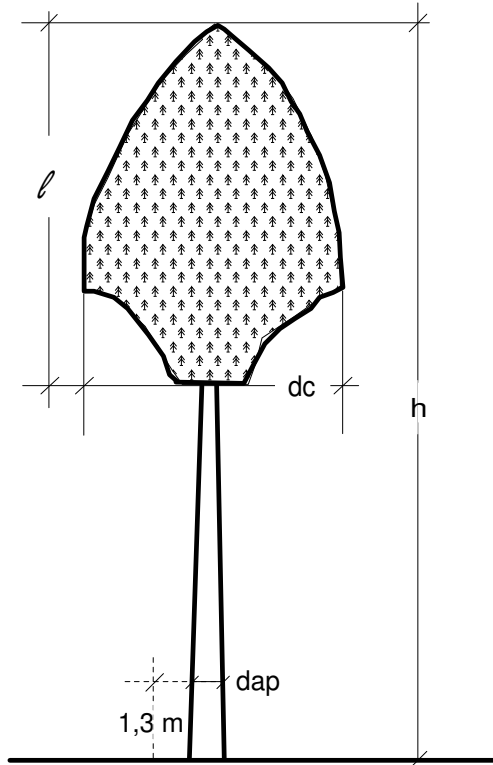
Além das variáveis acima descritas foram registradas informações propostas durante a coleta de dados como:

- a) Infestação de liana: Como. Foram avaliados três níveis de presença: (1) árvore livre de liana, (2) presença no fuste e na copa, (3) grande presença no fuste e na copa de forma severa. Esses níveis foram classificados de forma visual referindo-se à presença severa quando a liana está sobre a copa de forma a diminuir a interceptação de luz solar pela árvore.
- b) Sanidade do fuste: Refere-se ao estado do fuste, sendo classificada de acordo com sinais de ataque por fungos (orelha de pau) e a presença de cupins. Esse critério originou quatro categorias: (1) fuste livre de ataque, (2) fuste com ataque de cupins, (3) fuste com ataque de fungo, (4) fuste com ataque de fungo e cupins.

Todas as variáveis foram registradas em formulário desenvolvido para a pesquisa (APÊNDICE 4).

### 3.3.2 Índices de morfometria

Para cada árvore individual foram calculados quatro índices de morfometria visando descrever relações interdimensionais e avaliar seu efeito no modelo de crescimento. Os índices foram derivados das variáveis dendrométricas de tamanho e forma tomando como modelo o apresentado na Figura 4 que foi desenvolvido por Burger (1939).



Sendo:

$dap$  = diâmetro à altura do peito (cm);

$dc$  = diâmetro de copa (m);

$l$  = comprimento de copa (m);

$h$  = altura total (m).

**Figura 4 – Modelo esquemático utilizado para medição de variáveis de tamanho e forma das árvores de acordo com Burger, 1939.**

Os índices morfométricos foram utilizados para descrever relações interdimensionais de cada indivíduo e assim, utilizar no modelo de crescimento periódico em área basal. Tais índices são descritos abaixo:

❖ Grau de esbeltez (*Gesb*) (DURLO; DENARDI, 1998), em que:

$$Gesb = \frac{h}{dap}$$

Sendo:  $h$  = altura total, em metros;  $dap$  = diâmetro à altura do peito, em metros.

❖ Índice de saliência (*is*), em que:

$$is = \frac{dc}{dap}$$

Sendo: *dc* = diâmetro de copa, em metros; *dap* = diâmetro à altura do peito, em metros.

Esse índice é um indicador do espaço necessário para o crescimento da árvore à medida que cresce em *dap*.

Dawkins (1963) demonstrou em seu trabalho clássico que o diâmetro da copa e o diâmetro à altura do peito são estreitamente relacionados. Nesse sentido, considerando as árvores dominantes e co-dominantes, o diâmetro de copa foi ajustado por regressão em função do seu respectivo diâmetro à altura do peito para estabelecer uma relação alométrica entre as duas variáveis, e assim estimar o espaço de crescimento de cada árvore expressado pela função (FOLI et al., 1993):

$$S = k(\beta_0 + \beta_1 dap)^2$$

Sendo: *S* = espaço de crescimento utilizado pela árvore; *k* = constante equivalente a  $\pi/40\,000$ ;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  = coeficientes da regressão; *dap* = diâmetro à altura do peito.

❖ Índice de abrangência (*ia*), em que:

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

Sendo: *dc* = diâmetro de copa, em metros; *h* = altura total, em metros.

O índice de abrangência indica a necessidade de espaço da árvore com o aumento da altura. Assim, para uma mesma altura total, atingirá maior espaço o indivíduo que tiver maior diâmetro de copa.

❖ Formal de copa ( $fc$ ), em que:

$$fc = \frac{dc}{l}$$

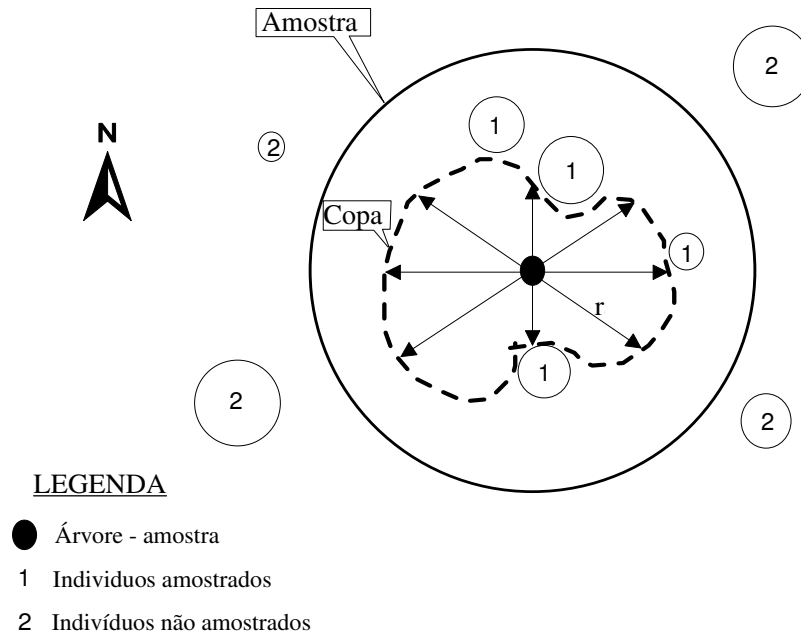
Sendo:  $dc$  = diâmetro de copa, em metros;  $l$  = comprimento de copa em metros.

Em geral, quanto menor esse índice, maior é a influência das árvores vizinhas na expansão lateral da copa da árvore considerada.

### 3.3.3 Índices de concorrência

O status de competição foi medido utilizando quatro índices de concorrência, entre os quais, dois são dependentes e os demais independentes da distância. Assim, os mesmos foram utilizados como variáveis preditoras no modelo de regressão e desta forma, avaliar sua contribuição em explicar a variação do crescimento periódico em área basal.

Para a medição da competição foi instalada uma unidade amostral em cada árvore individual de cedro (árvore-amostra) com forma circular e raio definido como sendo duas vezes o raio médio de copa da árvore-amostra, como exemplificado na Figura 5.



**Figura 5 – Área de amostragem para o levantamento da competição exercida por árvores vizinhas do cedro (*C. odorata*). Fonte: Esber (2003).**

Dentro de cada unidade amostral, foram medidos todos os indivíduos com dap maior ou igual a 10 cm, registrando sua altura total e comercial, a posição sociológica, nome comum, bem como as coordenadas medidas em ângulo azimutal e a distância horizontal, em formulário (APÊNDICE 5).

O grau de competição sofrido por cada árvore-amostra foi calculado utilizando os índices descritos por:

- ❖ *Índice de Glover e Hool* (PRODAN et al., 1997), que relaciona a dimensão da árvore-amostra com a dimensão média das árvores competidoras, dentro de uma área previamente estabelecida. Então, quanto menor for o índice, maior será a concorrência sofrida pela árvore:

$$I_{GH} = \frac{d_i^2}{\bar{d}_j^2}$$

Sendo:  $I_{GH}$  = índice de competição de Glover e Holl;  $d_i$  = diâmetro da árvore-amostra (que sofre concorrência), em centímetros;  $\bar{d}_j$  = diâmetro médio das árvores competidoras (que visualmente exercem concorrência), em centímetros.

- ❖ *Índice de BAL (Basal area larger)*, que considera como competidoras as árvores com área basal maior que a árvore-amostra (árvores mais grossas). Logo, quanto maior o índice, maior a competição exercida sobre o indivíduo considerado (DELLA-FLORA, 2001).

$$BAL = \sum_{i=1}^n g$$

Sendo:  $g$  = área basal, em metros quadrados;  $n$  = número de árvores com diâmetro à altura do peito maior que a árvore-amostra na unidade amostral.

- ❖ *Índice de Hegyi ( $I_H$ )* foi obtido mediante a soma do quociente entre o diâmetro da árvore-amostra ( $i$ ) e o diâmetro da árvore competidora ( $j$ ) ponderado pela distância entre ambas. O aumento de seu valor indica um aumento da competição. No campo florestal este índice é amplamente utilizado (DANIELS et al., 1986):

$$I_H = \sum_{i=1}^n \left( \frac{d_i}{d_j} \right) \times \frac{1}{L_{ij}}$$

Sendo:  $d_i$  e  $d_j$  = diâmetro da árvore-amostra e competidora, em centímetros, respectivamente;  $L_{ij}$  = distância entre a árvore-amostra ( $i$ ) e competidora ( $j$ ), em metros;  $n$  = número total de competidores.

- ❖ *Índice de competição vertical (ICV)* (MITSUDA et al., 2002) descreve a competição por luz, em que um aumento do valor de  $ICV$  indica aumento do grau supressão sobre a árvore-amostra. Para calcular esse índice utilizou-se a seguinte expressão:

$$ICV = \sum_{i=1}^n \tan^{-1} \left( \frac{\Delta h_{ij}}{L_{ij}} \right)$$

Sendo:  $\tan^{-1}$  = arco-tangente;  $\Delta h_{ij}$  = diferença de altura entre a árvore-amostra ( $i$ ) e a competidora ( $j$ ) em metros;  $L_{ij}$  = distância entre a árvore-amostra ( $i$ ) e a competidora ( $j$ ), em metros;  $n$  = número de árvores consideradas competidoras.

### 3.3.4 Crescimento periódico em área basal

A estimação do crescimento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, foi determinada pela contagem dos anéis de crescimento em baguetas de cinco mm de diâmetro, extraídas radialmente do fuste na altura do dap utilizando sonda Pressler.

Quando da presença de raízes tabulares no dap, realizou-se a verrumagem a uma altura acima dessa região, correspondente a 0,5 m (APÊNDICE 1). Justifica-se este procedimento, pois a medição de anéis de crescimento nessa região leva a superestimação do crescimento em diâmetro das árvores (METCALF et al., 2009).

Um total de 124 baguetas, duas para cada árvore, foram coletadas e acondicionadas, cada uma, em canudos contendo sílica e posteriormente foram submetidas à secagem em condições ambientais durante sete dias. Em seguida, elas foram fixadas com adesivo (cola branca) em suporte de madeira. Para o preparo da superfície da bagueta utilizou-se um estilete profissional com auxílio de um micrótomo de deslizamento para tornar mais fácil a visualização dos anéis de crescimento.

A medição do incremento radial foi realizada em uma mesa micrométrica com deslocamento horizontal acoplada a um microscópio estereoscópico. O registro dos dados foi realizado em unidades de 1/100 mm de incremento utilizando o software TSAP (Time Series Analysis Program, 1996).

Partindo do incremento radial determinou-se o diâmetro nas idades correspondentes que derivou o incremento periódico em área basal para cada árvore individual pela expressão:

$$IPg_i = [(d_{i2}^2 \times \pi/4) - (d_{i1}^2 \times \pi/4)]$$

Sendo:  $IPg_i$  = Incremento periódico em área basal da *i*-ésima árvore em centímetros quadrados;  $d_{i2}$  = diâmetro da *i*-ésima árvore no ano de 2008 em centímetros;  $d_{i1}$  = diâmetro da *i*-ésima árvore no ano de 2005 em centímetros.

Considerando que o incremento em diâmetro é sensível ao fechamento ou abertura do dossel florestal demonstrado em um modelo matemático por Meer e Borgers, 1996, utilizou-se este critério para verificar o efeito da presença de lianas na copa sobre o crescimento em área basal. Dessa forma, o incremento periódico em área basal foi expresso em percentagem da área basal inicial, para cada árvore individual, mediante o emprego da fórmula de Nowacki e Abrams (1997), a qual deriva a mudança no crescimento em:

$$\%MC_i = \left( \frac{\bar{g}_2 - \bar{g}_1}{\bar{g}_1} \right) \times 100$$

Sendo:  $\%MC_i$  = percentagem da mudança no crescimento em área basal para o *i*-ésimo ano;  $\bar{g}_1$  = média do incremento em área basal entre os anos de 2005 e 2008;  $\bar{g}_2$  = média do incremento em área basal entre os anos de 2001 e 2004.

Para gerar informações da eficiência das árvores individuais em utilizar o espaço disponível de crescimento, foi determinada a produtividade que foi calculada pela relação entre o incremento periódico em área basal ( $IP_g$ ) e a projeção horizontal sobre o solo de sua respectiva copa ( $Pr_{copa}$ ), conforme a fórmula abaixo:

$$Produtividade = \frac{IP_g}{Pr_{copa}}$$

### 3.4 Análise estatística dos dados

#### 3.4.1 Análise da variável dependente

Para garantir a aplicação de testes de significância baseados na distribuição  $F$ , foi calculado o teste de Normalidade e Homocedasticidade (SNEDECOR; COCHRAN, 1989) para a variável-resposta “incremento periódico em área basal”, sendo testada a hipótese nula de ajuste a uma distribuição normal e variâncias homogêneas, respectivamente, ao longo da amplitude diamétrica estudada. Para tal,



utilizaram-se o teste de Bartlett para verificação da Homocedasticidade e o teste de Shapiro – Wilk para a Normalidade.

A fim de cumprir com os pressupostos, quando necessário, foi utilizado o método proposto por Box-Cox para estabilizar a variância por meio de uma potência lambda ( $\lambda$ ) estimada por máxima verossimilhança, conforme o modelo abaixo (SCHNEIDER et al., 2009):

$$\lambda = x \xrightarrow{\text{potência}} IP'_g = IP_g^x$$

Sendo:  $\lambda$  = lambda a ser determinado;  $IP_g^x$  = incremento periódico em área basal transformado.

### 3.4.2 Análise de correlação

O crescimento periódico em área basal foi relacionado com todas as variáveis da árvore, com o objetivo de estudar a relação existente e inferir, a primeira vista, as causas e efeitos sobre a variação da taxa do incremento em área basal. O grau de relação foi medido pelo coeficiente de correlação de Pearson estimado como:

$$Corr(y, x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \right) \left( \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \right)$$

Sendo:  $Corr(y, x)$  = interpretada como a correlação entre as variáveis  $y$  e  $x$ .

A correlação parcial foi utilizada para determinar o grau de associação existente entre o crescimento em área basal e uma variável. Esse procedimento mede a relação apenas entre duas variáveis quaisquer, quando os efeitos de outras variáveis forem controlados (FONSECA et al., 1976).

A análise foi realizada utilizando o procedimento PROC CORR com a opção de controle de variáveis PARTIAL do sistema estatístico SAS (Statistical Analysis System) Versão 9.1 (SAS Institute Inc., 2004).

Para descrever a relação entre as variáveis estudadas, utilizou-se regressão linear simples e quadrática. A finalidade da regressão quadrática foi determinar qual o valor de uma variável preditora proporciona o máximo da variável dependente, partindo do modelo quadrático:

$$\widehat{IP}_g = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \cdot A_{copa} + \hat{\beta}_2 \cdot A_{copa}^2 \quad \left| \quad \begin{aligned} \frac{\partial \widehat{IP}_g}{\partial A_{copa}} &= \hat{\beta}_1 + 2\hat{\beta}_2 A_{copa} = 0 \\ \therefore 2\hat{\beta}_2 A_{copa} &= -\hat{\beta}_1 \\ \therefore A_{copamax} &= \frac{-\hat{\beta}_1}{2 \times \hat{\beta}_2} \end{aligned} \right.$$

Sendo:  $\widehat{IP}_g$  = incremento periódico em área basal (2005 – 2008) estimado;  $A_{copa}$ ,  $A_{copamax}$  = área de projeção da copa e área de projeção da copa que maximiza o incremento periódico em área basal, em metros quadrados, respectivamente;  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$  = parâmetros estimados pela regressão.

### 3.4.3 Modelagem e validação da equação de regressão

A modelagem do crescimento periódico em área basal foi realizada em função das variáveis dendrométricas juntamente com variáveis *Dummy*, a fim de determinar a existência de interação entre as mesmas.

Para tal, a equação gerada foi ajustada, baixo a suposição de que todos os parâmetros são fixos utilizando análise de regressão com mínimos quadrados ordinários no procedimento PROC REG no sistema estatístico SAS V 9.1 (SAS Institute Inc., 2004), utilizando a opção SELECTION=STEPWISE (inclui variáveis com Forward e elimina, quando necessário, com Backward), que consiste em formar um modelo de regressão iniciando com a variável preditora que tenha a maior correlação parcial com a variável dependente.

Durante a modelagem, as variáveis independentes somente foram consideradas se apresentassem poder explanatório significativo ( $Pr < 0,05$ ), evitando incluir variáveis não-significativas que causam o aumento no poder explicativo do modelo devido à inclusão do erro aleatório durante a análise. Este procedimento foi realizado pelo teste de hipótese para os parâmetros estimados, utilizando a distribuição t de *Student*

A seleção da equação ajustada foi realizada pelo coeficiente de determinação parcial erro padrão de estimativa ( $S_{yx}$ ), coeficiente de variação ( $CV\%$ ), valor F de significância do modelo e pelo  $C_{(p)}$  de Mallow. Este último visa minimizar o total padronizado do erro quadrado médio, sendo que o valor desse teste deve ser o mais próximo do número de variáveis independentes do modelo.

No cumprimento das propriedades dos estimadores de mínimos quadrados ordinários, foi realizada uma análise da equação ajustada na suposição de que os erros:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , assume-se que sejam:

- ❖ Normais – Os resíduos da equação ajustada foram submetidos à análise de Normalidade sob hipótese nula de que sua frequência observada se ajusta a uma frequência normal hipotética, utilizando o teste de Shapiro – Wilk.
- ❖ Variância comum  $\sigma^2$  (Homocedasticidade) – Para o suposto de variâncias homogêneas, foi utilizado o teste de White, com a distribuição de Qui-quadrado sob hipótese nula de que a variância é a mesma, porém desconhecida, para cada uma das classes de resíduos formada. Para contornar o efeito da Heterocedasticidade, quando presente, foi realizada a transformação da variável dependente.
- ❖ Independentes-Identicamente distribuídos – Os resíduos foram analisados quanto à existência de correlação entre os mesmos (Autocorrelação) determinada pelo teste de Durbin – Watson.

Os testes de condicionantes da regressão foram realizados utilizando o procedimento MODEL com a opção NORMAL, WHITE, DW e DWPROB calculados no sistema estatístico SAS V 9.1 (SAS Institute Inc., 2004) para um nível de significância de 95% de probabilidade de confiança.

Também foi avaliada a possível colinearidade entre as variáveis preditoras. Esse problema ocorre quando as variáveis independentes de um modelo estão correlacionadas, entre as mesmas, de forma significativa, em maior grau do que entre a variável dependente, causando inflação da variância dos estimadores da regressão.

Para tal, a identificação da colinearidade na estimativa dos coeficientes da regressão foi em base ao índice “Variance Inflation Factor” (VIF) considerando, como regra de exclusão, um valor de VIF superior a 10 para contornar os efeitos adversos da colinearidade (NETER et al., 1996). Essa análise foi realizada utilizando o procedimento REG com a opção VIF no sistema estatístico SAS V 9.1 (SAS Institute, Inc. 2004).

Toda a análise foi realizada com o apoio de gráficos de resíduos para avaliar a eficiência da equação ajustada e diagnosticar a presença de observações influentes denominadas “valores estranhos” ou “outliers”. Observações influentes são aquelas que, por vários critérios, parecem ter uma grande influência sobre a estimativa dos parâmetros da regressão (WELSCH; KUH, 1977).

Nesse sentido, os resíduos, obtidos pela equação ajustada, foram padronizados para aprimorar a detecção de valores estranhos. A padronização foi realizada dividindo o valor do resíduo pelo seu respectivo desvio padrão conforme a fórmula (CHATTERJEE et al., 2000):

$$r_{si} = \frac{r_i}{s\sqrt{1 - p_{ii}}}$$

Sendo:  $r_{si}$  = resíduo padronizado;  $r_i$  = *i*-ésimo resíduo;  $s$  = desvio padrão desconhecido de  $r_i$ ;  $p_{ii}$  = valor de Leverage.

Os resíduos padronizados se aproximam da distribuição t de *Student* com  $n - p - 1$  grau de liberdade, possibilitando o teste de hipótese para rejeitar pontos de influência com nível de significância estabelecido.

Juntamente com a análise de resíduos padronizados, foi utilizado o procedimento proposto do Cook (1977), denominado Cook’s Distance. Esse método

calcula a diferença entre o valor ajustado obtido pelo modelo máximo e o valor ajustado obtido quando eliminada a *i-ésima* observação estranha, ou seja, o valor da distância de Cook ( $C_i$ ) representa a medida do grau para o qual os valores estimados mudam se a observação estranha é eliminada da base de dados. De acordo com Cook (1977), o valor mede a influência na *i-ésima* observação mediante a seguinte fórmula:

$$C_i = \left( \frac{r_{si}^2}{p + 1} \right) \cdot \left( \frac{p_{ii}}{1 - p_{ii}} \right), i = 1, 2, \dots, n.$$

Sendo:  $r_{si}$  = *i-ésimo* resíduo padronizado;  $p_{ii}$  = valor de Leverage para a *i-ésima* observação;  $p$  = número de parâmetros da regressão.

Quando ocorrem pontos com  $C_i$  valores que se encontram afastados da massa de pontos, esse ponto deverá ser identificado e examinado na base de dados. Neter et al. (1996) sugerem investigar qualquer ponto com valor de  $C_i$  maior que 1.

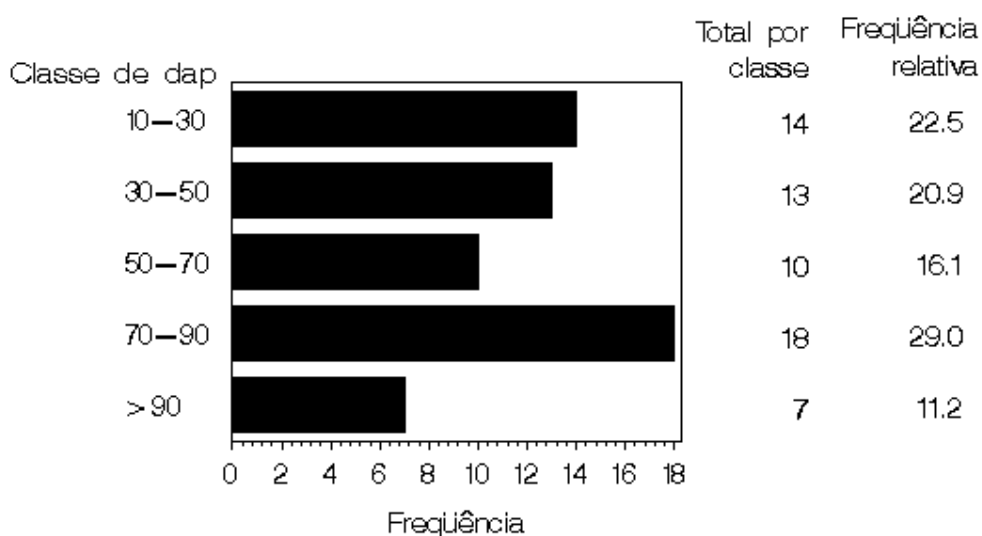
A equação será reajustada sem esses pontos, verificando se ocorre significativa mudança no grau de ajuste (aumento do ajuste e diminuição do erro). Quando ele ocorrer, será considerado um ponto de influência, o qual será eliminado da base de dados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Crescimento em área basal

O crescimento médio em área basal do cedro foi de 144,0 cm<sup>2</sup> com desvio padrão de 103,6 cm<sup>2</sup>, obtido de uma amplitude diamétrica amostral de 8,4 a 96,2 cm de diâmetro. A amostra teve uma grande variação do incremento (CV=71,9%), a qual, se analisada de forma geral, mostra que a população estudada foi pouco representada pela média amostral.

Dessa forma, foi realizada a estratificação dos dados de diâmetro à altura do peito formando classes de diâmetro com uma amplitude de classe de 20 cm (FIGURA 6), e assim avaliá-lo com o incremento periódico em área basal de forma a aumentar a qualidade da inferência estatística.



**Figura 6 – Distribuição de frequência de árvores de cedro (*C. odorata*) amostradas, por classe de diâmetro, em 328 ha na fazenda Triângulo, em Porto Acre, AC.**

A Figura 6 mostra a distribuição diamétrica da amostra na qual a classe com diâmetro entre 70 e 90 cm foi a mais amostrada; por outro lado as árvores de maior porte (classe de 90 a 110 cm) foram menos freqüentes.

#### 4.1.1 Incremento periódico em área basal por classe diamétrica

O desenvolvimento do incremento em área basal por classe de diâmetro à altura do peito (dap) foi representado na Figura 7 por um gráfico Box Plot, que incluiu uma breve análise da média (ANOM) incluindo a média global e os limites de diferença superior e inferior calculados com nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

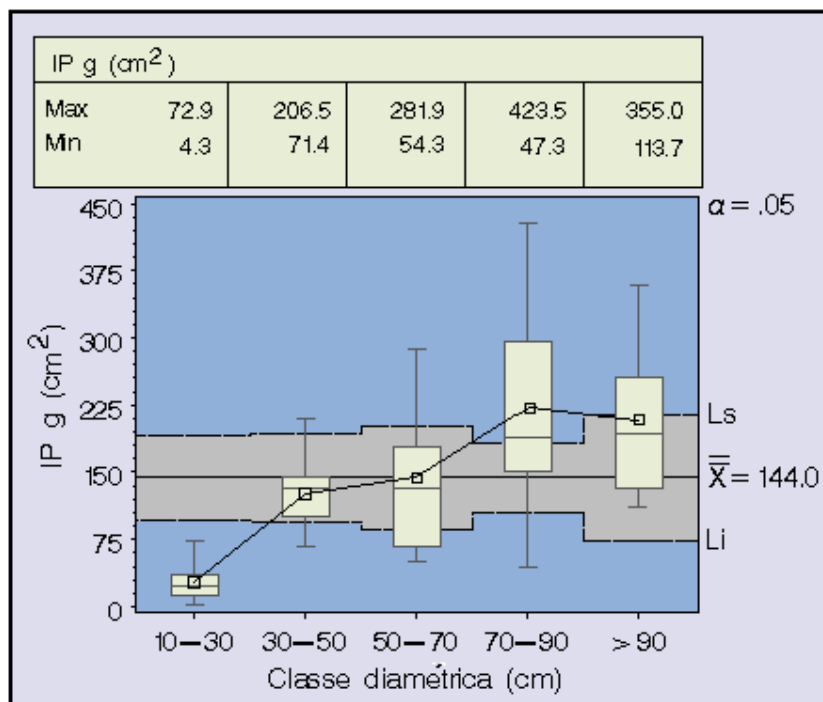


Figura 7 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, por classe de diâmetro de 62 árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. Ls = limite superior, Li = limite inferior.

Na Figura 7, é possível observar que a média do incremento periódico em área basal (linha sólida) tende a aumentar à medida que aumenta a classe de diâmetro, alcançando um ponto máximo nas árvores de diâmetro entre 70 a 90 cm e, posteriormente, decrescendo na classe de árvores com diâmetro acima de 90 cm. A capacidade da espécie em agregar área basal é um aspecto do desempenho de seu crescimento, que tem uma importante implicação no que se refere à produção de madeira.

A análise das classes mostrou que ocorreu variação do incremento em área basal em maior grau na classe 10-30 (CV = 71,54%), indicando grande variação do crescimento, tornando a média (27,8 cm<sup>2</sup>) não representativa para a classe. As árvores com diâmetro entre 70 a 90 cm apresentaram uma média de 222,1 cm<sup>2</sup>, com árvores crescendo 47,4 cm<sup>2</sup> e outras 423,6 cm<sup>2</sup> no período avaliado.

Essa variação, ocorrida dentro de uma mesma classe de diâmetro, é atribuída em menor intensidade à amplitude do intervalo de classe (20 cm) e, em maior grau, à qualidade de sítio, principalmente ao seu status competitivo (incluindo a presença de lianas na copa), de modo que o espaço de crescimento para a árvore se reduz quanto maior o grau de competição. Esse comportamento resulta da dinâmica do dossel, já que o crescimento em área basal é favorecido em árvores com melhores posições de copa (posição sociológica) de forma independente da classe de diâmetro (ALDER, 1980).

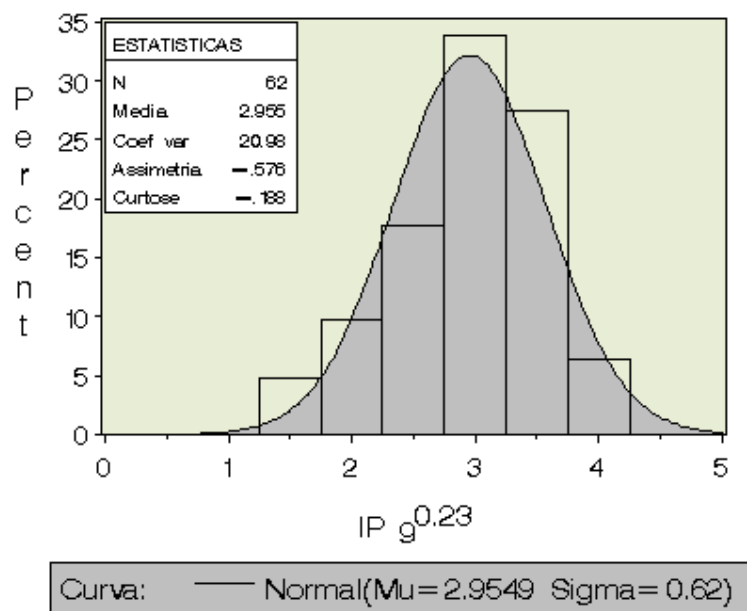
A classe que apresentou a menor variação no crescimento em área basal foi a que incluiu árvores com 30 a 50 cm de diâmetro (CV = 29,3%). Não se conhece em detalhe a causa da baixa variação nessa classe, entretanto, ela pode estar associada à quase inexistência de lianas em indivíduos dessa classe (92%) e à melhor posição sociológica (67% dos indivíduos encontravam-se na posição sociológica 1 e 2).

O teste para avaliar a heterogeneidade de variância revelou alta significância ( $\chi^2 = 35,17$ ;  $Pr < 0,0001$ ;  $gl = 4$ ), indicando que a distribuição do incremento em área basal apresentava variâncias heterogêneas (Heterocedasticidade), considerando um delineamento com diferentes unidades amostrais dentro da classe de diâmetro (desbalanceado). Por esse motivo, esta variável foi transformada por meio de uma potência igual a 0,23, determinada pelo método Box-Cox, a qual estabilizou a



variância determinada para o novo modelo ( $x^2 = 6,31$ ;  $Pr = 0,1769$ ; teste de Bartlett para  $IP_g^{0,23}$ ).

O teste de Kolmogorov – Smirnov sob hipótese nula de que os dados de incremento em área basal com potência 0,23 distribuem-se normalmente, mostrou não significância ( $D = 0,11$ ;  $Pr > D = 0,072$ ), indicando que os dados observados se ajustavam a uma distribuição normal hipotética (FIGURA 8).



**Figura 8 – Distribuição do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008 e distribuição normal hipotética em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Essa avaliação garantiu a aplicação e validade do teste de significância para analisar a variância do crescimento para o efeito classe diâmetro, que é apresentada na Tabela 1. Nesta, observou-se que a taxa do crescimento variou entre as classes de diâmetro ( $Pr < 0,0001$ ), demonstrada por diferenças na taxa periódica de crescimento.

**Tabela 1 – Análise da variância do incremento periódico em área basal transformado em função da classe diamétrica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

FV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Classe dap	4	16,10085	4,02521	31,22	<0,0001
Erro	57	7,34972	0,12894		
TOTAL	61	23,45058			

Sendo: FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = Soma de quadrados, QM = quadrado médio.

Através da análise de contraste (TABELA 2), as médias do incremento foram comparadas para cada classe de diâmetro, demonstrando que as árvores das classes de diâmetro designadas de 2-3, 3-5 e 4-5 são estatisticamente iguais, com 95% de probabilidade de confiança, indicando que as árvores agrupadas nessas classes tiveram a mesma taxa de incremento em área basal.

**Tabela 2 – Matriz de diferenças das médias de quadrados mínimos do incremento periódico em área basal transformado em função da classe diamétrica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

i/j	Classes de diâmetro (cm)				
	10-30 (1)	30-50 (2)	50-70 (3)	70-90 (4)	90-110 (5)
10-30 (1)		6,9953*	6,7433*	10,4152*	7,9318*
30-50 (2)	<,0001		1,1443 <sup>ns</sup>	2,7943*	2,0848*
50-70 (3)	<,0001	0,8173		2,3312*	1,7851 <sup>ns</sup>
70-90 (4)	<,0001	0,0071	0,0233		0,0891 <sup>ns</sup>
90-110 (5)	<,0001	0,0416	0,0796	0,9293	

Sendo: ns = não significante; \* = significante em  $Pr < 0,05$ ; Comparações múltiplas ajustadas por Tukey-Kramer, gl = 62 em que a diagonal superior mostra os valores de t e a inferior as probabilidades).

## 4.2 Variação do incremento periódico em área basal

Foram analisadas variáveis com potencial em influir sobre o crescimento, como a posição e forma da copa e de qualidade, bem como o status de competição atual das árvores.

### 4.2.1 Variáveis dendrométricas e índices morfométricos

A relação do crescimento periódico em área basal com a posição sociológica foi significativa, de acordo com o coeficiente de correlação amostral  $r = -0,627$  ( $Pr < 0,0001$ ) obtido pela matriz de correlação de Pearson (APÊNDICE 2). Como esperado, a taxa de crescimento foi maior em posições de plena luz solar, decrescendo à medida que diminuiu o grau de exposição da copa à luz na floresta.

Um total de 24,2% (15 indivíduos) das árvores amostradas encontrava-se com a copa recebendo luz solar total, tanto vertical como lateral, caracterizando árvores dominantes. Nessa condição, árvores na classe de diâmetro 70 a 90 cm de diâmetro foram mais freqüentes (7 indivíduos), decrescendo esse número à medida que diminuiu a disponibilidade de luz, até um ponto em que se agrupam árvores que somente recebiam pouca luz lateral, incluídas na classe 10 a 30 cm de diâmetro, com uma freqüência de 6 indivíduos, como observados na Figura 9.

Como esperado, geralmente, árvores que alcançam o dossel apresentam grande diâmetro (maiores classes de dap) e, com isso, maiores taxas de incremento no período analisado (entre 2005 e 2008).

Na Figura 9 demonstra-se que o crescimento em área basal é diferente quando avaliado com a posição sociológica ( $gl=3$ ,  $Pr < 0,0001$ ). Mediante análise de contraste de médias, determinou-se que árvores com posição sociológica 1 diferem significativamente em relação à posição sociológica 2, 3 e 4 ( $Pr=0,0029$  para contraste com 1-2;  $0,0017$  para 1-3;  $Pr < 0,0001$  para 1-4), respectivamente.

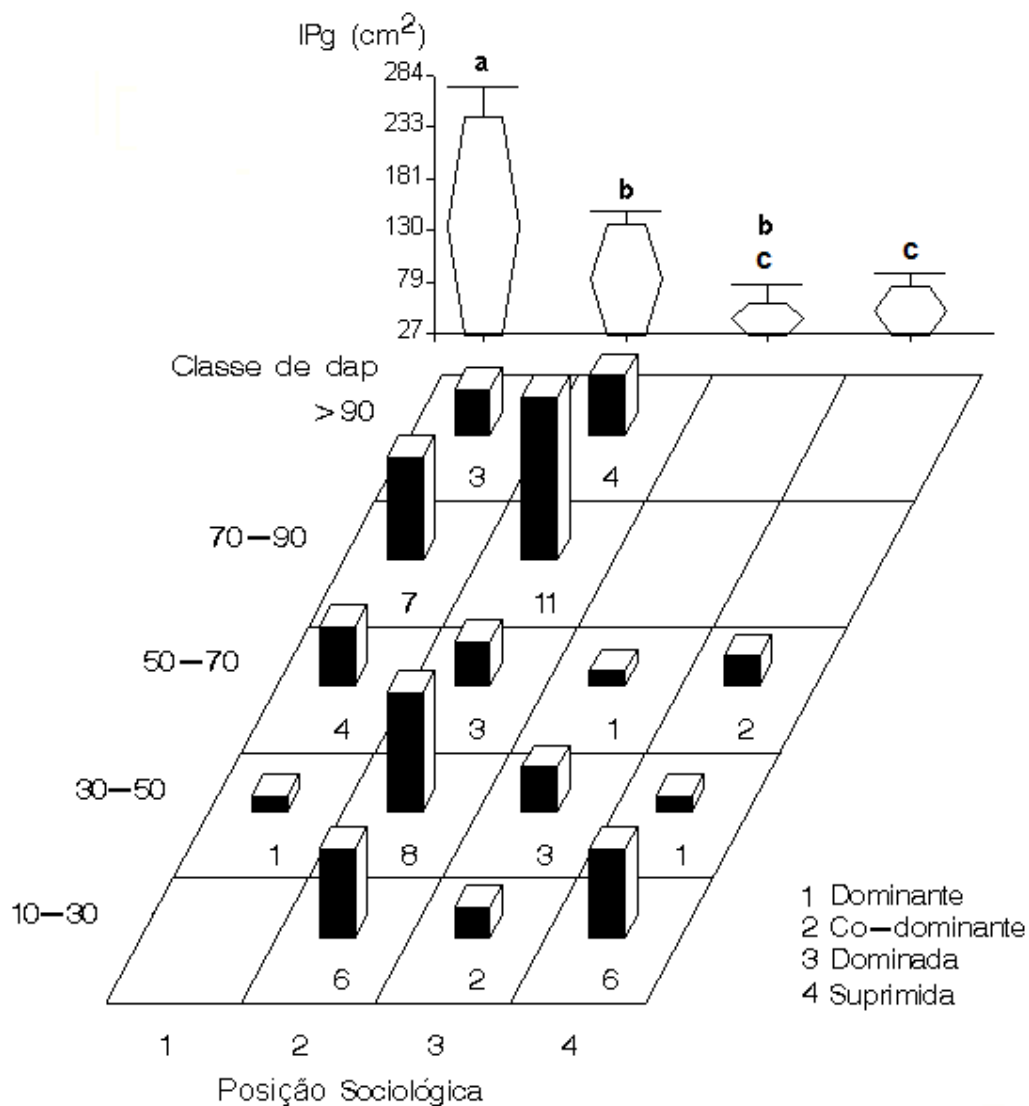


Figura 9 – Média aritmética do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, por posição sociológica (a) e freqüência absoluta por classe de diâmetro (b) em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. (Diferentes letras indicam diferenças entre posições sociológicas ( $Pr=0,05$ ), utilizando o teste de comparações múltiplas por Tukey – Kramer,  $gl = 62$ ).

Esse resultado demonstra que o crescimento potencial em área basal é substancialmente maior (426%) quando o dossel é alcançado pelas árvores ( $dg=74,5$  cm), se comparado com árvores abaixo dessa posição ( $dg=39,2$  cm), já que, em média, as árvores posicionadas no dossel têm maior altura ( $\bar{h}=30,3$  m) e desfrutam de maior luminosidade.

Uma importante suposição da dinâmica na floresta é a de que o crescimento é descrito por uma função geométrica do tamanho das árvores quando os efeitos ambientais estão ausentes (PACALA et al., 1994). Nesse sentido, por meio da correlação parcial, foi possível determinar a correlação entre o crescimento em área basal e a posição sociológica, controlando o efeito do tamanho da árvore (dap), obtendo, dessa forma, uma relação estreita para o efeito (TABELA 3).

**Tabela 3 – Correlação parcial entre o incremento periódico em área basal, diâmetro à altura do peito (dap) e posição sociológica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Variável	Correlação parcial do crescimento em área basal		
	dap controle pos.social	pos.social controle dap.	
IP g (cm <sup>2</sup> )	r	0,574	-0,368
	Pr> r	<0,0001	0,0053

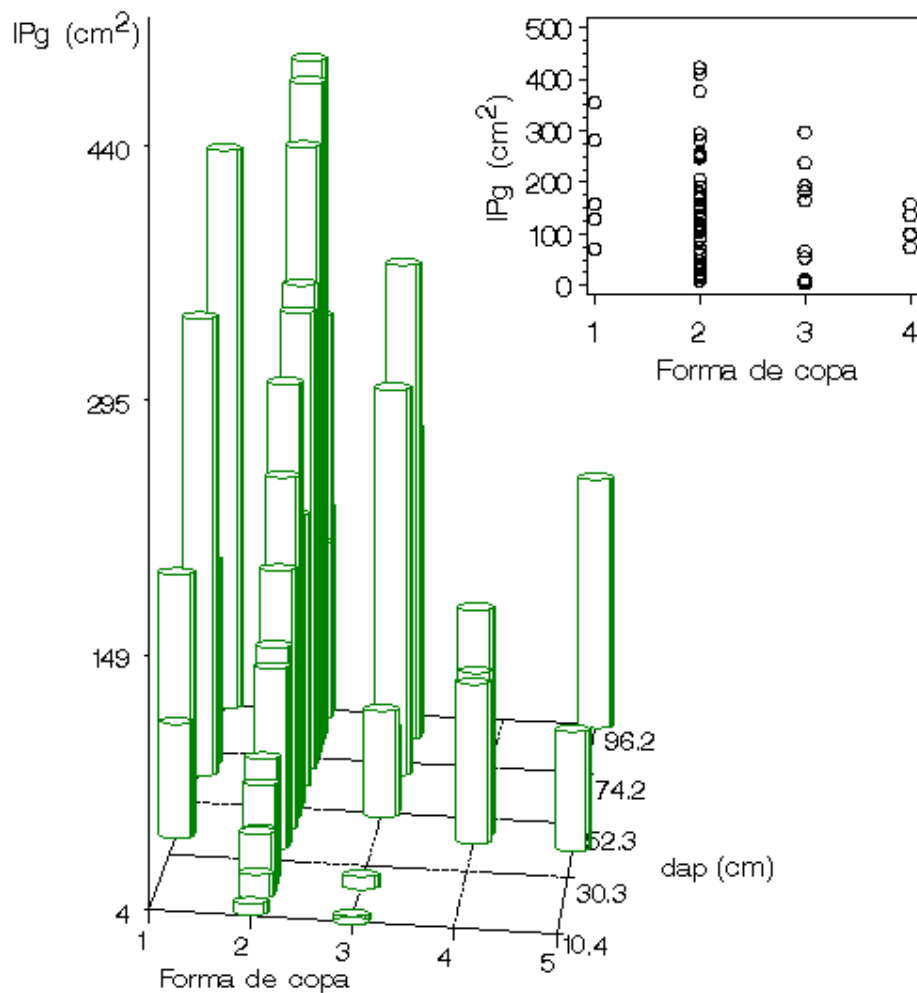
Sendo: r = coeficiente de correlação de Pearson; Pr>|r| = probabilidade de se obter uma estatística r igual 0, quando a hipótese nula é verdadeira; pos.sociol = posição sociológica.

Assim, na Tabela 3, observa-se que, quando o efeito da dimensão da árvore (dap) é controlado, o crescimento em área basal continua estreitamente relacionado com a posição sociológica, porém, em menor grau de associação. Isso reforça a classificação da espécie como exigente de luz para um desenvolvimento satisfatório (heliófila seletiva) em termos silviculturais, já que houve um ganho de 12,4 cm<sup>2</sup> de área basal por árvore dominante (ganho em incremento periódico em área basal em árvores dominantes dividido pela sua frequência absoluta).

A forma da copa não explicou a variação do incremento em área basal, apresentando coeficiente de correlação não significativo (r=-0,161; Pr=0,1975), como resultado de uma relação não linear entre ambas as variáveis. Por outro lado, quando relacionada por classe de diâmetro, a forma de copa tem efeito significativo sobre o crescimento em área basal para árvores entre 10 a 30 cm (r=-0,544, Pr=0,0441; n=14) e 50 a 70 cm de diâmetro (r=-0,747, Pr=0,0130; n=10).

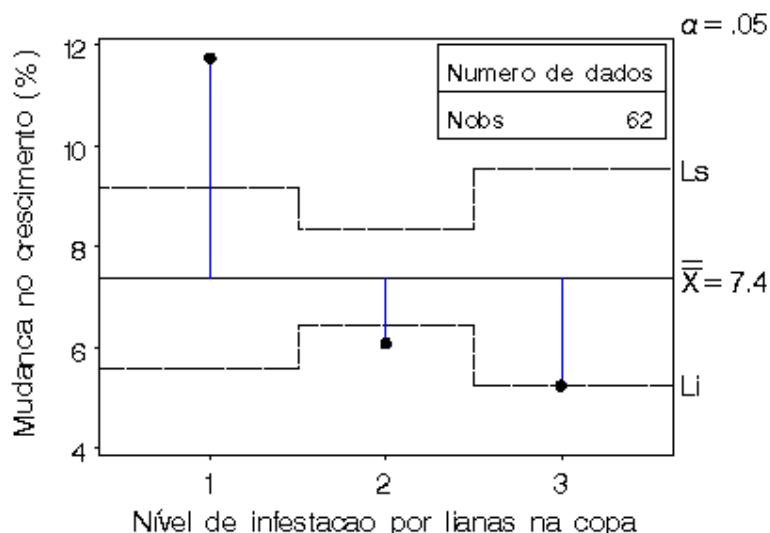
Relação insignificante calculada para as demais classes foi atribuída, possivelmente, a pouca representação de todas as formas de copa. Na Figura 10, observa-se que a maioria das árvores tem bom crescimento em copas circulares e

irregulares (forma de copa 1 e 2), o que também ocorre em indivíduos com copas 3, decrescendo para as de copa 4 e 5.



**Figura 10 – Comportamento do incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da forma da copa e dap de árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Ao analisar o efeito da presença de lianas na copa, observou-se que não ocorreu influência sobre o desenvolvimento da área basal. Por outro lado, quando esse efeito é relacionado junto com a mudança do crescimento (crescimento relativo), detecta-se uma significativa redução do crescimento em área basal ( $r=-0,539$ ;  $Pr<0,0001$ ) à medida que aumenta o grau de infestação de lianas na copa, conforme indica a análise da média (ANOM) na Figura 11.

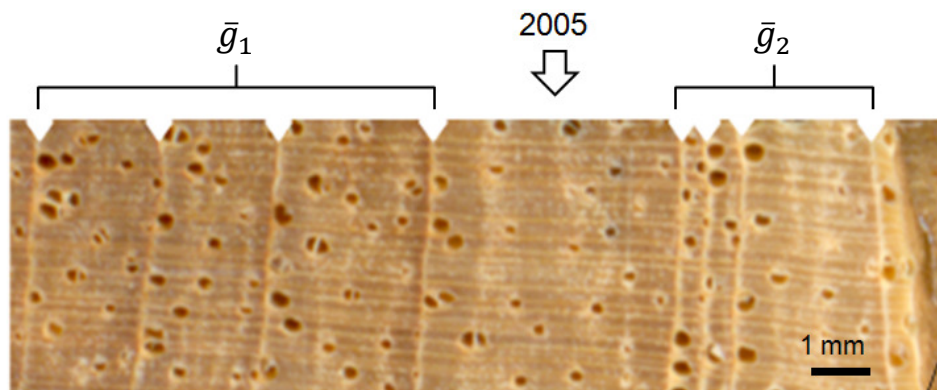


**Figura 11 – Comportamento médio da mudança no incremento em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da presença de lianas na copa de árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. Ls = Limite superior, Li = Limite inferior.**

Maiores taxas de crescimento ocorrem em árvores com a copa livre de lianas ( $\bar{x} = 11,7\%$ ), limitando o crescimento em árvores que apresentam grande quantidade de lianas sobre suas copas (nível de infestação 3;  $\bar{x} = 5,3\%$ ). Isso prova estatisticamente que a média 1 difere da média geral 7,4% para um nível de significância  $\alpha = 5\%$  e que a presença de lianas sobre a copa age como um fator de redução durante a formação do incremento nas árvores de cedro em todas as classes de dap.

Em média, árvores livres de lianas (Nível de infestação 1) crescem 124% mais em área basal que árvores com a presença severa de lianas na copa (3). Esse efeito é perceptível quando avaliado pelo incremento radial, conforme a Figura 12.

Considerando somente o efeito da infestação de lianas, ocorreu significativa redução do incremento radial durante os anos de 2005 a 2008 ( $\bar{g}_2$ ), causando a formação de anéis de crescimento estreitos se comparados à média dos três anos anteriores ( $\bar{g}_1$ ).



**Figura 12 – Seção transversal de uma bagueta mostrando anéis de crescimento estreitos causados pela presença de lianas na copa de uma árvore de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, Acre. Cada entalho indica a borda do anel de crescimento.**

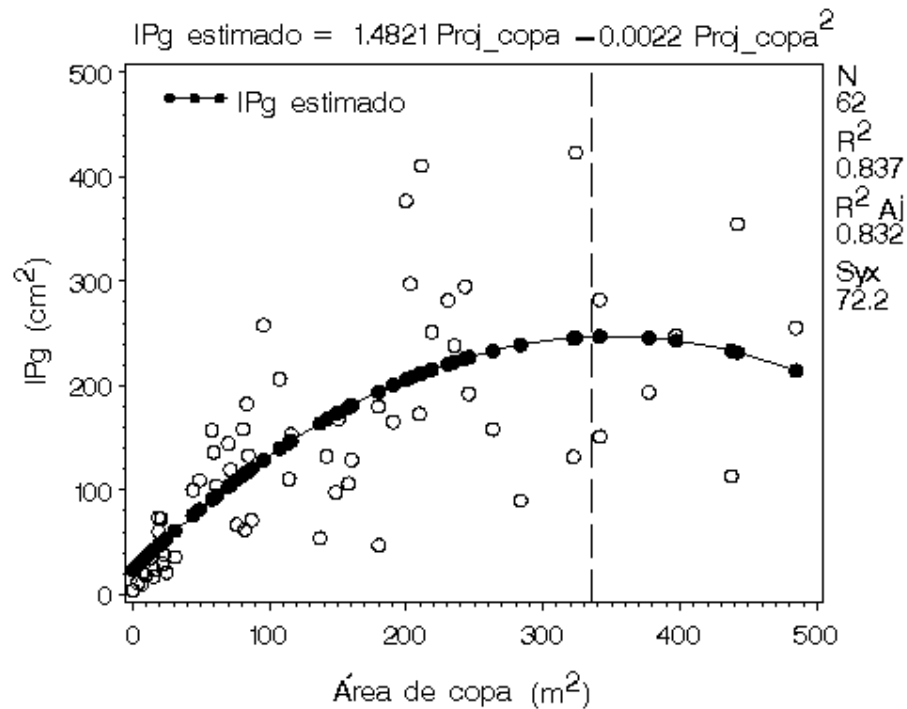
O incremento periódico em área basal e a área de projeção de copa são significativamente correlacionados ( $r = 0,661$ ;  $Pr < 0,0001$ ). Dessa forma, foi possível inferir esse resultado a partir do determinado no trabalho clássico de Dawkins (1963), o qual demonstrou uma estreita relação entre o diâmetro (dap), do qual deriva a área basal, e o diâmetro da copa de que deriva a área de copa.

Esta relação descreve-se sob uma função quadrática (FIGURA 13), em que 84% da variação do incremento foram explicados pela área de copa ( $R^2 = 0,838$ ). Isso leva a inferir que ocorreu um ponto de máximo do incremento em área basal em uma determinada projeção de copa.

Assim, derivando a equação ajustada, determinou-se uma área de copa ao redor de  $340 \text{ m}^2$ , que equivale a uma copa com pouco menos de 20 m de diâmetro que teria um dap de, aproximadamente, 88 cm. Esse é o tamanho máximo que devem ter as árvores, pois copas maiores não apresentarão maiores incrementos em área basal.

Entretanto, Toma *apud* Assmann (1970), durante investigação com *Pinus escocês* (*Pinus sylvestris*), determinou que à medida que aumenta a área de projeção de copa, o incremento em área basal aumenta até um ponto de máximo e, a partir deste, permanece aproximadamente constante.

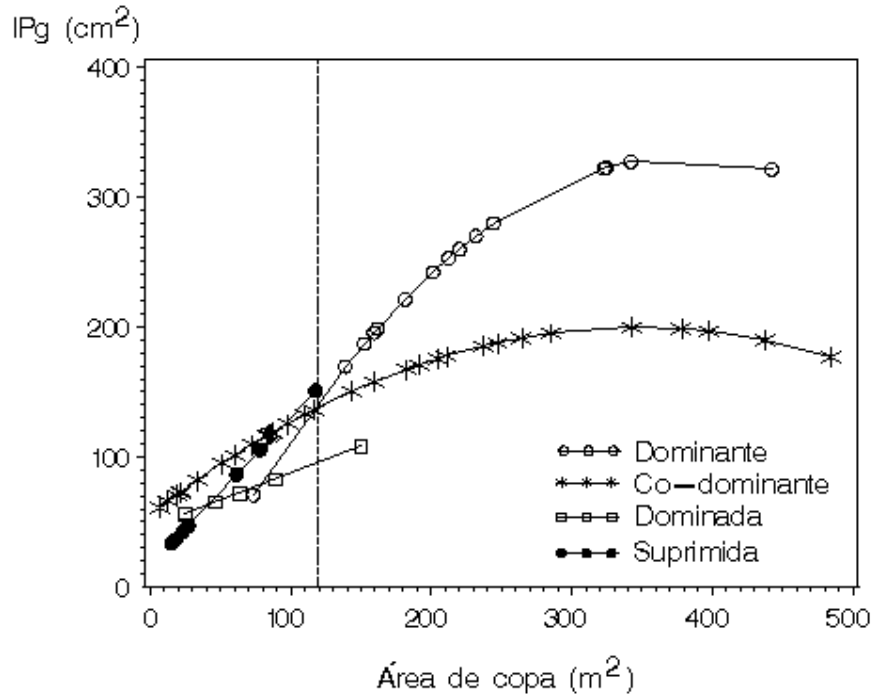




**Figura 13 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, em função da área de copa em árvores de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

De forma complementar, sabe-se que, para uma determinada área de projeção de copa, o incremento é maior para árvores com melhor posição sociológica, como já demonstrado por Assmann (1970), e verificado por Durlo, (1996) para Cedro, Louro e Canjerana no Sul do Brasil.

Ao analisar essa relação, observou-se que árvores dominantes, co-dominantes e suprimidas com uma área de projeção de copa de 120 m<sup>2</sup> desenvolveram-se sob uma mesma taxa de crescimento em área basal e que, a partir desse ponto, o incremento periódico em área basal foi maior nas árvores dominantes. Já as árvores dominadas apresentaram uma menor taxa de crescimento a mesma área de copa (FIGURA 14).



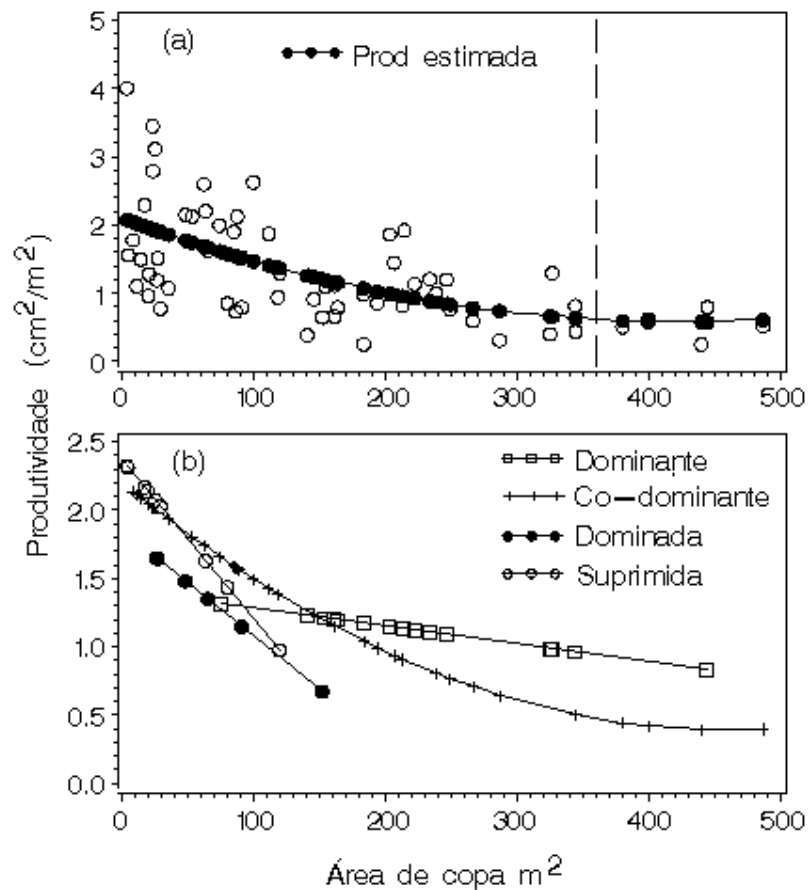
**Figura 14 – Incremento periódico em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, para cada posição sociológica em função da área de copa em árvores de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

Esse comportamento demonstra que as maiores taxas de crescimento serão encontradas em árvores dominantes, já que essas árvores, quando alcançam o dossel, sofrem mudanças repentinas na dimensão e geometria da copa, favorecendo seu crescimento (KING; MAINDONALD, 1999).

Naturalmente, o crescimento também pode estar influenciado por outros fatores, como forma, grau de competição e presença de lianas sobre a copa ou por, até mesmo, um fator desconhecido (JULIAN et al., 2001).

Por outro lado, a capacidade de produzir área basal por cada metro quadrado de copa, designado como a produtividade ou eficiência da copa, decresce notavelmente com o aumento do porte das árvores (maiores copas), decrescendo sob uma tendência exponencial negativa ( $R^2 = 0,372$ ) que alcança uma eficiência mínima do incremento em uma área de copa de 360 m<sup>2</sup> (FIGURA 15a).

Quando avaliada por posição sociológica, observa-se a diminuição da produtividade da copa com o aumento de sua área de projeção sobre o solo, em que as árvores mais eficientes foram as de posição sociológica co-dominante com copas estreitas. Isso levou a inferir que a maior eficiência do crescimento no cedro ocorreu em árvores de pequeno porte ( $dg = 38$  cm), pois essas árvores têm menor área de projeção de copa.



**Figura 15** – Eficiência do incremento periódico em área basal  $\text{cm}^2$  (dap)/ $\text{m}^2$  (copa) (a) por classe sociológica (b), entre os anos de 2005 e 2008, em árvores de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.

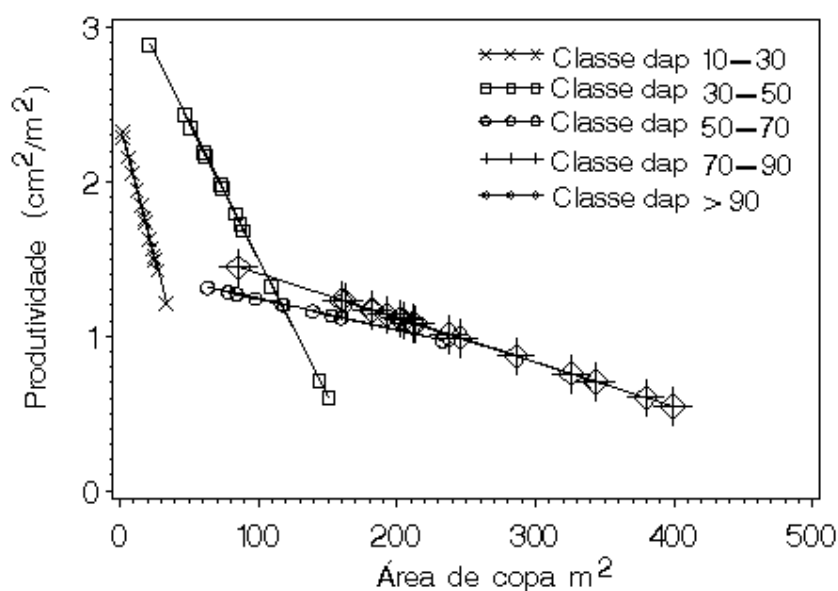
O efeito da classe de diâmetro sobre a eficiência da copa foi avaliado pela análise de covariância, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 – Análise de covariância para verificar diferenças em nível e inclinação da eficiência do crescimento periódico em área basal por classe de diâmetro em árvores cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Classe	4	4,2608	1,0651	2,83	0,0338
Acopa	1	3,6336	3,6336	9,65	0,0031
Acopa*Classe	4	4,8582	1,2145	3,22	0,0194
Erro	52	19,5848	0,3766		
Total	61	39,1114			

Sendo: FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, SQ = Soma de quadrados tipo III, QM = quadrado médio, Acopa = área de copa ( $m^2$ ).

Avaliando a soma de quadrados tipo III para a co-variável classe de diâmetro observa-se diferença na eficiência média de crescimento em área basal ( $Pr=0,0338$ ) quando considerada a variável área de copa no modelo máximo. O modelo indica também diferença no ângulo relacionado a eficiência do crescimento com a classe de diâmetro observado pela significância deste efeito na interação Acopa\*Classe ( $Pr=0,0194$ ). Os valores ajustados da produtividade obtidos pelo modelo máximo foram apresentados graficamente, conforme Figura 16.



**Figura 16 – Eficiência do incremento periódico em área basal  $cm^2$  (dap)/ $m^2$  (copa), entre os anos de 2005 e 2008, por classe de diâmetro em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

O modelo indicou diferença em nível de produtividade (Intercepto), detectando que a maior eficiência ocorre em árvores entre 30 e 50 cm ( $t= 0,0285$ ). De acordo com o estimador do intercepto, para essa classe de diâmetro, as árvores formam aproximadamente  $3,26 \text{ cm}^2$  de área basal para cada metro quadrado de área ocupada pela copa diminuindo a eficiência com o aumento do porte das árvores (aumento da área ocupada pela copa).

Por outro lado, na Tabela 5, observa-se que a produtividade estabilizou-se em aproximadamente  $2,2 \text{ cm}^2$  por metro quadrado de copa nas árvores da classe de diâmetro de 30 a 50 cm posicionadas em co-dominante, dominadas e suprimidas. Entretanto, nas árvores com posição sociológica dominante, a produtividade foi ligeiramente menor, com  $1,92 \text{ cm}^2$  para cada metro quadrado de área de copa.

Com esse mesmo objetivo, Baudoux *apud* Assmann (1970) observou notável redução da produtividade para árvores de *Pinus* escocês (*Pinus sylvestris*) de grandes diâmetros, indicando que a eficiência máxima ocorre em indivíduos de menores diâmetros (e menores tamanho da copa), não ocorrendo interação tanto para árvores co-dominantes como para dominadas.

**Tabela 5 – Valores médios da produtividade ( $\text{cm}^2$  de área basal/ $\text{m}^2$  de área de copa) por classe de diâmetro e posição sociológica em árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Classe dap (cm)	Posição sociológica			
	Dominante	Co-dominante	Dominada	Suprimida
10-30	-	1,59	1,36	2,75
30-50	1,92	2,21	2,15	2,20
50-70	0,96	1,30	1,64	1,79
70-90	0,88	1,27	-	-
>90	0,54	0,78	-	-

Ocorreu correlação significativa entre o crescimento periódico em área basal e o formal de copa, sendo que é maior à medida que aumenta o diâmetro de copa ( $r=0,366$ ;  $Pr<0,0034$ ).

O grau de esbeltez também demonstra correlação significativa ( $r=-0,647$ ;  $Pr<0,0001$ ). Dessa forma, árvores de menor grau de esbeltez apresentam maior incremento em área basal, já que, para uma mesma altura, as árvores mais grossas têm maiores chances de estarem no dossel florestal.

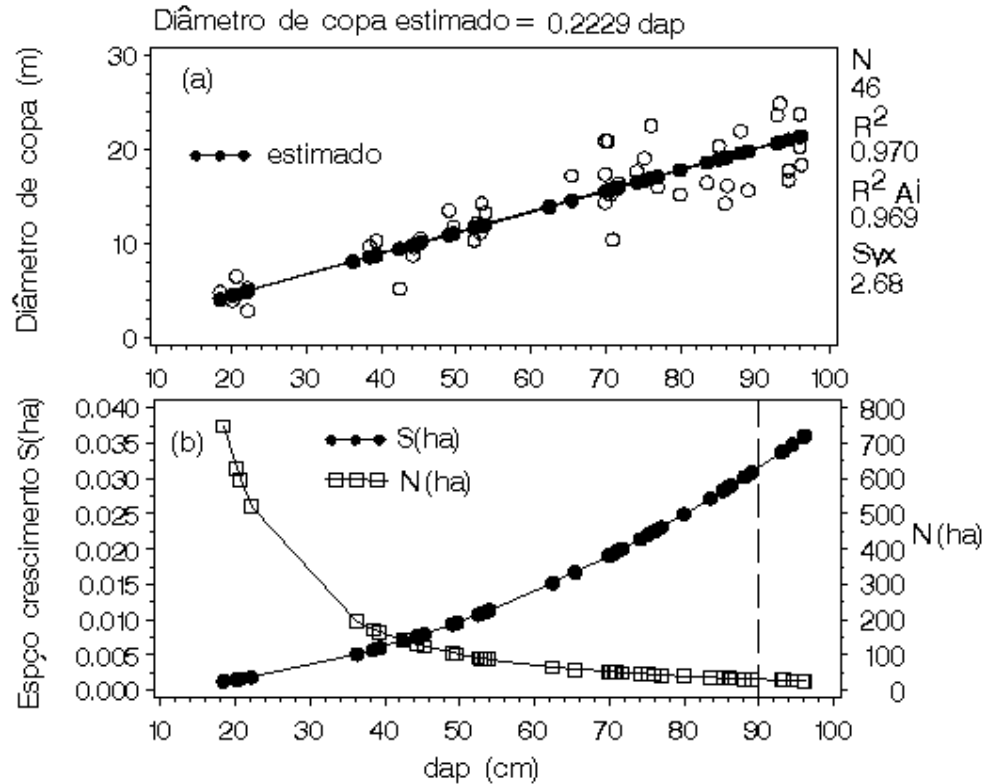
O índice de abrangência indicou que o aumento do espaço proporciona um aumento do incremento em área basal ( $r=0,592$ ;  $Pr<0,0001$ ). Esse resultado é consistente, já que a magnitude do índice é influenciada pelo aumento do diâmetro da copa.

O índice de saliência demonstrou ser não significativo quando relacionado com o crescimento periódico em área basal ( $r=-0,055$ ;  $Pr=0,6688$ ). Por outro lado, esse índice indica que o diâmetro das copas do cedro foi, em média, 23 vezes maior que o dap ( $CV = 21,1\%$ ,  $n=62$ ), variando entre 12 e 35 vezes. Índices de saliência entre 14 e 28 foram observados em floresta tropical (DAWKINS, 1963) e em floresta temperada em árvores de cedro (*Cedrela fissilis*) por Durlo, (1996). Wadsworth (2000) obteve resultados semelhantes com valores entre 15 e 20 vezes para indivíduos com maior crescimento, e valores maiores do que 25 para indivíduos de baixo crescimento.

Após o ajuste do diâmetro de copa em função do diâmetro à altura do peito (FIGURA 17a) é possível deduzir, por exemplo, que uma árvore dominante com dap de 90 cm requer um espaço de crescimento de  $310 \text{ m}^2$  (0,031 ha), conforme se observa na Figura 17b.

Nesse sentido, Foli et al., (2003) associaram o diâmetro de copa com o dap para cinco espécies tropicais em Ghana e determinaram que seria necessária uma área de  $200 \text{ m}^2$  (0,020 ha) para indivíduos de 90 cm de dap crescer.

Também Philip (1994) expressou a densidade populacional pelo inverso do espaço de crescimento. Com esse mesmo raciocínio, no presente estudo, verificou-se que 32 árvores dominantes com dap de 90 cm poderiam ser estocadas em um hectare de floresta, considerando uma plantação pura de árvores de cedro (FIGURA 17b).



**Figura 17 – Relação entre o diâmetro de copa (a) e o espaço de crescimento (b) em função do dap em árvores dominantes e co-dominantes de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

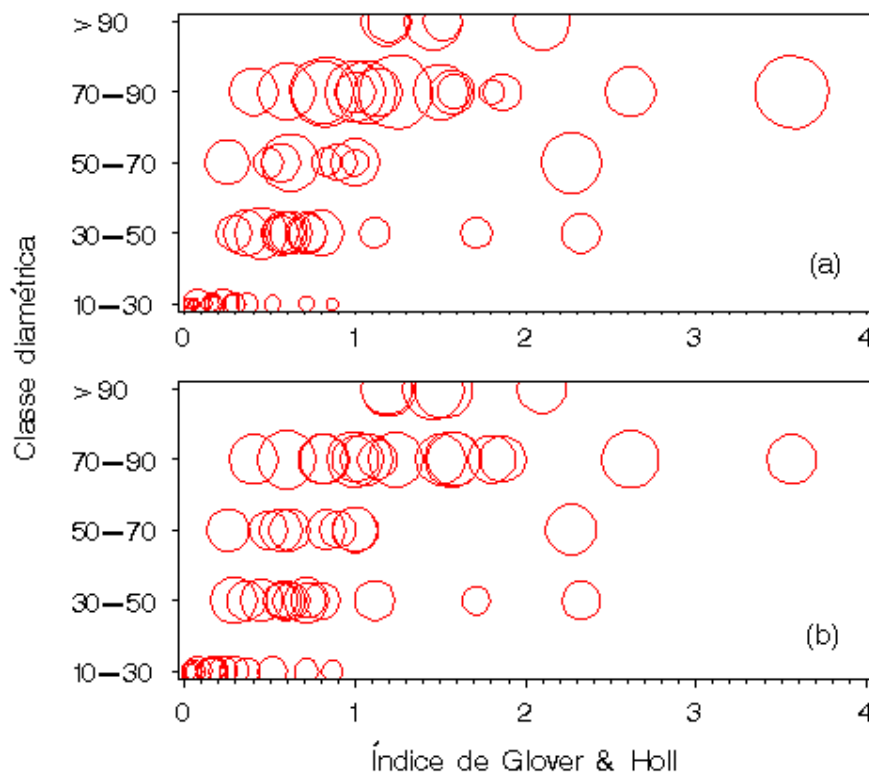
Essa relação alométrica é prática e significativa desde que o diâmetro de copa possa ser facilmente estimado pela simples medição do dap (FOLI et al., 2003), demonstrando a possibilidade de definir critérios para a densidade populacional em número de árvores, sendo de grande utilidade em práticas silviculturais. Entretanto, a espécie é fortemente atacada pela broca causada pela *Hypsiphylia grandella* Zeller, dificultando ou impedindo o estabelecimento de povoamentos puros de cedro.

### 4.3 Influência da competição sobre o crescimento em diâmetro

#### 4.3.1 Índice de Glover e Holl

O índice de Glover e Holl calculado para expressar o efeito das árvores competidoras foi altamente significativo para o incremento em área basal ( $r=0,401$ ;  $Pr=0,0013$ ). Esse índice indicou alto grau de competição para a árvore SP6 ( $I_{GH}=0,02$ ) e pouca ou nenhuma competição sofrida para a árvore 1627 ( $I_{GH} = 3,56$ ), sendo que o valor médio obtido para as árvores de cedro amostradas foi de 0,96. Esse valor indica que as árvores de cedro encontram-se sob alto grau de competição e que seu crescimento está sendo influenciado por árvores vizinhas.

Na Figura 18, foi registrada a influência do grau de competição de Glover e Holl sobre o incremento periódico em área basal (a) e sobre a dimensão da copa (b) por classe de diâmetro em cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.



**Figura 18 – Influência do grau de competição de Glover e Holl sobre o incremento periódico em área basal (a) e na dimensão da copa (b) por classe de diâmetro em cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**



Na Figura 18, o diâmetro de cada círculo demonstra como o incremento em área basal (a) e o diâmetro da copa (b) é influenciado pela competição medida por Glover e Holl, desde que círculos grandes representam baixo grau de competição.

Nas menores classes de diâmetro (classe 10 a 30 cm) esse índice de competição tem forte influência na dimensão da copa reduzido-a a poucos metros quadrados, o qual é refletido diretamente sobre o incremento em área basal sendo oito vezes menor do que o obtido nas maiores classes de diâmetro. Naturalmente, o diâmetro de copa é menor em árvores menores, entretanto, observa-se que também uma redução nas maiores classes de diâmetro, atribuindo-se tal efeito à concorrência sofrida pela árvore.

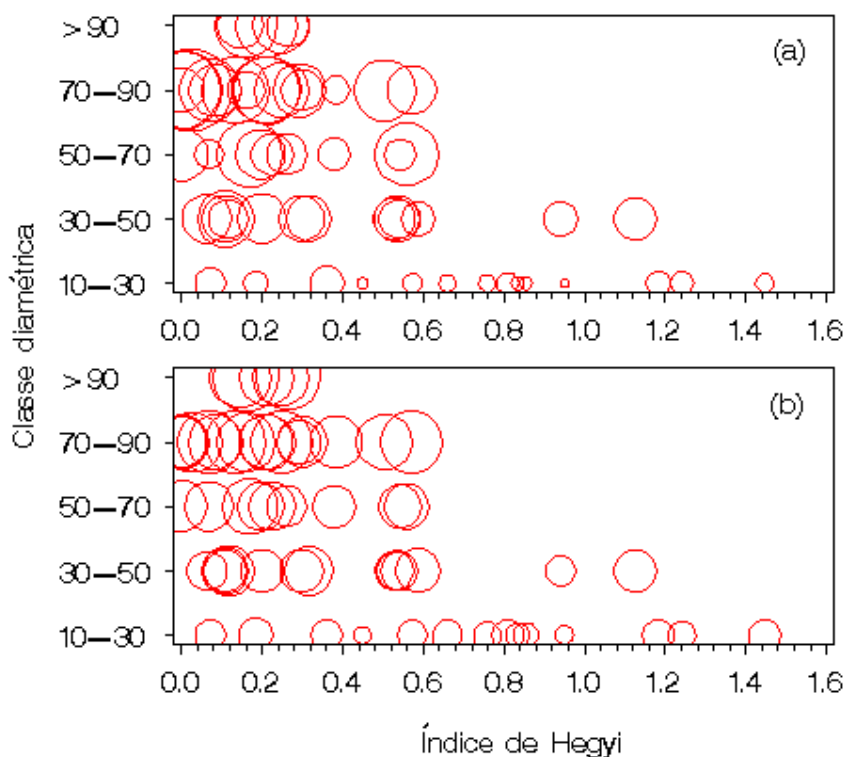
#### 4.3.2 Índice BAL

Não houve correlação significativa entre o crescimento em área basal e a competição estimada pelo índice de BAL modificado. Esse índice considera competidoras as árvores de maior diâmetro que a árvore de cedro e, nesse caso, não teve capacidade para explicar a variação no crescimento, possivelmente devido ao fato de que árvores mais grossas não exercem competição suficiente para interferir sobre o crescimento do cedro. Os valores encontrados para o índice variaram de zero (0), indicando nenhuma competição, até valores de 4,26, assinalando alto grau de competição.

#### 4.3.3 Índice de Hegyi

O crescimento em área basal também foi influenciado pela concorrência medida por Hegyi ( $r = -0,570$ ;  $Pr < 0,0001$ ). O maior grau de competição determinado foi para a árvore SP2, equivalente a 1,45. Esse valor diminuiu à medida que aumentou o porte das árvores, dentro da floresta, até o ponto em que ocorreu pouca ou nenhuma competição a uma altura total média acima de 30 m.

O índice indica que em média, as árvores estão sob competição (0,39) em maior intensidade nas menores classes de diâmetro, conforme mostra a Figura 19.



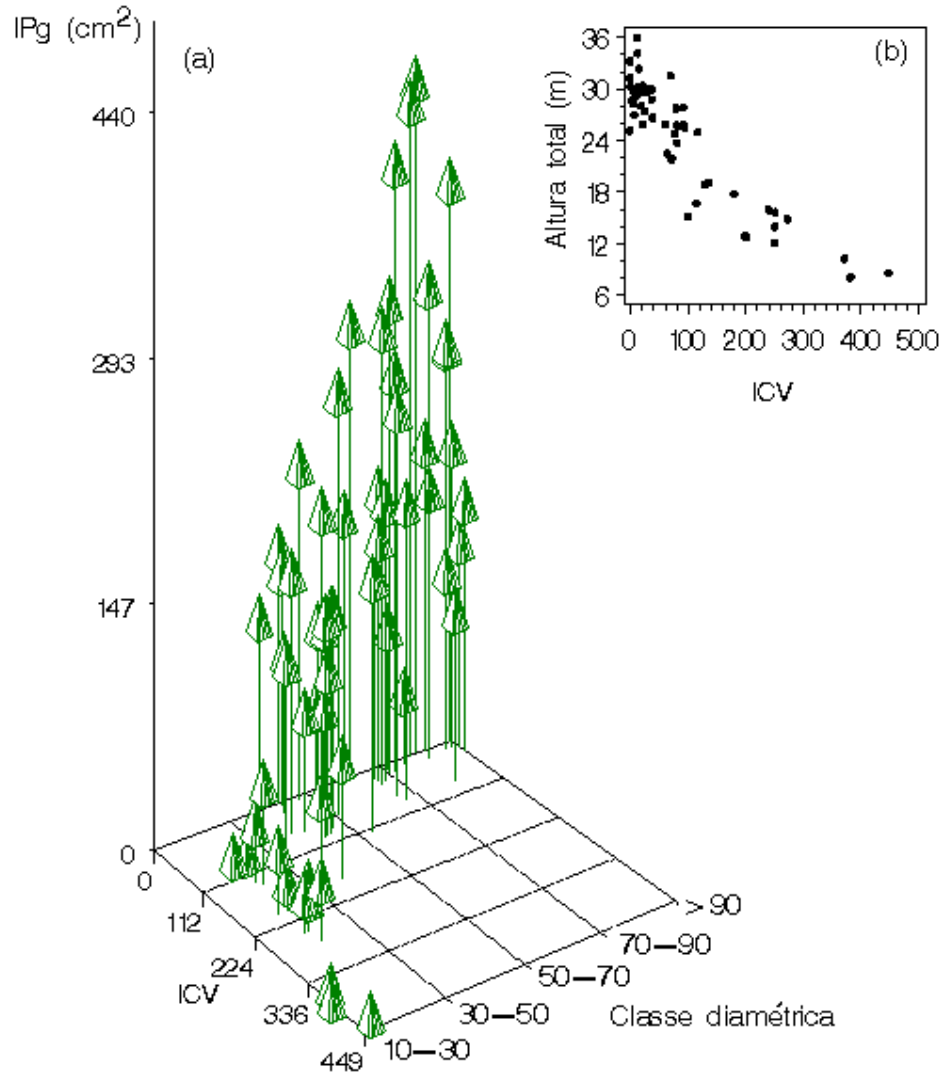
**Figura 19 – Influência do grau de competição de Hegyi sobre o incremento periódico em área basal (a) e na dimensão da copa (b) por classe diamétrica em árvores de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

#### 4.3.4 Índice de competição vertical

Esse índice, que avalia a competição vertical por luz, mostrou correlação significativa com o crescimento em área basal ( $r=-0,651$ ;  $Pr<0,0001$ ). Os resultados mostraram que existem árvores livres de competição por luz solar ( $ICV = 0$ ), bem como existem árvores com alto grau de supressão ( $ICV = 448,5$ ) observado em indivíduos de menor porte (dap e altura).

Essa forma de medição da concorrência explica bem a variação do crescimento em área basal, como registrado na Figura 20a. Nesta, observou-se que

a zona de maior competição por luz coincidiu com as menores taxas de crescimento decorrentes da má posição sociológica da copa.



**Figura 20 – Efeito da competição por luz sobre o crescimento em área basal por classe de diâmetro para árvores de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Na figura acima se observa que com o aumento do dap e da altura a competição vertical diminui, conforme registrado nas Figuras 20a e 20b.

Na figura 20a e 20b observa-se que quanto mais grossas e altas as árvores, menor foi índice de competição vertical e seu respectivo efeito sobre o incremento em área basal.

A competição, além de influenciar o incremento, também interfere na geometria da copa. Este efeito (competição predominante, de acordo a Keddy, 1989) conferiu menor área de copa em uma árvore de cedro com altura de 36 metros e dap equivalente a 93 cm sofre supressão lateral na posição azimutal de 247° decorrente da proximidade de uma árvore de jatobá com altura de 40,3 metros e dap de 96,2 cm, representado na figura 21 juntamente com todos os indivíduos amostrados dentro da unidade amostral.

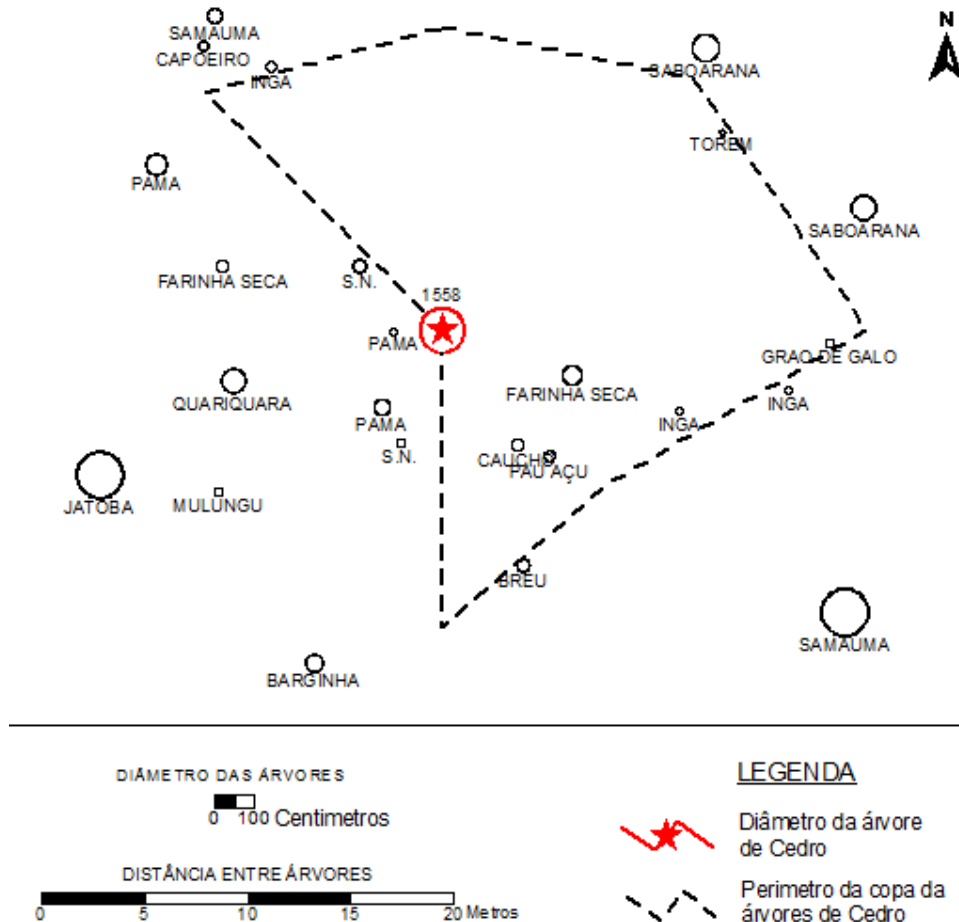


Figura 21 – Influência da competição exercida por árvores de jatobá sob a forma da copa de uma árvore de cedro (*C. odorata*) dentro da unidade amostral.

Entretanto, a competição calculada é considerada baixa se comparada com a sofrida por outros indivíduos, porém, a figura ilustra que, mesmo sob baixa competição não é esperado uma copa com raios semelhante (copa circular).

Em geral, a competição estimada revelou forte influência sobre o crescimento em área basal das árvores dentro da floresta. Observou-se que dentre as espécies registradas com maior frequência exercendo competição, encontram-se a sumaúma (*Ceiba petandra* (L.) P. Gaertner) e o jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). A característica principal das duas espécies é o caráter avantajado (grande porte), principalmente da copa, conferindo características de árvores emergentes, causando a supressão lateral ou de toda a copa do cedro.

#### **4.4 Modelo de crescimento periódico em área basal**

Para a construção do modelo de incremento da área basal, 222 variáveis foram analisadas incluindo interações com variáveis *Dummy*.

Durante a modelagem, verificou-se a necessidade de transformação da variável dependente, elevando-a a uma potência igual a 0,23, determinada mediante o teste de Box Cox. Com isso todos os testes de condicionantes foram não significativos, indicando que a transformação da variável dependente foi decisiva para contornar os efeitos adversos da Heterocedasticidade, falta de ajuste da distribuição normal, bem como a Autocorrelação para os resíduos positivos e negativos.

Como resultado, o modelo gerado foi denominado de função operacional, pois resultou de uma simplificação, incluindo variáveis de tamanho da árvore, bem como índices de competição e interações com variáveis *Dummy*, conforme mostrado na função abaixo:

$$IP_g^{0,23} = f(h, relhd, D5l, D6formal, Hegyi, D1Glover, D3Hegyi, D6ICV)$$

sendo:

$IP_g^{0,23}$	Incremento periódico em área basal transformado;
$h$	Altura total (m);
$Gesb$	Grau de esbeltez;
$Hegyi$	Índice de competição de Hegyi;
$D1Glover$	Índice de competição de Glover e Holl significativa somente para as árvores de classe diamétrica entre 10 e 30 cm;
$D3Hegyi$	Índice de competição de Hegyi significativa somente para as árvores de classe diamétrica entre 50 e 70 cm;
$D6ICV$	Índice de competição vertical significativa somente para as árvores dominantes;
$D5l$	Comprimento de copa sendo significativa somente para as árvores de classe diamétrica maior que 90 cm;
$D6formal$	Índice morfométrico formal de copa sendo significativa somente para as árvores dominantes.

Todas variáveis predictoras tiveram alto grau de significância para o estimador. A maior parte da variação explicada pelo modelo operacional decorre dos fatores de tamanho da árvore (altura total, grau de esbeltez, comprimento e formal de copa), que contribuem com 87,2% (coeficiente de determinação parcial).

A maior parte das variáveis que expressam a morfometria da árvore esteve associada à copa, indicando ser um referencial para uso na predição do crescimento e, dessa forma, obter maior precisão e confiança dos modelos estatísticos.

A competição explicou 6,6% da variação no incremento em área basal. Apesar do baixo valor, este efeito é importante, pois de alguma forma atua como regulador do tamanho das árvores de forma direta e indireta já que a morfometria atual das árvores nada mais é que um reflexo deste efeito.

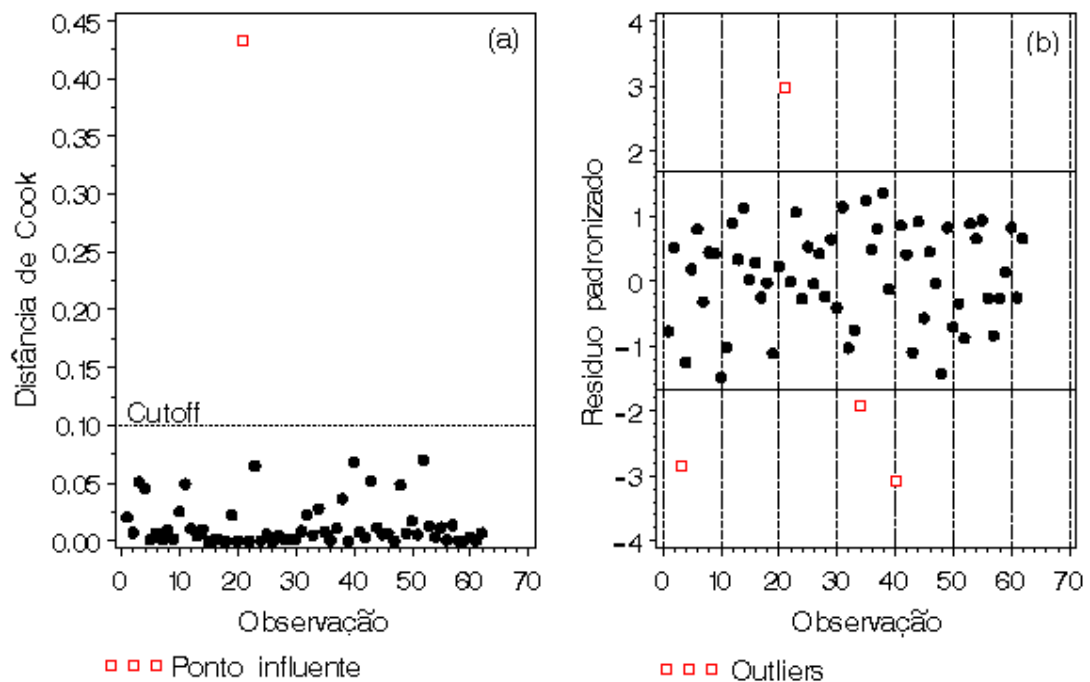
Em pesquisa para a modelagem da área basal de 26 espécies na Áustria, Monserud e Sterba (1996) utilizaram variáveis de tamanho, competição e de sítio (topografia, tipo de solo, etc.) e determinaram que as variáveis de tamanho (raio e diâmetro de copa) incluídas no modelo ajustado, contribuíram em maior grau para explicar a variação do incremento em área basal (35,9%). O seguinte grupo de

variáveis mais importantes foi oriundo da competição (9,8%) seguido do grupo de variáveis derivadas do sítio (1,3%) para espécies folhosas.

Sobre isso, Foli (1993) salienta que o uso de índices de competição em modelos de crescimento tem ganhado amplo destaque recentemente na modelagem do crescimento em floresta tropical.

Nenhuma das variáveis preditoras selecionadas pela modelagem apresentou valores de VIF (Variance Inflation Factor) maiores do que 10 indicando ausência de inflação na variância de seus estimadores. Portanto, não houve problemas de colinearidade entre as variáveis preditoras da função operacional.

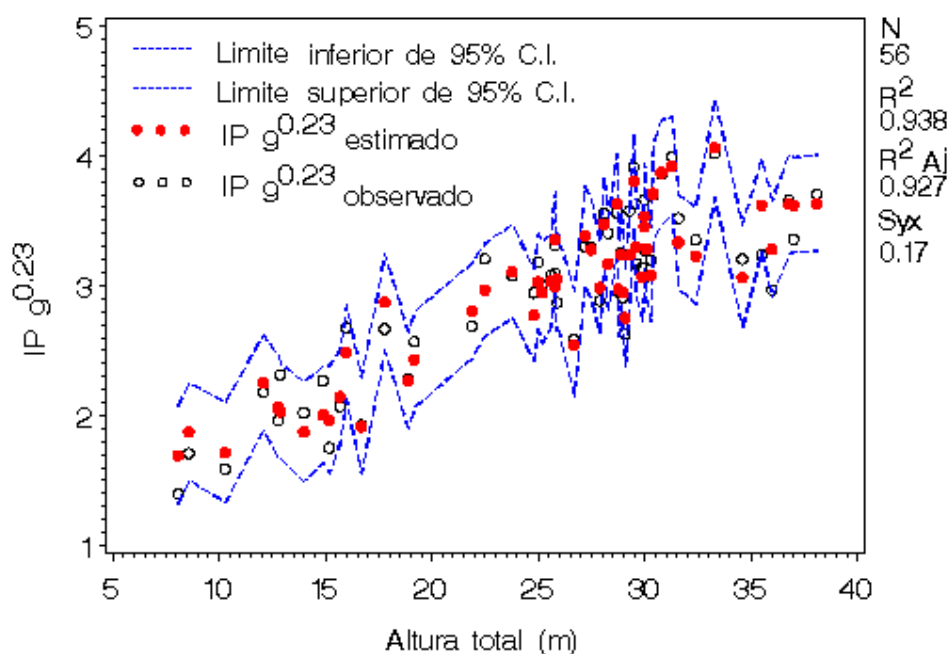
Na Figura 22, foram apresentados gráficos de diagnóstico para o modelo operacional. Neste observa-se a presença de um ponto influente medido pela distância de Cook (a) bem como valores estranhos “outliers” dentro da área de rejeição para gráfico de resíduos padronizados (b) formada com o valor crítico de  $t$  em  $\pm 1,67$  para 62 graus de liberdade utilizando distribuição  $t$  de *Student*.



**Figura 22 – Diagnóstico de pontos influentes de Cook (a) e resíduos padronizados (b) da função operacional para o incremento em área basal do cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

Procedeu-se ao reajuste do modelo operacional eliminando os *outliers* e o ponto influente obtendo-se um modelo ideal com significativo aumento do ajuste e significância para todas as variáveis predictoras. O modelo estatístico, assim recalculado, para o crescimento da área basal ( $IP_g^{0,23}$ ) é descrito pela equação apresentada a seguir e representado em função da altura total na Figura 23.

$$IP_g^{0,23} = 3,2013 + 0,0304.h - 1,5035.Gesb - 0,2956.Hegyi - 0,4955.D1Glover - 0,9961.D3Hegyi - 0,0106.D6ICV - 0,0277.D5l + 0,3037.D6formal$$



**Figura 23 – Comportamento do incremento em área basal, entre os anos de 2005 e 2008, transformado em função da altura total em árvores cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

A equação teve alto valor de ajuste seguido por um baixo erro relativo ( $R_{aj}^2=0,927$ ; CV% = 5,8%), indicando grande confiabilidade para sua utilização (boa abrangência dos pontos observados pelos pontos estimados), já que, nesse tipo florestal, ocorre uma grande variação nas dimensões das árvores.

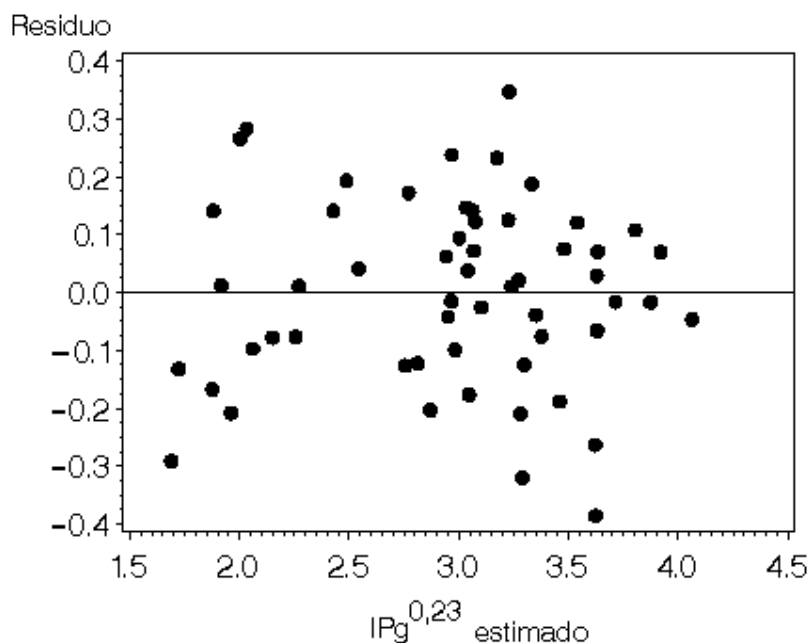
As variáveis predictoras de competição apresentaram coeficiente de regressão negativo. O resultado foi consistente, já que as árvores submetidas a um maior grau de competição, avaliado pelos índices, possuíam menor incremento.



O efeito negativo da competição no crescimento das árvores é confirmado por vários estudos de crescimento em árvores (WYKOFF, 1990; HOLMES; REED, 1991; QUICKE et al., 1994; BIGING; DOBBERTIN, 1995; HASENAUER; MONSERUD, 1996; MONSERUD; STERBA, 1996; STERBA et al., 2002) em que o incremento diminui com o aumento da competição.

Assim, justifica-se o coeficiente positivo para a variável formal de copa pelo fato de as árvores terem crescido mais na medida em que aumentou a relação entre o diâmetro e o comprimento de copa, sendo este potencializado num status social dominante descrito pela interação da variável *Dummy* D6.

O gráfico de resíduos (FIGURA 24) mostra a dispersão dos erros em função do incremento transformado para o expoente 0,23. Observa-se uma distribuição aleatória sem a formação de um padrão, demonstrando um bom desempenho da equação. Além disso, o teste de Durbin-Watson revelou não haver indícios de correlação entre os erros ( $DW=1,88$ ) positivos ( $Pr < DW=0,2755$ ) e negativos ( $Pr > DW=0,7245$ ), indicando ausência de Autocorrelação residual. Ademais, houve não significância para os testes de normalidade ( $Pr=0,5013$ ) e variâncias homogêneas ( $Pr > \chi^2=0,6813$ ).



**Figura 24 – Distribuição residual da equação ajustada para o incremento periódico em área basal transformado em árvores de cedro (*C. odorata*), em Porto Acre, AC.**

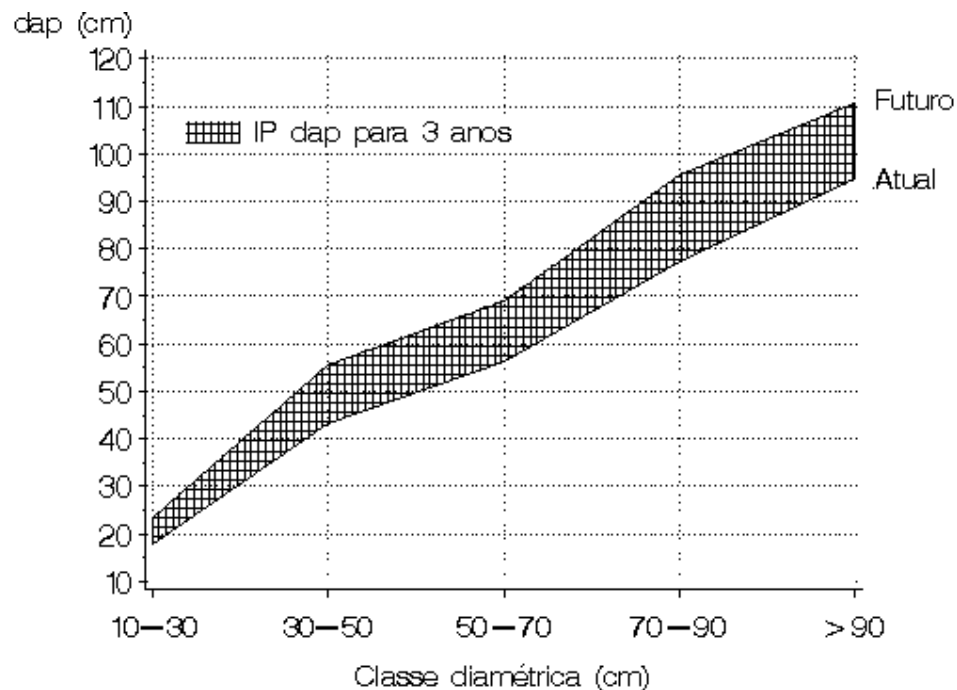
Partindo do incremento periódico em área basal estimado, é possível obter o diâmetro à altura do peito (dap), por meio da medição do dap atual, aplicando a fórmula abaixo:

$$IP_g = \frac{\pi}{4} \times (d_{fut}^2 - d_{atual}^2) \implies \left(\frac{4 IP_g}{\pi}\right) = d_{fut}^2 - d_{atual}^2$$

$$d_{fut}^2 = d_{atual}^2 + \left(\frac{4 IP_g}{\pi}\right) \implies d_{fut} = \sqrt{d_{atual}^2 + \left(\frac{4 IP_g}{\pi}\right)}$$

Sendo:  $d_{fut}$  = diâmetro à altura do peito para os próximos três anos (cm);  $d_{atual}$  = diâmetro à altura do peito atual (cm);  $IP_g$  = incremento periódico em área basal para os próximos três anos (cm<sup>2</sup>).

Desta forma, a Figura 25 demonstra o desempenho do incremento periódico em diâmetro à altura do peito para os próximos três anos.



**Figura 25 – Incremento periódico em diâmetro à altura do peito (dap) para os próximos três anos em árvores cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, Acre.**

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na presente investigação realizada em árvores de cedro (*C. odorata*) da floresta amazônica, em Porto Acre, Acre permitem chegar a algumas conclusões.

A primeira delas é que existe diferença significativa do crescimento em área basal entre as classes de diâmetro, tendo ocorrido maiores taxas na classe de 70 a 90 cm de dap e as menores em árvores de menor porte (10 a 30 cm), onde ocorreu maior variação do crescimento, proporcionada, possivelmente, pela má posição sociológica e pela presença de lianas na copa.

Além disso, os índices morfométricos – grau de esbeltez, índice de abrangência e formal de copa - estão significativamente correlacionados com o crescimento periódico em área basal.

A terceira conclusão é a de que o status competitivo, medido pelo índice de Hegyi, Glover e Holl e de Competição Vertical (ICV), mostrou a influência negativa de árvores competidoras sobre o crescimento da área basal das árvores de cedro. Os valores médios calculados para os três índices indicam que as árvores amostradas encontram-se sob alta competição.

A quarta indica que a luz solar, descrita pela posição sociológica, é o fator decisivo que proporciona maiores taxas de crescimento periódico em área basal.

A equação do incremento periódico em área basal transformada a expoente 0,23 mostrou bom ajuste e precisão quando utilizada a altura total, grau de esbeltez, comprimento e peso da copa e os índices de competição de Hegyi, Glover e Holl e ICV como variáveis preditoras.

Outra constatação é a de que as variáveis independentes - altura total, grau de esbeltez, comprimento e peso da copa - explicam 87,2% da variação total do crescimento em área basal.

Por fim, pela análise de anéis de crescimento, utilizando técnicas dendrocronológicas, é possível quantificar o crescimento periódico em árvores de cedro, sendo uma ferramenta útil para a modelagem do crescimento florestal.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico - econômico**: recursos naturais e meio-ambiente; documento final. Rio Branco: SECTMA, 2000. 178 p.
- ALDER, D. **Estimación del volume forestal y predicción del redimiento**: con referencia especial a los trópicos. Roma: FAO: MONTES, 1980. 80 p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 1970. 506 p.
- BARNETT, J. R. Reactivation of the cambium in *Aesculus hippocastanum* L.: a transmission electron microscope study. **Annals of Botany**, v. 70, p. 169–177, 1992.
- BERLAGE, H.P. Over het verband tusschen de dikte der jaarringen van djatiboomen (*Tectona grandis* L.f.) en den regenval op Java. **Tectona**, v. 24, p. 939-953, 1931.
- BIGING, G.S.; DOBBERTIN, M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models. **Forest Science**, v. 41, p. 360–377, 1995.
- BORMANN, F. H.; BERLYN, G. **Age and growth rate of tropical trees**: New directions for research. New Haven: Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, 1981. (Bulletin no. 94).
- BREITSPRECHER, A.; BETHEL, J. Stem-growth periodicity of trees in a tropical wet forest of Costa Rica. **Ecology**, New York, v. 71, p. 1156-1164, 1990.
- BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. **Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia**: Su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB/IGEMA, Riberalta, 2003, 33 p.
- BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, Berlin, v. 89, p. 105-119, 2005.
- BRIFFA, K.R. et al. A 1400 year tree ring record of summer temperatures in Fennoscandia. **Nature**, v. 346, p. 434–439, 1990.
- BURGER, H. B. Zuwachs in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen. Mitt. Schweiz. Anst. f. forstl. Vers. **Wesen**, v. 21, p.147-176, 1939.

CATESSON, A. M. Cambial ultrastructure and biochemistry: changes in relation to vascular tissue differentiation and the seasonal cycle. **Journal of Plant Science**, v. 155, p. 251–261, 1994.

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S.; PRICE, B. **Regression analysis by examples** 3. ed. John Wiley & Sons, Inc 2000.

CLARK, D.A.; CLARK, D.B. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. **Ecological Applications**, New York, v. 9, p. 981–997, 1999.

COOK, R. D. Detection of influential observation in linear regression. **Technometrics**, Virginia, v. 19, p. 15-18, 1977.

COSTER, C. Z. Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresringbildung in den Tropen II. **Ann Jard Buitenzorg**, v. 38, p. 1-114, 1928.

CUNHA, R. M.; FIGUEIREIDO, E. O. **Plano de manejo florestal sustentável empresarial pleno**. GEOFLORA. 2008.

DANIELS, R. F.; BURKHART, H. E.; CLASON, T. R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal for Forest Research**, Ontario, v. 16, n. 6, p. 1230-1237, 1986.

DAWKINS, H. C. Crown diameters: their relationship to bole diameter in tropical trees. **Commonw. Forest Review**, v.42, p. 318-333, 1963.

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

DENNE, M. P. Temperature and tracheid development in *Pinus sylvestris* seedlings. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 22, p. 362–370, 1971.

DÉTIENNE, P. Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. **IAWA Journal**, Madison, v.10, p. 123-132, 1989.

DÜNISCH, O.; BAUCH, J.; GASPAROTTO, L. Cambial growth dynamics and formation of increment zones in the xylem of *Swietenia macrophylla* King., *Carapa guianensis* Aubl., and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae). **IAWA Journal**, Madison, v. 23, p. 101–119, 2002a.

DÜNISCH, O.; MONTOIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees-Structure and Function**, Berlin, v. 17, p. 244-250, 2003.

DURLO, M. A. **Zuwachsuntersuchungen und Einzelbaumwachstumsmodelle für *Cabralea glaberrima*, *Cedrela fissilis* und *Cordia trichotoma* in sekundären Laubmischwäldern Südbraziens**. 1996. 175 p. Dissertation - Universität für Bodenkultur, Wien.

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

ESBER, M. L. **Crescimento de *Cedrela fissilis* (Vellozo) Mart. como subsídio para o manejo florestal sustentado de florestas nativas no Estado do Rio Grande do Sul**. 2003, 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

FICHTLER, E. et al. Climatic signals in tree rings of *Burkea Africana* and *Pterocarpus angolensis* from semiarid forests in Namibia. **Trees-Structure and Function**, Berlin, v. 18, p. 442–451, 2004.

FINGER, C. A. G. Fundamentos da biometria Florestal, Santa Maria UFSM 1992, 269 p.

FOLI, E. G. **Crown dimensions and diameter growth of some tropical mixed forest trees in Ghana**. 1993. 185 p. M. Phil. Thesis. University of Aberdeen.

FOLI, E. G. et al. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species, **Forest Ecology and Management**, v. 173, p 79 – 88, 2003.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G. L., **Estatística aplicada**. São Paulo: Atlas, 1976. 273 p.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976.

HASENAUER, H.; MONSERUD, R. A. A crown ratio model for Austrain forests. **Forest Ecology and Management**, v. 84, p. 49–60, 1996.

HOLMES, M. J.; REED, D. D. Competition indices for mixed species Northern Hardwoods. **Forest Science**, v. 37, p. 1338– 1349, 1991.

HUGHES, M. K. et al. A preliminary reconstruction of rainfall in north-central China since A.D. 1600 from tree ring density and width. **Forestry**, v. 42, p. 88–99, 1994.

IBGE. **Projeto Zoneamento das Potencialidades Naturais da Amazônia Legal**, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, 1990, 210 p.

JULIAN, C. F.; PETER, K. A.; HUIQUAN, B. Stochastic structure and individual tree growth models. **Forest ecology and management**, v. 154, p. 261-276, 2001.

JOBIDON, R. Light threshold for optimal black spruce (*Picea mariana*) seedling growth and development under brush competition. **Canadian Journal of forest research**, Ontario, v. 24, p. 1629 – 1635, 1994.

KEDDY, A. P. **Competition**. London: population and community biology series Chapman & Hall, 1989. 202 p.

KIENAST, F.; SCHWEINGRUBER, F. H.; BRÄKER, O.; SCHÄR, E. Tree-ring studies on conifers along ecological gradients and the potential of single-year analyses. **Canadian Journal of forest research**, Ontario, v. 17, p. 683–696, 1987.

KING, D. A.; MAINDONALD, J. H. Tree architecture in relation to leaf dimensions and tree stature in temperate and tropical rain forests. **Journal of Ecology**, London, v. 87, p. 1012–1024, 1999.

KIVISTE, A. K. **Mathematical Functions of Forest Growth**. Estonian Agricultural Academy, Tartu, 1988. 108 p.

LANG, G. E.; KNIGHT, D. H. Tree growth, mortality, recruitment, and canopy gap formation during a 10 year period in a tropical moist forest. **Ecology**, New York, v. 64, p. 1075-1080, 1983.

LIEBERMAN, M.; LIEBERMAN, D. Simulation of growth curves from periodic increment data. **Ecology**, New York, v. 66, p. 632-635, 1985.

LOPES, S.C.F. **Modelação matemática da distribuição de diâmetros em povoamentos de pinheiro bravo**. 2001. 102 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Florestal) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

MARIAUX, A. Les Cernes Dans les Bois Tropicaux Africains, Nature et périodicité. **Bois et Forêts des Tropiques**. v.114, p. 23-37, juil./août, 1967.

MEER, P.J. E.; BONGERS, F. Formation and closure of canopy gaps in the rain forest at Nouragues, French Guiana. **Vegetatio**, v. 126, p. 167–179, 1996.

MEYER, W. H. Approach of Abnormally Stocked Stands of Douglas Fir to Normal Conditions. **Journal of Forestry**, Washington, v. 31, p. 400-406, 1933.

METCALF, C. J. E.; CLARK, J. S.; CLARK, D. A. Tree growth inference and prediction when the point of measurement changes: modeling around buttress in tropical forests. **Journal of Tropical Ecology**, Winchelsea, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2009.

MITSUMA, Y.; ITO, S.; TAKATA, K. Effects of competitive and cooperative interaction among neighboring trees on tree growth in a naturally regenerated even-aged *Larix sibirica* Stand in considering height stratification. **Journal of Forest Research**. v.7 p. 185-191, 2002.

MONSERUD, R.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even-and-uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and management**, v. 80, p. 57-80, 1996.

MOSTACEDO, B; JUSTINIANO, J.; TOLEDO, M.; FREDERICKSEN, T. **Guía dendrológica de espécies forestales de Bolívia**. Proyecto de manejo forestal sostenible. p. 247. 2001

NETER, J.; KUTNER, M.H.; NACHTSHEIM, C. J. **Applied linear regression models**. New York: McGraw – Hill, 1996, 713p.

- NOWACKI, G. J.; ABRAMS, M. D. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement origin oaks. **Ecological Monographs**, v. 67, p. 225–249, 1997.
- PACALA, S. W.; CANHAM, C. D.; SILANDER, J. A.; KOBE, R. K. Sampling growth as a function of resources in a north temperate forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ontario, v. 24, p. 2172-2183, 1994.
- PENNINGTON, R. T.; STYLES, B. T.; TAYLER, D. A. H. Meliaceae: **Flora Neotropica Monograph**, New York, v. 28, p. 472, 1981.
- PHILIP, M. S. **Measuring trees and forests**. CAB International, Oxford 310 p. 1994.
- POORTER, L.; BONGERS, F. **Ecology of tropical forests**. Wageningen Agricultural University, 1993. 223 p.
- PRODAN, M., et al. **Mensura Forestal**. San José: GTZ, 1997. 561 p.
- PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Tree ring research in *Tectona grandis* in northern Thailand. **IAWA Journal**, Madison, v. 16, p. 385-392, 1995.
- QUICKE, H.E.; MELDAHL, R.S.; KUSH, J.S. Basal area growth of individual trees: a model derived from a regional longleaf pine growth study. **Forest Science**, v. 40, p. 528–42, 1994.
- REICH, P.; BORCHET, R. Water stress and a tree phenology in a tropical dry forest in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, London, v. 72, p. 61-74, 1984.
- RICHARDS, F. J. A Flexible growth function for empirical use. **Journal experimental of Botany**, Oxford, v. 10, p. 290-300, 1959.
- SABOGAL, C. et al. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: Restrições e oportunidades**. CIFOR-IMAZON-EMBRAPA-FFT. 107 p. 2006.
- SAS/STAT. **User's guide** – release 9.1.3 edition. Cary N. C.: SAS Institute Inc. 2004.
- SCHNEIDER, P. R. et al. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2 ed Santa Maria; UFSM, CEPEF, 2009. 236p.
- SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria UFSM, 1993. 348p.
- SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA-FAEPE-DCF., 1998. 453 p.
- SILVA, J. N. M. et al. Growth and yield of a tropical rain in the Brazilian Amazon 13 years after logging, **Forest ecology and management**, v. 71, p. 267-274, 1995.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical Methods**, 8th ed. Iowa: Iowa State University Press, 1989. p. 247.



STERBA, H. Using permanent sampling of individual trees as source of information for forest management. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 2001, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2001, p.19-37.

STERBA, H.; BLAB, A.; KATZENSTEINER, K. Adapting an individual tree growth model for Norway Spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed species stands. **Forest Ecology and Management**, v. 159, p. 101–110, 2002.

SUPERINTENDENCIA FORESTAL **Potencial de los bosques naturales de Bolivia para producción forestal permanente**. Superintendencia Forestal, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 1999.

TIME SERIES ANALYSIS PROGRAM (TSAP). Heidelberg, 1996, Versão 3.0.

TOMÉ, M. Os modelos de Produção Florestal na Gestão de povoamentos Florestais. **Revista Agros**, v.8, p. 32–36, 1991.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa, 2007. p. 30.

UMEKI, K. Importance of crown position and morphological plasticity in competitive interaction in population of *Xanthium canadense*. **Annals of Botany**, v. 75, p. 259 – 265.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests**. Copenhagen: CAB International, 1994. 312 p.

VERISSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. **Pólos madeireiros do Estado do Pará**. Belém: IMAZON, 2003. 75 p.

WADSWORTH, F.H. **Producción forestal para América Tropical**. Washington: USDA, 2000, 602 p.

WELSCH, R. E.; KUH, E. **Linear regression diagnostics**: Technical report. Sloan School of Management, Cambridge-MA. p. 923-977, 1977

WORBES, M.; JUNK, W. J. Dating tropical trees by means of  $^{14}\text{C}$  from bomb tests. **Ecology**, New York, v.70, p.503-507, 1989.

WORBES, M.; KLINGE, H.; REVILLA, J. D.; MARTIUS, C. On the dynamics, floristic subdivision and geographical distribution of várzea forests in Central Amazonia. **Journal of Vegetation Science**, Washington, v. 3, p. 553-564, 1992.

WORBES, M. Annual growth rings, rainfall dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Forest Reserve Caparo in Venezuela. **Journal of Ecology**, London, v. 87, p. 391–403, 1999.

WYKOFF, W. R. A basal area increment model for individual conifers in northern Rocky mountains. **Forest Science**, v. 36, p. 1077– 1104, 1990.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, n. 3, p. 549 – 616, 1993.

**APÊNDICE 1 – Foto demonstrando a verrumagem na região acima do dap devido à presença de raiz tabular em uma árvore de cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**



**APÊNDICE 2 – Correlação de Pearson e a probabilidade entre o incremento periódico em área basal ( $IP_g$ ) entre 2005 e 2008 e variáveis dendrométricas, morfométricas e de competição em cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

<b>ij</b>	<b><math>IP_g</math> (cm)</b>
dap (cm)	0,710 <,0001
h (m)	0,663 <,0001
hc (m)	0,615 <,0001
Qcopa	0,031 0,8106
Pcopa	-0,573 <,0001
Fcopa	-0,175 0,1715
lcopa	-0,006 0,9637
Sfuste	0,166 0,1962
Rcopa	0,715 <,0001
Prcopa	0,661 <,0001
l	0,571 <,0001
Gesb	-0,646 <,0001
Sali	-0,055 0,6688
Forcopa	0,366 0,0034
Abrage	0,592 <,0001
Hegyi	-0,570 <,0001
Glover	0,400 0,0013
BAL	-0,177 0,1669
ICV	-0,620 <,0001

Sendo: dap = diâmetro à altura do peito (cm); h = altura total (m); hc = altura comercial (m); Qcopa= qualidade da copa; Pcopa = posição sociológica; Fcopa = forma da copa; lcopa = infestação por lianas na copa; Sfuste = sanidade do fuste; Rcopa = raio médio da copa (m); Prcopa = área de copa ( $m^2$ ); l = comprimento de copa (m); Gesb = grau de esbeltez; Sali = Índice de saliência; Forcopa = formal de copa; Abrage = Índice de abrangência; Hegyi = Índice de competição de Hegyi; Glover = Índice de competição de Glover; Bal = índice de competição de BAL; ICV = Índice de competição vertical.

**APÊNDICE 3 – Variáveis qualitativas e morfométricas das árvores amostra de Cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

n	d	Pcopa	Fcopa	Icopa	Sfuste	Rcopa	Prcopa	I	Gesb	Sali	Abrage	Forcopa
1	62,5	1	2	2	3	7,00	153,10	9,30	46,24	22,34	0,48	1,50
2	53,5	1	2	2	1	7,10	159,90	15,70	51,40	26,67	0,52	0,91
3	54,0	1	3	2	1	6,70	139,40	15,60	50,00	24,67	0,49	0,85
4	70,0	1	1	2	1	7,20	162,50	19,90	54,14	20,54	0,38	0,72
5	65,5	1	1	2	1	8,60	233,00	14,10	56,18	26,29	0,47	1,22
6	76,1	2	2	2	1	11,30	399,40	12,80	36,93	29,63	0,80	1,76
7	88,1	2	3	3	1	11,00	379,60	20,10	42,00	24,96	0,59	1,09
8	96,2	2	4	3	1	9,20	265,60	17,80	35,97	19,12	0,53	1,03
9	56,0	4	2	1	1	6,10	118,30	13,40	44,64	21,93	0,49	0,92
10	86,0	2	2	2	4	7,10	160,30	13,90	32,33	16,62	0,51	1,03
11	96,0	1	2	2	3	10,20	324,40	16,90	31,35	21,17	0,68	1,20
12	77,0	1	2	2	4	8,00	202,10	11,50	38,31	20,83	0,54	1,40
13	38,5	1	2	2	3	4,90	74,00	10,10	65,45	25,22	0,39	0,96
14	70,0	2	3	2	1	8,70	237,60	10,30	45,14	24,84	0,55	1,69
15	70,7	1	2	3	4	7,60	182,20	12,00	38,47	21,54	0,56	1,27
16	71,0	2	3	3	1	5,20	85,90	10,30	36,34	14,73	0,41	1,02
17	42,5	2	4	3	1	2,60	21,40	6,30	51,53	12,31	0,24	0,83
18	70,3	2	2	2	1	10,50	344,00	10,10	42,11	29,77	0,71	2,07
19	52,1	4	3	3	1	5,00	78,60	11,20	55,85	19,19	0,34	0,89
20	49,1	2	2	2	1	6,80	144,30	6,80	48,47	27,60	0,57	1,99
21	53,3	2	2	2	1	5,60	98,20	9,00	48,59	20,98	0,43	1,24
22	96,0	1	1	2	1	11,90	444,30	12,70	32,08	24,78	0,77	1,87
23	70,0	1	2	1	1	10,50	343,60	12,80	42,86	29,89	0,70	1,63
24	42,9	3	4	3	1	6,90	150,90	11,50	60,37	32,31	0,54	1,21
25	94,5	2	2	2	3	8,90	248,20	13,40	34,29	18,81	0,55	1,33
26	46,3	3	4	1	1	3,90	46,60	10,10	60,26	16,63	0,28	0,76
27	85,2	1	2	1	1	10,20	326,10	14,00	39,08	23,92	0,61	1,46
28	94,5	1	2	2	1	8,40	221,00	11,80	30,37	17,76	0,58	1,42
29	47,1	4	4	3	1	4,40	61,90	10,50	54,78	18,85	0,34	0,85
30	55,0	3	2	2	3	4,50	63,70	11,40	52,73	16,36	0,31	0,79
31	39,4	2	1	1	1	5,20	83,20	11,00	57,11	26,14	0,46	0,94
32	93,0	2	2	3	3	11,80	439,80	12,50	38,71	25,44	0,66	1,89
33	89,1	2	3	2	1	7,80	192,70	14,70	39,84	17,59	0,44	1,07
34	75,2	2	2	2	1	9,50	285,90	13,70	45,48	25,37	0,56	1,39
35	49,7	2	2	1	1	5,90	110,10	10,20	56,94	23,82	0,42	1,16
36	45,3	2	2	1	1	5,30	87,20	9,80	56,51	23,27	0,41	1,08
37	83,6	1	2	2	1	8,20	213,40	15,30	37,44	19,71	0,53	1,08
38	93,3	2	2	2	3	12,50	486,90	12,30	31,40	26,69	0,85	2,02
39	71,8	2	2	2	1	8,20	211,90	14,80	41,78	22,88	0,55	1,11
40	80,0	2	2	2	3	7,60	182,50	11,80	37,75	19,05	0,50	1,29
41	44,3	2	2	2	1	4,40	60,50	10,80	68,40	19,82	0,29	0,81

**APÊNDICE 3 – Tabela com variáveis de qualitativas e morfométricas das árvores amostra de Cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC. *Continuação.***

42	74,2	1	2	2	3	8,80	245,50	10,90	40,97	23,83	0,58	1,62
43	52,5	2	2	2	1	5,20	84,60	8,70	50,86	19,77	0,39	1,19
44	86,3	2	3	2	1	8,10	205,50	15,70	44,15	18,75	0,42	1,03
45	38,5	3	1	2	1	5,30	89,50	8,30	46,23	27,74	0,60	1,29
46	19,8	4	2	2	1	3,00	27,50	5,70	70,71	29,85	0,42	1,04
47	16,5	4	2	2	1	2,40	18,00	7,40	101,21	29,03	0,29	0,65
48	8,4	4	3	1	1	0,90	2,80	0,90	96,43	22,38	0,23	2,08
49	24,5	4	2	1	1	2,70	23,40	5,60	65,31	22,29	0,34	0,98
50	9,4	4	3	3	1	0,80	1,90	2,80	109,57	16,49	0,15	0,55
51	20,2	2	2	3	1	2,00	12,60	5,20	63,37	19,80	0,31	0,77
52	22,2	2	3	3	1	1,40	6,50	5,70	68,47	12,97	0,19	0,50
53	20,3	4	2	2	1	2,20	15,40	5,60	73,40	21,82	0,30	0,79
54	44,4	2	2	2	1	4,80	72,50	10,30	67,34	21,64	0,32	0,93
55	18,2	3	2	1	1	2,90	25,50	4,10	70,88	31,26	0,44	1,39
56	19,6	3	2	1	1	2,80	24,80	4,20	61,73	28,67	0,46	1,34
57	9,9	2	2	1	1	1,70	9,30	2,10	86,87	34,85	0,40	1,64
58	18,5	2	2	1	1	2,40	18,60	4,90	84,86	26,32	0,31	0,99
59	20,7	2	2	1	1	3,30	33,60	7,30	91,30	31,59	0,35	0,90
60	36,3	2	2	1	1	4,10	51,50	7,90	68,32	22,31	0,33	1,03
61	52,9	2	2	2	1	6,10	116,90	12,30	54,44	23,06	0,42	0,99
62	22,2	2	2	1	1	2,60	21,70	6,80	86,49	23,69	0,27	0,77

Sendo: Pcopa = posição sociológica; Fcopa = forma da copa; Icopa = infestação da copa por lianas; Sfuste = sanidade do fuste; Rcopa = raio médio da copa (m); Prcopa = área da copa (m<sup>2</sup>); l = comprimento da copa (m); Gesb = Grau de esbeltez; Sali = Índice de saliência; Abrage = Índice de abrangência; Forcopa = formal de copa.

**APÊNDICE 4 – Planilha de campo para o registro de variáveis dendrométricas.**

PROJETO CRESCIMENTO DO CEDRO																								
Responsável.....					Data:...../...../.....				Árvore de referência .....															
ÁRVORE N°	DAP (CM)	ALTURA TOTAL (M)	ALTURA COM (M)	QUALIDADE (A)	POSIÇÃO COPA (B)	FORMA COPA (C)	INFESTAÇÃO LIANA (D)	ESTADO SANITÁRIO		RAIOS DA COPA (METROS)														
								ÁRV (E)	FUSTE (F)	1	2	3	4	5	6	7	8							

- A) 1. BOA, 2. REGULAR, 3. MÁ
- B) 1. COMPLETA LUZ VERTICAL E LATERAL, 2. COMPLETA LUZ VERTICAL, 3. CERTA LUZ VERTICAL, 4. CERTA LUZ LATERAL, 5. SEM LUZ DIRETA
- C) 1. CIRCULO COMPLETO (PERFEITA), 2. CIRCULO IRREGULAR (BOA), 3. MEIO CIRCULO (TOLERAVEL), 4. MENOS DE MEIO CIRCULO (POBRE), 5. POUCOS RAMOS (MUITO POBRE)
- D) 1. LIVRE DE LIANA, 2. PRESENÇA NO FUSTE E COPA, 3. PRESENÇA NO FUSTE E COPA SEVERA
- E) **AS.** ÁRVORE SANA, **AE** ÁRVORES ESTRANGULADO POR LIANA, **AI.** ÁRVORE INCLINADA
- F) 1. FUSTE LIVRE DE ATAQUE, 2. FUSTE COM ATAQUE DE CUPINS, 3. FUSTE COM ATAQUE DE FUNGO, 4. FUSTE COM ATAQUE DE CUPINS E FUNGO



**ANEXO 1 – Mapa de exploração florestal da unidade de produção anual (UPA) da Fazenda Triângulo utilizado para coleta de dados de crescimento do cedro (*C. odorata*) em Porto Acre, AC.**

**Fonte: Cunha e Figueireido, (2008)**



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)