

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

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS,  
ANATÔMICAS E AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE  
FRUTOS E SEMENTES DE *Bertholletia excelsa*  
H.B.K.**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Guilherme Boeira Ivanov**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2011**

**INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS,  
ANATÔMICAS E AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FRUTOS  
E SEMENTES DE *Bertholletia excelsa* H.B.K**

**Guilherme Boeira Ivanov**

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. Dr. Frederico Dimas Fleig**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2011**

I93i Ivanov, Guilherme Boeira

Influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa* H.B.K. / por Guilherme Boeira Ivanov. . 2011.

92 f. : il. ; 31 cm

Orientador: Frederico Dimas Fleig.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011

1. Silvicultura 2. Produto Florestal Não Madeireiro - PFNM 3. Potencial Produtivo 4. Amazônia 5. Floresta Tropical 6. Área de Alburno I. Fleig, Frederico Dimas II. Título.

CDU 630.2(811.3)

Ficha catalográfica elaborada por Simone G. Maisonave – CRB 10/1733  
Biblioteca Central da UFSM

---

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Guilherme Boeira Ivanov. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rodovia TO 126 – Km 6, Bairro Grota do Meio, São Miguel do Tocantins, TO. CEP: 77925-000.

E-mail: [guilhermeflorestal@gmail.com](mailto:guilhermeflorestal@gmail.com)

---

**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

**Influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na  
produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa* H.B.K.**

elaborada por  
**Guilherme Boeira Ivanov**

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

COMISSÃO EXAMINADORA:



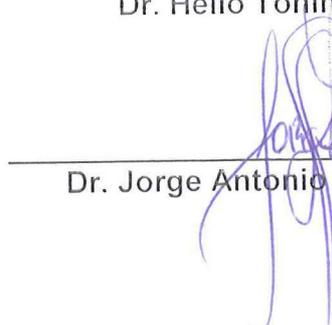
---

Dr. Frederico Dimas Fleig  
(Presidente/Orientador)



---

Dr. Helio Tonini (EMBRAPA)



---

Dr. Jorge Antonio de Farias (UFSM)

Santa Maria, 26 de novembro de 2011.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus pela vida e pela luz com que somos agraciados todos os dias.

A toda a minha família, em especial, aos meus pais, por sempre apoiarem e estimularem minhas decisões, ainda que, muitas vezes, eu saiba que elas não eram as que mais lhes agradavam, mesmo assim nunca me barraram ou negaram o apoio para que eu pudesse seguir em frente. Pelo porto seguro que são e pelas vezes que pude refugiar-me quando os mares da vida estavam revoltos. O meu maior agradecimento está por todas as “marretadas” nestes 26 anos de vida, graças a elas consegui forjar o meu caráter, não parar e alçar voos em todos os segmentos.

A toda a família Figueiredo, por ser minha segunda família na cidade de Santa Maria, por todos os conselhos, por todas as conversas, por todos os almoços, saibam que tenho por vocês a mais alta estima e uma dívida de gratidão eterna por estes oito anos de convivência em Santa Maria.

Ao Prof. Dr. e amigo Frederico Dimas Fleig, pela confiança em meu trabalho, pelo estímulo nas horas complicadas, pelas longas conversas que tivemos e pelos mates que compartilhamos. Levo para minha vida profissional o seu exemplo de dedicação e empenho com a Pesquisa e a Engenharia Florestal, sem dúvida, todos os anos que passamos, desde a graduação, foram fundamentais para que eu pudesse atingir a maturidade profissional.

Ao Dr. Helio Tonini, pela confiança em meu trabalho, pela abnegação com os dados que foram necessários para a execução deste trabalho, pela disposição de seu tempo, mesmo quando em férias em Santa Maria. Por todas as ideias que trocamos durante a época de estágio e de mestrado, com certeza, fizeram-me compreender parte da grandeza e da complexidade do Manejo Florestal de Florestas Nativas no norte do país.

Ao Prof. Dr. Paulo Renato Schneider e ao Prof. Dr. César Augusto Guimarães Finger, por sua disposição em fazer parte do comitê de orientação, e por todas as ideias que trocamos durante a convivência no Laboratório de Manejo Florestal, principalmente, por todas as contas que fizemos e refizemos buscando respostas, e também pelas risadas na hora do cafezinho.

A Universidade Federal de Santa Maria, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e a Madeireira Vale Verde, pela estrutura física e pessoal que dispuseram direta e indiretamente para a realização deste trabalho e que sem ela tornaria impossível a realização da pesquisa, a estas instituições o meu sincero agradecimento.

A todos os funcionários da Embrapa Roraima, em especial, aos funcionários Sr. Adebaldo Sampaio Teles, Sr. Jadir Roque de Oliveira, Sr. José de Anchieta Moreira da Costa e Sr. Taiguara dos Santos Pereira, por terem auxiliado diretamente nos trabalhos de coleta de campo. Agradeço também ao Eng. Florestal Tiago Monteiro Condé, que, da mesma forma, está na “estrada” do mestrado, pelas discussões que tivemos com os temas de manejo florestal no norte do Brasil, muitas ideias surgiram e outros conceitos foram fixados pelas nossas conversas na Embrapa.

Ao amigo Daniel Bampi Rosar e sua esposa Andréa Santiago por acolherem-me em sua casa durante toda a minha estadia no estado de Roraima, por todas as conversas que tivemos sobre a castanheira e por sempre cederem uma mesa para colocar todas as coletas que vinham do campo. Vocês, sem dúvida, foram a minha família no norte do país.

Ao amigo e Eng. Florestal Felipe Susin, pela convivência pacífica durante os anos de mestrado que compartilhamos moradia, por todas os diálogos que tivemos sobre os nossos trabalhos, pelas consultorias mútuas, pelas palavras de estímulo e desabafo quando as coisas pareciam insistir em não darem certo.

A todos os alunos e Engenheiros do Laboratório de Manejo Florestal, em especial, gostaria de citar alguns que foram fundamentais pela convivência e pelas conversas sobre este trabalho, são eles o Eng. Florestal Régis Villanova Longhi, Eng. Florestal Flavio Roberto Stefanello, Eng.<sup>a</sup> Florestal Veridiana Padoin Webber, Eng.<sup>a</sup> Florestal Lílian Pereira, Eng.<sup>a</sup> Florestal Tatiane Chassot, Eng. Florestal Thiago Augusto da Cunha, Eng.<sup>a</sup> Florestal Elisabete Vuaden, Eng. Florestal Evandro Alcir Meyer, Eng. Florestal Claudio Thomas e a aluna de graduação e futura Eng.<sup>a</sup> Florestal Ana Flávia Boeni, meu agradecimento pela convivência salutar, por todo o intercâmbio de experiências nos mais diversos temas florestais, aqui, fica a certeza de que meu trabalho leva um pouco de cada um de vocês, assim como os seus trabalhos levam um pouco de mim, nem que seja pelas minhas constantes brincadeiras.

Aos meus muito estimados amigos Eng. Mecânico Leonardo Monfardini Figueiredo, Eng. Eletricista Andrei Battistel, Eng.<sup>a</sup> Eletricista Adriane Dutra, Eng. Mecânico Matheus Bürger Rodrigues e aos que ainda estão por sair dos tortuosos, porém gratificantes, caminhos da Engenharia, Raphael Forgearini e Leandro Acosta, por todos os e-mails, churrascos, acampamentos e, principalmente, pelas longas e acaloradas discussões sobre meio-ambiente, política, tecnologia e futebol.

A Empresa Nobleinvest Atividades Rurais Ltda., na pessoa de seus proprietários, Ilmo. Sr. Ángel Sanchis Perales e Sra. Carmen Sanchis Herrero, pela confiança, flexibilidade e apoio para a conclusão deste trabalho.

Ao Diretor Geral da Empresa Nobleinvest Atividades Rurais Ltda., Sr. Alejandro Javier Picasso, e ao Técnico Agrícola Dario Ferreira Maciel meu agradecimento por todo o suporte dado para a execução de minhas obrigações na Empresa, sem este apoio não sobraria o tempo necessário para a conclusão deste trabalho.

Ao meu primo Yuri A. Ivanov, que, na etapa final do trabalho quando me encontrei acidentado, fez a gentileza de providenciar livros técnicos junto à biblioteca da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado pelo período de um ano e seis meses, que foi indispensável para que este estudo fosse realizado.

Por fim, o meu agradecimento a todas as pessoas que, ainda que não tenham sido nominadas, contribuíram com este trabalho diretamente com conversas, materiais e indicações e aqueles que indiretamente colaboraram, com um simples sorriso no rosto nas horas em que eu não encontrava a motivação necessária para seguir em frente. A todos vocês, o meu muito obrigado de coração.

“É muito difícil você conseguir  
vencer numa boa. Para vencer  
você tem que lutar”.

(Ayrton Senna)

## RESUMO

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

### **INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, ANATÔMICAS E AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FRUTOS E SEMENTES DE *Bertholletia excelsa* H.B.K.**

Autor: Guilherme Boeira Ivanov

Orientador: Frederico Dimas Fleig (UFSM)

Data e local da defesa: Santa Maria, 26 de novembro de 2011.

*Bertholletia excelsa* H.B.K. é uma espécie semidecídua, heliófila, característica da mata de terra firme e, normalmente emergente, da qual se coleta os frutos e as sementes para utilização na alimentação. Todavia, o conhecimento sobre os fatores que influenciam a produção de frutos e sementes das árvores é incipiente. Neste trabalho, buscou-se avaliar a influência da precipitação, do solo (textura, hidromorfia e profundidade), variáveis dendrométricas (diâmetro à altura do peito e na inserção da copa, afilamento, coeficiente de forma artificial e forma artificial), variáveis qualitativas (forma e posição de copa), competição, área de alburno e classes de tamanho e agrupamento dos vasos na produção de frutos e sementes da espécie. Observou-se que o número de frutos iguais gera produções de sementes em kg com diferenças significativas. A precipitação do mês de setembro demonstrou correlação positiva com a produção. Os solos profundos e de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa evidenciaram maior potencial produtivo que os rasos e de textura argilosa. Árvores com menor afilamento (mais cilíndricas) revelaram uma tendência a produzirem mais que árvores com maior afilamento (mais cônicas). Árvores com copa completa (circular ou irregular) assinalam mesmo potencial produtivo e, por sua vez, maior potencial que as que apresentam metade da copa. A máxima área de alburno esperada decresce exponencialmente com o aumento da competição. Árvores com área de alburno inferior a 0,030 m<sup>2</sup> não foram produtivas e as inferiores a 0,075 m<sup>2</sup> produzem sempre menos de 5 kg. Árvores que possuem vasos largos solitários são mais abundantes e apresentam uma tendência a produzirem menos que as de outras classes. O maior potencial produtivo é esperado para árvores crescendo e solos profundos de texturas franco-argilosa-arenosa ou argilo-arenosa, com copa completa, em áreas submetidas à competição pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ) inferior a 33, com área de alburno entre 0,29961 e 0,37450 m<sup>2</sup> e preferencialmente não apresentem vasos largos solitários. O modelo proposto para predição do peso fresco de sementes (kg) é:  $\text{Peso} = -11,16 + 0,103636 \cdot \text{PP}_{\text{Set}} + 11,699216 \cdot g_{\text{alb}}$  para solos de textura argilosa, em solos de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa há diferença de nível com acréscimo de 7,40 kg de sementes por árvore.

**Palavras-chave:** PFMN. Produto Florestal Não Madeireiro. Potencial Produtivo. Amazônia. Floresta Tropical. Área de Alburno.

## ABSTRACT

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

### INFLUENCE OF DENDROMETRIC, ANATOMIC AND ENVIRONMENTAL VARIABLES IN THE PRODUCTION OF FRUITS AND SEEDS OF BRAZILIAN NUT (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)

Author: Guilherme Boeira Ivanov

Advisor: Frederico Dimas Fleig (UFSM)

Date and Place of Defense: Santa Maria, November 26, 2011.

*Bertholletia excelsa* H.B.K. is a semi-deciduous species, heliophyle, characteristic of forest land and usually emerging, which collects on the fruits and seeds for use in feed. However, knowledge about the factors that influence the production of the trees is weak. This work aimed to evaluate the influence of rainfall, soil (texture, depth and hydromorphic) dendrometric variables (diameter at breast height and insertion of the crown, tapering, coefficient of taper artificially and taper artificially), qualitative variables (canopy shape and position), competition, sapwood area and size classes and grouping of vessels in the production of fruits and seeds of the species. It was observed that the same number of fruit generate seed yields in kg with significant differences. Rainfall for the month of September shows a positive correlation with the production. The deep soil and with texture sandy clay loam or sandy-clay have a higher yield potential than the shallow and clayey. Trees with less taper (more cylindrical) tended to produce more than trees with greater taper (more conical). Trees with full crowns (circular and irregular) have the same productive potential, and in turn greater potential than those who had half crown. The expected maximum sapwood area decreases exponentially with increasing competition. Trees with sapwood area less than 0.030 m<sup>2</sup> were not productive and less than 0,075 m<sup>2</sup> always produce less than 5 kg. Trees that have large solitary vessels are more abundant and have a tendency to produce less than those of other classes. The greatest production potential is expected to trees growing and deep soil, with texture sandy clay loam or clay-sandy, with complete canopies in areas subject to competition for *Bertholletia* index ( $I_B$ ) below 33, with sapwood area between 0.37450 and 0.29961 square meters and preferably not have large solitary vessels. The proposed model for prediction of seed fresh weight (kg) is  $Peso = -11.16 + 0.103636 \cdot PP_{Set} + 11.699216 \cdot g_{alb}$  in soils with texture clayey, in soils with texture sandy clay loam or sandy-clay are level difference with an increase of 7.40 kg of seeds per tree.

**Key-words:** NTFP. Non-Timber Forest Product. Productive Potential. Amazon. Tropical Forest. Sapwood Area.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do <i>Pipe model of tree form</i> , mostrando a sucessiva acumulação de vasos desusados no tronco associado com o progressivo crescimento da árvore (SHINOZAKI <i>et al.</i> , 1964a). .....	27
Figura 2 – Aspecto da atividade de abertura dos frutos e retirada da semente de uma árvore de <i>Bertholletia excelsa</i> , na Fazenda Pau-Rainha, município de Caracaraí, Roraima, Brasil. ....	32
Figura 3 – Visão obtida com o uso do Tele-Relaskop para medição do diâmetro em diferentes posições do tronco.....	35
Figura 4 – Classes de forma de copa, segundo a metodologia proposta por Dawkins (1963) adotadas para classificação de <i>Bertholletia excelsa</i> (Adaptado de GONÇALVES <i>et al.</i> , 2010). ....	38
Figura 5 – Classes de posição sociológica da copa, segundo a metodologia proposta por Dawkins (1963) adotadas para a classificação de <i>Bertholletia excelsa</i> (Adaptado de GONÇALVES <i>et al.</i> , 2010).....	39
Figura 6 – Aspecto da área de transição entre cerne e alburno em <i>Bertholletia excelsa</i> , aumentada 26 vezes, onde se observa, à esquerda, os vasos obstruídos na região do cerne e livres, à direita, na região do alburno.....	42
Figura 7 – Presença de máculas na madeira de <i>Bertholletia excelsa</i> , as setas pretas, à direita, indicam três linhas de máculas na madeira.....	44
Figura 8 – Classificação da largura dos vasos, imagens com mesmo tamanho, aumentada 26 vezes. A) Pequenos; B) Médios; C) Grandes.....	45
Figura 9 – Classificação do agrupamento predominante dos vasos, imagens com mesmo tamanho, aumentada 26 vezes. A) Solitários; B) Múltiplos.....	45
Figura 10 – Desenho esquemático das considerações acerca do tamanho de copa em relação ao tamanho da parcela, demonstrando que duas árvores com mesmo tamanho de copa tocam-se quando a distância entre elas é igual ao diâmetro de copa.....	47
Figura 11 – Decréscimo do coeficiente de variação (%) com o aumento do raio da parcela (m). ....	47

Figura 12 – Desenho esquemático da parcela circular com raio de 18 metros utilizada para a determinação do Índice de <i>Bertholletia</i> para a árvore g <sub>1</sub> , evidenciando-se a inclusão de nove árvores de <i>Bertholletia excelsa</i> e a exclusão das árvores de outras espécies.....	48
Figura 13 – Retas ajustadas pelo modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> em função dos atributos do solo e precipitação. ....	61
Figura 14 – Área de alburno (m <sup>2</sup> ) e relação à competição descrita pelo Índice de <i>Bertholletia</i> (I <sub>B</sub> ), Caracaraí, Roraima. ....	66
Figura 15 – Peso fresco de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> por área do alburno no período de 2006 a 2010, Caracaraí, Roraima. ....	68
Figura 16 – Classes de vasos, imagens com mesmo tamanho e aumento de 26 vezes. A) Vasos estreitos solitários; B) Vasos estreitos múltiplos; C) Vasos largos solitários; D) Vasos largos múltiplos.....	74
Figura 17 – Diagrama do potencial da produção de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em função do Índice de <i>Bertholletia</i> (I <sub>B</sub> ), para precipitação de 94 e 182 mm em solos de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa e de textura argilosa, Caracaraí, Roraima.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados dendrométricos para os diferentes locais e parcelas permanentes de <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	30
Tabela 2 – Número de árvores amostradas e porcentagem de amostragem em relação às árvores de <i>Bertholletia excelsa</i> constantes nas parcelas permanentes, Caracaraí, Roraima. ....	31
Tabela 3 – Período de monitoramento e tempo em anos da produção de frutos e sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> , em diferentes locais e parcelas, Caracaraí, Roraima. ....	33
Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso fresco de sementes (kg) de <i>Bertholletia excelsa</i> e diferentes períodos de precipitação, nos anos de 2006 a 2010, Caracaraí, Roraima. ....	55
Tabela 5 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de <i>Bertholletia excelsa</i> em diferentes anos de produção (2009-2010), Fazenda Mundo Novo, Caracaraí, Roraima. ....	56
Tabela 6 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de <i>Bertholletia excelsa</i> em diferentes anos de produção (2007-2010), Fazenda Pau-Rainha, Caracaraí, Roraima. ....	56
Tabela 7 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de <i>Bertholletia excelsa</i> para Fazenda Mundo Novo e Fazenda Pau-Rainha, no ano de 2009, Caracaraí, Roraima. ....	57
Tabela 8 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de <i>Bertholletia excelsa</i> para Fazenda Mundo Novo e Fazenda Pau-Rainha, no ano de 2010, Caracaraí, Roraima. ....	57
Tabela 9 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de semente de <i>Bertholletia excelsa</i> em relação a variáveis de solo, nos diferentes passos de modelagem. ....	59
Tabela 10 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação a atributos do solo e precipitação. ....	60

Tabela 11 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação a atributos do solo e precipitação.....	60
Tabela 12 – Teste t para amostras independentes para peso médio de sementes por tipo (branca ou vermelha) de <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	62
Tabela 13 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> e diferentes variáveis de forma do tronco, Caracaraí, Roraima.....	63
Tabela 14 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de semente de <i>Bertholletia excelsa</i> em relação a variáveis de solo nos diferentes passos de modelagem.....	64
Tabela 15 – Análise de variância para a área do alburno em relação a classes de forma da copa de <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	65
Tabela 16 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> e diferentes variáveis dendrométricas, Caracaraí, Roraima.....	67
Tabela 17 – Proposição de classes de alburno para <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	69
Tabela 18 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de alburno de <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	70
Tabela 19 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes por classes de alburno de <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima.....	70
Tabela 20 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> e diferentes variáveis anatômicas, Caracaraí, Roraima. ....	71
Tabela 21 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de agrupamento de vasos em <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	72
Tabela 22 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de largura de vasos em <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima.....	72
Tabela 23 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes (kg/árvore) por classes de largura de vasos em <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima. ....	72
Tabela 24 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de largura e arranjo de vasos em <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima.....	74

Tabela 25 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes (kg/árvore) por classes de largura e arranjo de vasos em <i>Bertholletia excelsa</i> , Caracaraí, Roraima.....	75
Tabela 26 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação à área do alburno, precipitação e tipo de solo, Caracaraí, Roraima.....	78
Tabela 27 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso fresco de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação à área do alburno, à precipitação e ao tipo de solo, Caracaraí, Roraima.....	79
Tabela 28 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> em relação a variáveis dendrométricas de fácil obtenção nos diferentes passos de modelagem. ....	81
Tabela 29 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação a variáveis tradicionalmente utilizadas. ....	82
Tabela 30 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso de sementes de <i>Bertholletia excelsa</i> (kg) em relação a variáveis tradicionalmente utilizadas. ....	82

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>18</b>
1.1 Objetivos gerais .....	19
1.2 Objetivos específicos.....	19
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 Castanheira-do-Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i>)</b> .....	<b>20</b>
2.1.1 Floração e frutificação .....	20
2.1.2 Fatores produtivos.....	21
2.1.3 Diversidade morfológica .....	22
2.1.4 Solos .....	23
<b>2.2 Precipitação</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3 Levantamento de solo</b> .....	<b>24</b>
2.1 Coloração.....	25
2.2 Textura .....	25
<b>2.3 <i>Pipe model</i> e área de alburno</b> .....	<b>26</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Área experimental</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Seleção de árvores para amostra</b> .....	<b>30</b>
<b>3.3 Variáveis de produção de frutos e sementes</b> .....	<b>32</b>
<b>3.4 Variáveis dendrométricas</b> .....	<b>33</b>
3.4.1 Diâmetro à altura do peito (d).....	33
3.4.2 Diâmetro na inserção da copa ( $d_i$ ).....	34
3.4.3 Altura da inserção da copa ( $h_i$ ).....	35
3.4.4 Afilamento do tronco (A) .....	35
3.4.5 Cociente de forma artificial ( $K_{hi/1,3}$ ) .....	36
3.4.6 Volume do tronco até a inserção da copa ( $v_{ic}$ ) .....	36
3.4.7 Fator de forma (f) .....	37
<b>3.5 Variáveis qualitativas</b> .....	<b>37</b>
3.5.1 Forma de copa ( $f_{copa}$ ).....	37
3.5.2 Posição da copa ( $p_{copa}$ ) .....	38

3.5.3 Cipó na copa .....	39
<b>3.6 Variáveis de solo .....</b>	<b>40</b>
3.6.1 Profundidade .....	40
3.6.2 Hidromorfia.....	40
3.6.3 Solo .....	41
<b>3.7 Área do alburno e variáveis anatômicas .....</b>	<b>41</b>
3.7.1 Área do alburno ( $g_{alb}$ ) .....	42
3.7.2 Porcentagem de alburno ( $alb\%$ ).....	43
3.7.3 Máculas .....	43
3.7.4 Vasos .....	44
<b>3.8 Competição .....</b>	<b>45</b>
3.8.1 Índice de <i>Bertholletia</i> ( $I_B$ ) .....	46
<b>3.9 Precipitação .....</b>	<b>49</b>
<b>3.10 Diversidade morfológica.....</b>	<b>49</b>
<b>3.11 Análises.....</b>	<b>50</b>
3.11.1 Análise exploratória .....	50
3.11.2 Análise estatística .....	51
3.11.3 Diagrama do potencial da produção.....	53
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>54</b>
4.1 Seleção do período de precipitação .....	54
4.2 Variação do peso médio de sementes por fruto.....	55
4.3 Produção de sementes e variáveis de solo .....	58
4.4 Produção de sementes e diversidade morfológica .....	62
4.5 Produção de sementes e forma do tronco.....	63
4.6 Forma de copa e área do alburno .....	64
4.7 Área do alburno e competição .....	65
4.8 Produção de sementes e área do alburno .....	67
4.9 Produção de sementes e variáveis anatômicas .....	71
4.10 Potencial produtivo de sementes .....	76
4.10.1 Árvores não produtivas.....	76
4.10.2 Árvores de baixa produção.....	76
4.10.3 Árvores com máximo potencial produtivo.....	77
4.10.4 Árvores com potencial médio .....	77

4.10.5 Comparação entre modelos .....	81
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>84</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O estudo das espécies de utilização não madeireira (PFNM), como a Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), tem crescido devido a sua importância econômica e ecológica para o país, bem como para as comunidades extrativistas na Amazônia.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009), apurando os dados para o ano de 2008, cita que o mercado de amêndoas da Castanha-do-Brasil foi o sexto produto extrativista que mais movimentou dinheiro no ano de 2008, com um total de R\$ 45,7 milhões, o que corresponde a 7,2% do valor total da produção extrativista vegetal não madeireira do país, o que mostra a sua relevância como produto florestal não madeireiro.

A coleta e a abertura dos ouriços (frutos) ainda são realizadas de forma manual nas áreas nativas, constituindo uma fonte extra de renda para as comunidades à época da produção e, muitas vezes, servindo ainda como complemento na alimentação familiar.

Diversos autores têm assinalado a importância da Castanha-do-Brasil como espécie chave na conservação e no desenvolvimento da Região Amazônica, devido as suas características e aos múltiplos aproveitamentos.

Inserido neste cenário, o presente trabalho busca aprofundar os conhecimentos sobre a espécie pela investigação de fatores que influem na produção de frutos e sementes. Diversos autores como Zuidema (2003), Wadt (2005), Kainer *et al.* (2007), Braga (2007) e Tonini *et al.* (2008a) têm procurado compreender estes fatores, uma vez que é observada uma grande variação na produção entre árvores dentro de um mesmo local e entre os diferentes anos.

Desta forma, o trabalho vem somar esforços às pesquisas desenvolvidas, concedendo maiores subsídios para o manejo da Castanha-do-Brasil, por meio da incorporação e da investigação de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais.

## 1.1 Objetivos gerais

Estudar a influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) em áreas naturais no estado de Roraima.

## 1.2 Objetivos específicos

- Avaliar as diferenças entre o peso médio de sementes por fruto;
- Analisar a influência da precipitação, da profundidade e do tipo de solo, da área do alburno, da competição, das variáveis anatômicas e dendrométricas na produção de sementes de *Bertholletia excelsa*;
- Estudar as diferenças produtivas entre árvores de *Bertholletia excelsa* do tipo branca e vermelha;
- Propor um modelo para a estimativa do potencial produtivo de *Bertholletia excelsa* para a região de Caracaraí, Roraima.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*)

A Castanheira-do-Brasil é uma árvore da família *Lecythidaceae*, semidecídua, heliófila, característica da mata alta de terra firme, sendo planta “social”, ocorrendo em determinados locais com grande frequência (LORENZI, 2000), seus indivíduos adultos são geralmente emergentes e suas copas estão acima do dossel da floresta (ZUIDEMA, 2003). A castanheira tem altura entre 30 e 50 metros na fase adulta, podendo atingir excepcionalmente os 60 metros, com até dois metros de diâmetro à altura do peito (SALOMÃO *et al.*, 1995; LORENZI, 2000).

A espécie em estudo é encontrada naturalmente nas Guianas, na Colômbia, na Venezuela, no Peru, na Bolívia e no Brasil (ZUIDEMA, 2003), desenvolvendo-se bem em regiões de clima quente e úmido, as maiores concentrações da espécie verificam-se em regiões onde predominam os tipos climáticos tropicais e chuvosos com ocorrência de períodos de estiagem definidos (MÜLLER *et al.*, 1995).

Lorenzi (2000) descreve a madeira da Castanheira-do-Brasil como moderadamente pesada (densidade 0,75 g/cm<sup>3</sup>), de textura média, grã direita, com superfície sem brilho e lisa ao tato, resistente ao ataque de organismos xilófagos. Zenid e Ceccantini (2007) citam que, nas famílias *Rutaceae* e *Lecythidaceae*, é comum a ocorrência de máculas na madeira.

#### 2.1.1 Floração e frutificação

Müller e Caizavara (1989) e Zuidema (2003) destacam que a floração da Castanheira-do-Brasil está intimamente ligada às condições climáticas da região de ocorrência, e que o pico de floração normalmente ocorre no início da estação chuvosa, devido a diferenças entre a distribuição e o período de ocorrência das

chuvas, a região Oeste da Amazônia (Acre) floresce primeiro do que a região Leste (Pará).

Zuidema (2003) afirma que o pico de floração normalmente acontece no início da estação chuvosa, e que esta ocorre em épocas distintas, dependendo da região o que, provavelmente, é devido à distribuição das chuvas durante o ano.

Tonini (2011), trabalhando com a fenologia da Castanheira-do-Brasil no estado de Roraima, concluiu que a sua floração e a frutificação mostraram-se anual, longa e sincrônica, e a floração dá-se, principalmente, durante a época de menor precipitação.

Quanto ao período médio entre a observação de novos frutos e a sua dispersão, Müller e Caizavara (1989) mencionam um período de aproximadamente 14 meses, Zuidema (2003), por sua vez, refere um período de 12 meses e Tonini (2011), um período de 10 meses.

Grande parte das árvores acima de 40 cm de diâmetro à altura do peito é reprodutiva em áreas naturais, por outro lado, apenas 3,5% das árvores menores de 40 cm de diâmetro são produtivas (ZUIDEMA, 2003). Por outro lado, árvores plantadas e sem sombreamento, provenientes de enxerto podem frutificar aos 3,5 anos, e as provenientes de semente aos oito anos (MÜLLER E CAIZAVARA, 1989).

### 2.1.2 Fatores produtivos

Estudos recentes, como os desenvolvidos por Myers *et al* (2000); Zuidema (2003); Wadt *et al* (2005); Kainer *et al* (2006; 2007), Tonini *et al.* (2008a; 2008b) e Tonini (2011) ,têm procurado compreender a ecologia da espécie e os fatores que influenciam a produção de frutos e sementes em populações nativas de Castanheira-do-Brasil, enfocando a sustentabilidade e o aumento da produtividade.

Em relação à produção de frutos, Tonini *et al* (2008a) observaram que apesar da grande diferença de densidade entre duas populações de Castanheira-do-Brasil, não houve diferença estatística significativa. Segundo Zuidema (2003), a maioria das árvores de Castanheira-do-Brasil produz poucos frutos, e a maioria dos adultos, por sua vez, menos do que 100. Uma parte substancial da população produz de 100 a 200 frutos e menos do que 10%, acima de 500. Em Roraima, segundo Tonini *et al*

(2008a), o número máximo de frutos produzidos foi 155, em que 46,6% dos indivíduos produziram até 10 frutos; 35,5% produziram entre 10 a 50 frutos; 13,3% entre 50 e 100 e apenas 4,4% produziram mais do que 100.

Kainer *et al.* (2007) estudaram diferentes fatores para explicar variações na produção de frutos de Castanheira-do-Brasil em mata nativa, verificando que a capacidade de troca catiônica (CTC) e o fósforo foliar (P) contribuíram para explicar tais variações.

Zuidema (2003), Wadt *et al.* (2005) e Tonini *et al.* (2008b) observaram que o diâmetro à altura do peito, a posição sociológica e a forma da copa influem na produção de sementes, enquanto árvores nas posições superiores e com copa completa circular ou irregular são mais produtivas que as demais.

Wadt *et al.* (2005) e Kainer *et al.* (2006) encontraram correlações significativas entre a presença de cipó na copa e a produção de sementes, Tonini *et al.* (2008a) não encontraram correlações significativas para esta variável.

Além disso, Tonini *et al.* (2008b) observaram que as árvores mais produtivas possuem copas mais compridas e menor relação entre altura e diâmetro, já a competição apresenta pouco efeito sobre a produção de sementes em árvores adultas, existindo uma tendência de redução da produção de sementes com o aumento da competição.

Zuidema (2003) enumera os principais fatores que influenciam a produção como tamanho da árvore, posição da copa, infestação de cipó, variação temporal, fatores climáticos, fatores genéticos, condição do solo, interação com polinizadores e interação com os predadores de frutos.

### 2.1.3 Diversidade morfológica

O conhecimento tradicional dos coletores de castanha classifica as árvores de *Bertholletia excelsa* quanto a sua diversidade morfológica (tipo) em: árvores brancas e vermelhas (BRAGA, 2007; REIS E PALUDZYSZYN FILHO, 2011).

Braga (2007), verificando a consistência da classificação popular dos coletores de castanha, na Região do Baixo-Acre, em castanheira branca e vermelha, cita que estes coletores consideram como critérios para diferenciação a cor da

madeira, o potencial produtivo e a forma do tronco e da copa. Conforme seus resultados, a forma da copa e do tronco mostraram-se importantes para a classificação dos tipos, tanto pela análise de Lambda como pela análise de *risk estimate*.

Sujii *et al.* (2008 *apud* Reis e Paludzyszyn Filho, 2011, p. 16) apresentaram resultados preliminares de que não há diferenças genótípicas entre os dois tipos de castanheiras.

Braga (2007) encontrou, como resultado em sua investigação, que a produção média das castanheiras vermelhas é significativamente superior e os seus frutos são maiores, mais pesados e com menor número de sementes em comparação à castanheira branca.

#### 2.1.4 Solos

As populações de Castanheira-do-Brasil estão predominantemente em solos argilosos ou argilo-arenosos, com maior ocorrência nos de textura média a pesada (MÜLLER E CAIZAVARA, 1989).

Zuidema (2003) sublinha que a influência das condições do solo na produção de frutos não foi quantificada, embora possa ter um efeito na frutificação.

Kainer *et al.* (2007), trabalhando com a química do solo, observaram que a capacidade de troca catiônica (CTC) e o fósforo (P) foliar apresentaram correlações positivas com o número de frutos, entretanto assinalam que a influência do fósforo na produção da castanheira deve ser mais investigada.

## 2.2 Precipitação

Kelly e Sork (2002), com dados de variação da produção de sementes em 108 espécies tropicais, consideram que os fatores climáticos (precipitação e temperatura) são importantes na referida variação, e observaram que a relação

curvilínea entre a latitude e a variação de produção de sementes da população é consistente com a relação precipitação-latitude.

Zuidema (2003) acresce, por sua vez, que, para uma população de Castanheira-do-Brasil, a produção teve uma queda acentuada no ano de 1998, que coincide com o fenômeno *El niño*, que reduziu consideravelmente a precipitação na região.

Comportamento semelhante foi verificado por Kainer *et al.* (2007) que relataram um desvio da produção média anual apenas no ano de 2006, quando houve o início tardio da estação chuvosa e seca prolongada pouco antes da colheita. Os autores mencionam ainda que encontraram uma correlação muito significativa, porém fraca entre o número de frutos coletados e a chuva total durante os últimos cinco meses da estação seca.

Haugaasen e Peres (2005) ponderam que a precipitação e a irradiação são significativas na determinação do padrão fenológico na mata de terra firme [caso da Castanheira-do-Brasil], enquanto a regular e prolongada inundação sazonal é o fator determinante do padrão fenológico na área de várzea e igapó. Wallace e Painter (2002), por outro lado, notaram que, nos habitats dominantes em Lago Caiman, na Amazônia Boliviana, a precipitação por si só não é um preditor acurado da abundância de frutos, assim sendo, os pesquisadores sugerem que a coleta de dados fenológicos deve ser uma prioridade para iniciativas de sustentabilidade ecológica.

### **2.3 Levantamento de solo**

A Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004) e Prado (2005) esclarecem que os procedimentos de campo para classificação dos solos podem ser feitos mediante tradagens, trincheiras ou em barrancos de estradas. O estudo dos solos mediante a amostragem por tradagem tem como inconvenientes a destruição das unidades estruturais ou agregadas, impossibilitando a avaliação da estrutura, da cerosidade e da consistência nos estados seco e úmido. Entretanto, é possível examinar a cor, avaliar a textura e a consistência no estado molhado.

## 2.1 Coloração

Schneider *et al.* (2007) imputam à coloração do solo o *status* de propriedade mais proeminente e facilmente determinável a campo. Ainda que possua pequena influência no comportamento do solo, ela permite a avaliação indireta de propriedades importantes, além de refletir a ação combinada dos fatores de formação do solo.

Costa (2004) complementa que a coloração ainda que apresente fraca influência direta sobre os fenômenos que se verificam no solo, tem grande relevância para interpretação da gênese, classificação, e para identificação de unidade-solo.

Deve-se registrar, ao considerar a coloração do solo, que mosqueados são manchas no solo com coloração diferente da sua cor matriz do solo, sendo que a sua presença está relacionada à aeração e à drenagem do solo (Prado, 2005; Schneider *et al.*, 2007). Em áreas com oscilação do lençol freático, a alternância de condições explica as cores manchadas de cinzento, pardo a vermelho e amarelo, que são resultantes de compostos de ferro.

## 2.2 Textura

A textura do solo descreve o tamanho das suas partículas, usualmente distintas em três tamanhos denominados de areia, silte e argila, sendo que a combinação destas em diferentes proporções são classificadas em classes de textura do solo (BRADY E WEIL, 2008; HILLEL, 1998).

Em geral, solos de textura franca são considerados como ótimos para o crescimento de plantas, uma vez que a sua capacidade para reter água e nutrientes é superior ao de textura arenosa. Por outro lado, a sua drenagem, a aeração e as propriedades para cultivo são mais favoráveis que o de textura argilosa, as exceções que se pode considerar em relação a esta generalização devem-se principalmente a diferentes condições ambientais e de requisitos por parte das espécies. (HILLEL, 1998). Agregue-se, neste particular, que a textura do solo afeta fortemente as

características de retenção de água e, por isso, é utilizado comumente como variável nos modelos de predição da retenção de água (HEISKANEN E MÄKITALO, 2002).

A textura por ser um atributo intrínseco do solo é o parâmetro mais frequentemente adotado para caracterizar a composição física (HILLEL, 1998). A alteração da textura em certos horizontes do solo, devido a processos pedológicos, leva de maneira geral longos períodos de tempo, podendo ser considerado constante em curto espaço de tempo (BRADY E WEIL, 2008).

A determinação da classe de textura pelo tato é uma prática de grande valor em levantamento de solos, classificação de terras e em qualquer investigação que a textura seja importante (BRADY E WEIL, 2008).

Castilho *et al.* (2006), trabalhando com a variação da biomassa viva acima do solo na Amazônia, verificaram que quase um terço da variação é explicada pelo solo e pela topografia, existindo uma tendência ao maior acúmulo de biomassa em solos mais argilosos. Os autores argumentam ainda que a influência da textura na produtividade pode estar ligada à umidade, à disponibilidade e à ciclagem de nutrientes.

### **2.3 *Pipe model* e área de alburno**

Shinozaki *et al.* (1964a) apresentaram a teoria dos “vasos comunicantes”, *Pipe Model Theory*, em que a quantidade de folhas existente acima de um certo horizonte em uma comunidade de plantas é sempre proporcional a soma das áreas transversais dos troncos e galhos encontrados neste nível. Esta concepção levou a uma nova interpretação da forma das plantas, em que o tronco e os ramos são considerados como um conjunto de unidade de vasos (*unit pipe*), cada qual suportando um montante unitário de órgãos fotossintéticos. Nas árvores, os vasos (*pipes*) desusados, que uma vez já haviam suportado as folhas de galhos que caíram, permanecem no tronco e galhos juntamente dos vasos que funcionam e estão comunicados com as folhas vivas.

Shinozaki *et al.* (1964a, 1964b), em continuidade, explicaram que uma vez ocorrendo este processo, as partes inferiores do tronco conterão naturalmente o maior número de vasos em desuso, conforme apresentado na Figura 1.

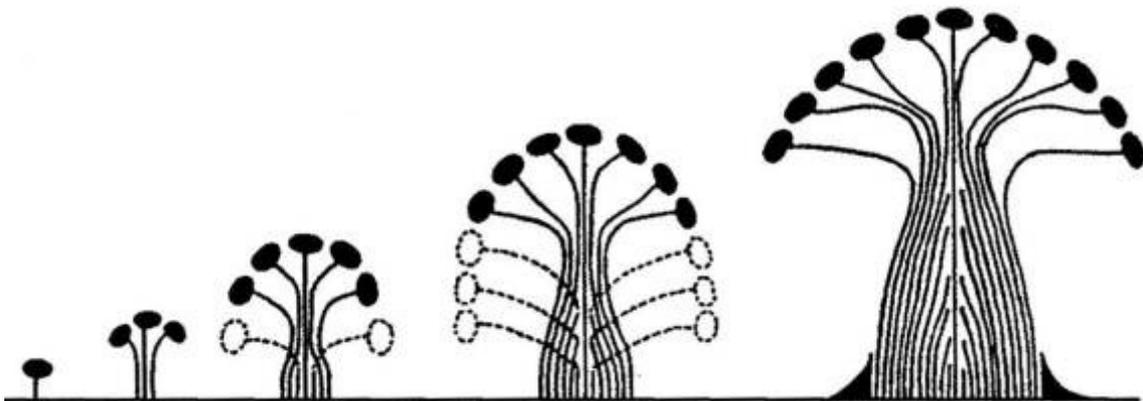


Figura 1 – Representação esquemática do *Pipe model of tree form*, mostrando a sucessiva acumulação de vasos desusados no tronco associado com o progressivo crescimento da árvore (SHINOZAKI *et al.*, 1964a).

Shinozaki *et al.* (1964a) descreveram que os vasos que compõem o tronco e os galhos de uma árvore são renovados a cada ano, mas os seus valores são sempre controlados e determinados pela quantidade de folhas com a qual estão conectados.

Shinozaki *et al.* (1964b) afirmam ainda que o *Pipe model* sugere que a quantidade de folhas por árvore deve ser mais estreitamente correlacionada com a soma das áreas transversais dos vasos vivos que, por sua vez, poderia ser aproximada pela área transversal do tronco na altura abaixo do primeiro galho vivo, sendo que o diâmetro medido nesta posição provou servir de base para a estimativa da quantidade de folhagem independentemente da sua idade ou habitat. Waring *et al.* (1982), ao aplicar o conceito de *Pipe model* em coníferas, observaram que, a partir do início da copa para cima, a área de alburno, apresenta uma relação constante com uma área foliar suportada. Albrektson (1980 *apud* WARING *et al.*, 1982, p. 559), por seu turno, refere que a área ocupada por alburno na altura do peito também pode relacionar-se bem com a área total de folhas, entretanto, espera-se que estas constantes variem muito de acordo com a proporção tronco e copa viva.

Raven *et al.* (2001) definiram o alburno como a porção externa do lenho (madeira) do caule ou do tronco, em geral, diferenciado do cerne pela sua coloração mais clara, onde ocorre um transporte ativo de água. Hölttä *et al.* (2009, 2010) previram, ademais, que árvores maiores prosperam mais durante uma seca por usarem a água estocada internamente no xilema do alburno liberada gradualmente por cavitação de transpiração, desta forma, acabam menos afetadas pelas mudanças de curto prazo no meio ambiente.

A funcionalidade do alburno pode ser afetada de forma semelhante, pelo clima. Cohen *et al.* (2008), estudando o padrão radial da velocidade da seiva, identificaram diferenças para *Pinus halepensis* em dois sítios distintos, onde a profundidade de conduzir a seiva foi maior em árvores que cresceram em um clima semiárido do que as do clima subúmido, ou seja, um aumento no transporte de água no interior do alburno deu-se como resultado da alta demanda evaporativa da atmosfera.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Área experimental

A área experimental, sob a qual se realizou o presente estudo, está localizada no Estado de Roraima, no município de Caracaraí, e é constituída por quatro parcelas permanentes de nove hectares (300 x 300 metros) instaladas pela Embrapa Roraima, com o objetivo de estudar a dinâmica de produção de frutos e sementes em populações nativas de Castanheira-do-Brasil.

Duas parcelas permanentes estão instaladas em um Fragmento Florestal na **Fazenda Pau-Rainha** de propriedade do Sr. José Lopes Primo, na região do Projeto de Assentamento do Itã, nas coordenadas geográficas 01º 48' 58,0" de latitude Norte e 61º 07' 41,0" de longitude Oeste; as outras duas parcelas permanentes encontram-se em uma área de Plano de Manejo Florestal Sustentável, na **Fazenda Mundo Novo** de propriedade da Madeireira Vale Verde, na região do Projeto de Assentamento do Cujubim, sob coordenadas geográficas 01º 51' 02,6" de latitude norte e 61º 00' 30,6" de longitude Oeste.

O clima da região é classificado como Ami (tropical chuvoso com pequeno período de seca), com precipitação média anual entre 1.700 a 2.000 mm e temperatura média anual de 27 °C. O período chuvoso ocorre com maior frequência entre os meses de abril e agosto, sendo que, no mês de setembro, dá-se uma sensível redução da precipitação, e o período caracteristicamente seco está compreendido pelos meses de novembro a março (FEMACT, 1993).

O solo predominante na Fazenda Pau-Rainha é o Argissolo com colorações entre smarelo e vermelho-amarelo conforme a classificação realizada pela equipe no local; já o solo predominante na Fazenda Mundo Novo é classificado como Argissolo vermelho-amarelo com presença de afloramentos rochosos em algumas áreas, segundo informações fornecidas pela Madeireira Vale Verde e confirmadas pela equipe a campo.

As parcelas foram divididas em seis picadas, piqueteadas com cano de PVC numerado a cada 50 metros, para facilitar a localização e a identificação dos indivíduos na área.

Todas as árvores de *Bertholletia excelsa* com diâmetro superior a 10 centímetros encontradas nas parcelas são localizadas no espaço por um sistema de coordenadas cartesianas, numeradas, e o seu número registrado com placa de alumínio fixada próximo ao diâmetro à altura do peito.

Os dados dendrométricos médios observados no inventário são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dendrométricos para os diferentes locais e parcelas permanentes de *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

<b>Local</b>	<b>Parcela</b>	<b>d (cm)</b>	<b>N (árv.)</b>	<b>N (árv./ha)</b>
Fazenda Pau-Rainha	1	74,7	116	13
Fazenda Pau-Rainha	2	90,7	123	14
Fazenda Mundo Novo	3	116,3	54	6
Fazenda Mundo Novo	4	108,9	59	7

### 3.2 Seleção de árvores para amostra

Com base na literatura, sobretudo, nos resultados encontrados nos trabalhos de Myers *et al* (2000); Zuidema (2003); Wadt *et al* (2005); Kainer *et al* (2006; 2007), Tonini *et al.* (2008a; 2008b) e Tonini (2011) que citam a existência de diversos fatores que influenciam a produção das árvores de *Bertholletia excelsa*, buscou-se uma amostragem intencional dentro das parcelas permanentes instaladas para a investigação de fatores dendrométricos, anatômicos e ambientais que influam na produção.

Para seleção das árvores, primeiramente, separou-se os dados por área (Fazenda Pau-Rainha e Fazenda Mundo Novo), e, dentro de cada área, selecionaram-se as árvores (amostra) com os seguintes critérios:

- 1) Seleção de árvores produtivas com base no monitoramento de produção. Consideraram-se produtivas todas as árvores que produziram acima de 10 frutos por ano, em qualquer uma das coletas;
- 2) Classificar todas as árvores produtivas em classes diamétricas, com intervalo de classe de 50 centímetros;
- 3) Retirar da amostra árvores jovens, ou seja, aquelas com diâmetro inferior a 50 cm;
- 4) Foram selecionadas, dentro das classes de diâmetro, árvores com diferentes condições de infestação de cipós na copa, de tipos de copa, para que houvesse repetições suficientes de árvores amostradas;
- 5) Por fim, foram adicionadas, de maneira aleatória, algumas árvores improdutivas dentro de cada classe de diâmetro, para poder-se averiguar os motivos que levam árvores em condições aparentemente semelhantes a não produzirem frutos e sementes.

Após a realização dos procedimentos de seleção da amostra, foi obtida uma subamostra em relação à parcela permanente instalada, e somente estas árvores foram tratadas e reavaliadas. Na Tabela 2, apresenta-se o número de árvores amostradas nos diferentes locais e parcelas permanentes.

Tabela 2 – Número de árvores amostradas e porcentagem de amostragem em relação às árvores de *Bertholletia excelsa* constantes nas parcelas permanentes, Caracarái, Roraima.

<b>Local</b>	<b>Parcela</b>	<b>N (árv.)</b>	<b>% amostrada</b>
Fazenda Pau-Rainha	1	46	39,7
Fazenda Pau-Rainha	2	46	37,4
Fazenda Mundo Novo	3	37	68,5
Fazenda Mundo Novo	4	38	64,4
<b>TOTAL</b>		<b>167</b>	<b>47,4</b>

### 3.3 Variáveis de produção de frutos e sementes

A produção de árvores de *Bertholletia excelsa* foi descrita pelo número de frutos (ouriços) produzidos por árvore e o peso fresco de sementes (castanha) em quilogramas por árvore.

Para contabilizar a produção de frutos e sementes por árvore, os frutos foram coletados em duas oportunidades na estação chuvosa (entre março e julho no Estado de Roraima). Todos os frutos encontrados na área abrangida pela copa da árvore em questão foram amontoados na base, contados, abertos e as sementes foram pesadas.

A abertura do ouriço foi realizada no campo por “quebradores de castanha” que rompem/abrem o fruto duro com a utilização de facão ou foice para retirada das sementes, que são colocadas em saco de ráfia e pesadas *in loco* com a utilização de balança digital de gancho, com precisão de 50 gramas.

Na Figura 2, consta o aspecto geral da atividade de abertura de frutos e retirada das sementes para posterior pesagem.



Figura 2 – Aspecto da atividade de abertura dos frutos e retirada da semente de uma árvore de *Bertholletia excelsa*, na Fazenda Pau-Rainha, município de Caracaraí, Roraima, Brasil.

O tempo de monitoramento da produção de frutos e sementes foi diferente conforme a parcela permanente considerada. Na Tabela 3, são apresentados os distintos períodos de monitoramento para as parcelas.

Tabela 3 – Período de monitoramento e tempo em anos da produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa*, em diferentes locais e parcelas, Caracaraí, Roraima.

<b>Local</b>	<b>Parcela</b>	<b>Período</b>	<b>Anos</b>
Fazenda Pau-Rainha	1	2006 - 2010	5
Fazenda Pau-Rainha	2	2007 - 2010	4
Fazenda Mundo Novo	3	2009 - 2010	2
Fazenda Mundo Novo	4	2009 - 2010	2

### 3.4 Variáveis dendrométricas

#### 3.4.1 Diâmetro à altura do peito (d)

Realizou-se a medição da circunferência à altura do peito (cap), com fita métrica; na sequência, os valores foram convertidos em diâmetro (d) para utilização na modelagem. A altura padrão em relação ao solo foi de 1,3 metros, contudo, nos casos em que não foi possível efetuar a medição devido à presença de raízes tabulares, a posição de medição foi alterada e a altura em relação ao solo registrada.

O perímetro de medição da circunferência foi marcado com tinta vermelha para que pudesse ser realizado um acompanhamento periódico do crescimento das árvores.

### 3.4.2 Diâmetro na inserção da copa ( $d_i$ )

Realizou-se a medição do diâmetro na inserção da copa com o dendrômetro Tele-Relaskop, que é um dendrômetro apoiado por tripé, desenvolvido pelo Dr. Bitterlich, com aumento de 8x, que facilita medições acuradas de diâmetros superiores, alturas e comprimentos comerciais a qualquer distância conveniente acima de 1,5 vezes a altura da árvore. Medidas na escala vertical e horizontal são obtidas em porcentagem relativa à distância horizontal entre o ponto focal do instrumento (16 cm em frente da lente objetiva) e o eixo da árvore sem referência a uma unidade específica de medida. As unidades de medição relativa, chamadas de *Tele Units* ou *TUs*, são convertidas na unidade definida pelo usuário durante a computação numérica (PARKER, 1997).

Para facilitar os procedimentos de campo, tomou-se a distância da árvore alvo até o dendrômetro com uso do aparelho Vertex IV, e fez-se apenas a leitura das *TUs* no Tele-Relaskop. É importante citar que o Tele-Relaskop permite trabalhar sem a medição da distância, porém necessita de outros procedimentos para que se calcule o valor de diâmetro nas diferentes posições.

Para o cálculo do diâmetro em centímetros na posição desejada, multiplica-se a distância horizontal em centímetros obtida com o Vertex IV pelo valor de *TUs*.

Na Figura 3, tem-se a visão obtida com o uso do aparelho para a medição do diâmetro.

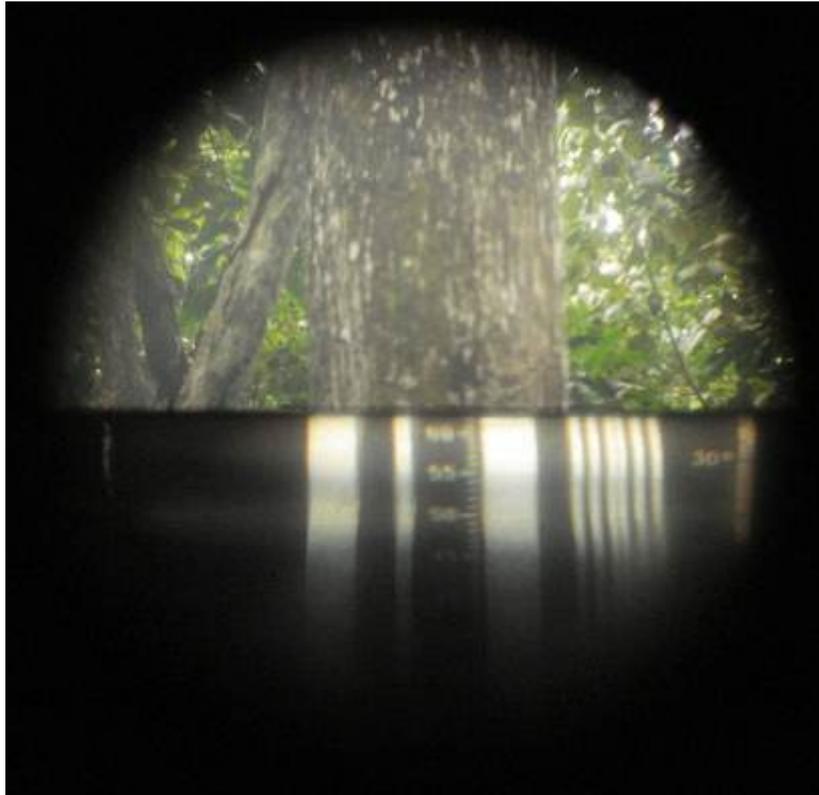


Figura 3 – Visão obtida com o uso do Tele-Relaskop para medição do diâmetro em diferentes posições do tronco.

#### 3.4.3 Altura da inserção da copa ( $h_i$ )

A altura em metros da inserção da copa foi determinada com a utilização do aparelho Vertex IV e coincidiu com o ponto de medição do diâmetro na inserção da copa ( $d_i$ ).

#### 3.4.4 Afilamento do tronco ( $A$ )

O afilamento do tronco refere-se à redução do diâmetro em centímetros por metro linear de altura, considerado o espaço entre o diâmetro à altura do peito até a altura de inserção da copa, e foi calculado pela expressão:

$$A = \frac{(d_i - d)}{(h_i - 1,3)}$$

**A**= afilamento do tronco (cm/m); **d**= diâmetro à altura do peito (cm); **d<sub>i</sub>**= diâmetro na inserção da copa (cm); **h<sub>i</sub>**= altura de inserção da copa (m).

#### 3.4.5 Cociente de forma artificial ( $K_{hi/1,3}$ )

O cociente de forma artificial para as árvores de *Bertholletia excelsa* foi baseado na relação entre o diâmetro na inserção da copa e o diâmetro à altura do peito, tendo sido obtido por meio da expressão:

$$K_{hi/1,3} = \frac{d_i}{d}$$

**K<sub>hi/1,3</sub>**= cociente de forma artificial (adm.); **d**= diâmetro à altura do peito (cm); **d<sub>i</sub>**= diâmetro na inserção da copa (cm).

#### 3.4.6 Volume do tronco até a inserção da copa ( $v_{ic}$ )

O volume do tronco até a inserção da copa, utilizado neste trabalho, considera apenas o volume da base até a inserção da copa, desconsiderando, portanto, o volume acima da inserção da copa. O volume da base até a altura do peito foi considerado como o volume de um cilindro com base igual ao diâmetro à altura do peito, sendo que a variável foi calculada pela expressão:

$$v_{ic} = (g \cdot 1,3) + \left[ \frac{(g + g_i)}{2} \cdot (h_i - 1,3) \right]$$

**v<sub>ic</sub>**= volume do tronco até a inserção da copa (m<sup>3</sup>); **g**= área basal à altura do peito (m<sup>2</sup>); **g<sub>i</sub>**= área basal na inserção da copa (m<sup>2</sup>); **h<sub>i</sub>**= altura de inserção da copa (m);

### 3.4.7 Fator de forma (f)

O fator de forma para as árvores de *Bertholletia excelsa* que se adotou no presente trabalho considerou apenas a árvore até a altura de inserção da copa, e é dado pela relação entre o volume do tronco até a inserção da copa ( $v_{ic}$ ) e o volume de um cilindro de igual altura ( $h_i$ ) com base igual ao diâmetro à altura do peito ( $d$ ), que pode ser calculado pela expressão:

$$f = \frac{v_{ic}}{\left( \frac{\pi}{40000} \cdot d \cdot h_i \right)}$$

$v_{ic}$ = volume do tronco até a inserção da copa ( $m^3$ );  $d$ = diâmetro à altura do peito (cm);  $h_i$ = altura de inserção da copa (m).

## 3.5 Variáveis qualitativas

As variáveis qualitativas foram avaliadas em duas oportunidades, uma no momento da instalação da parcela permanente e, na segunda ocasião, fez-se na metade do ano de 2010. A segunda medição foi realizada com o intuito de observar possíveis alterações na quantidade de cipós, na forma e na posição da copa, o que poderia, de alguma maneira, afetar o potencial produtivo de frutos e sementes.

### 3.5.1 Forma de copa ( $f_{copa}$ )

As classes de forma de copa (Figura 4) determinadas visualmente a campo seguiram a metodologia proposta por Dawkins (1963).

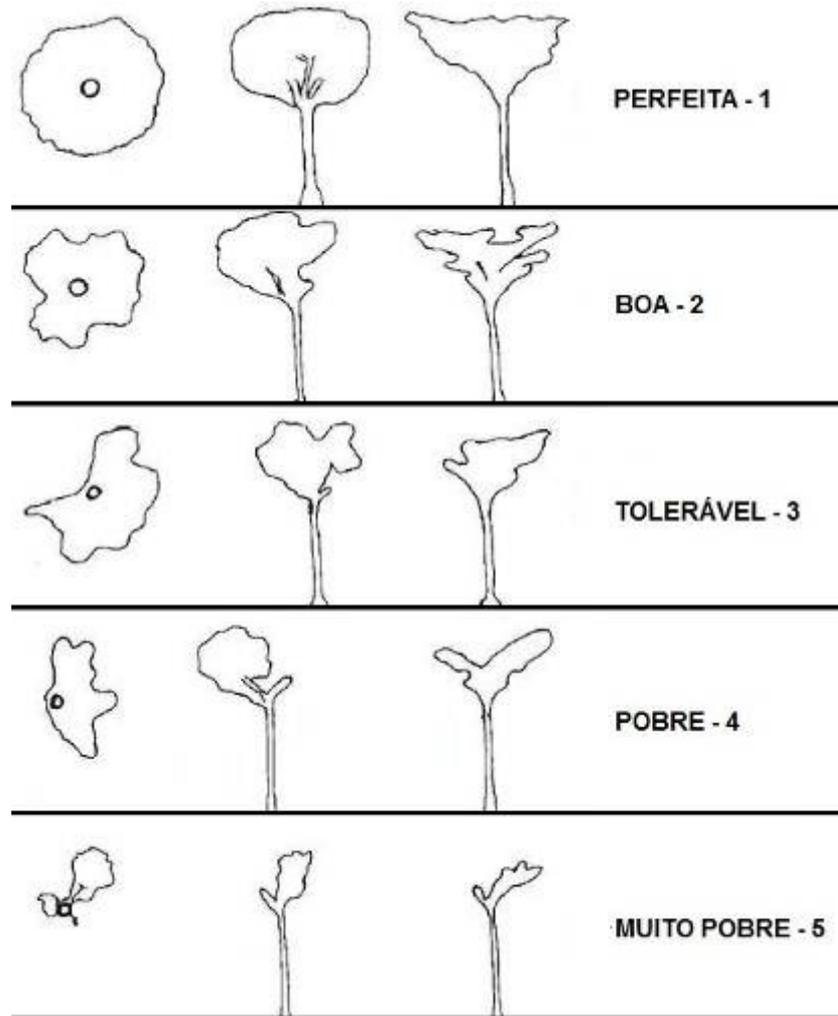


Figura 4 – Classes de forma de copa, segundo a metodologia proposta por Dawkins (1963) adotadas para classificação de *Bertholletia excelsa* (Adaptado de GONÇALVES *et al.*, 2010).

### 3.5.2 Posição da copa ( $p_{\text{copa}}$ )

As classes de posição da copa (Figura 5) determinadas visualmente a campo seguiram a metodologia proposta por Dawkins (1963).

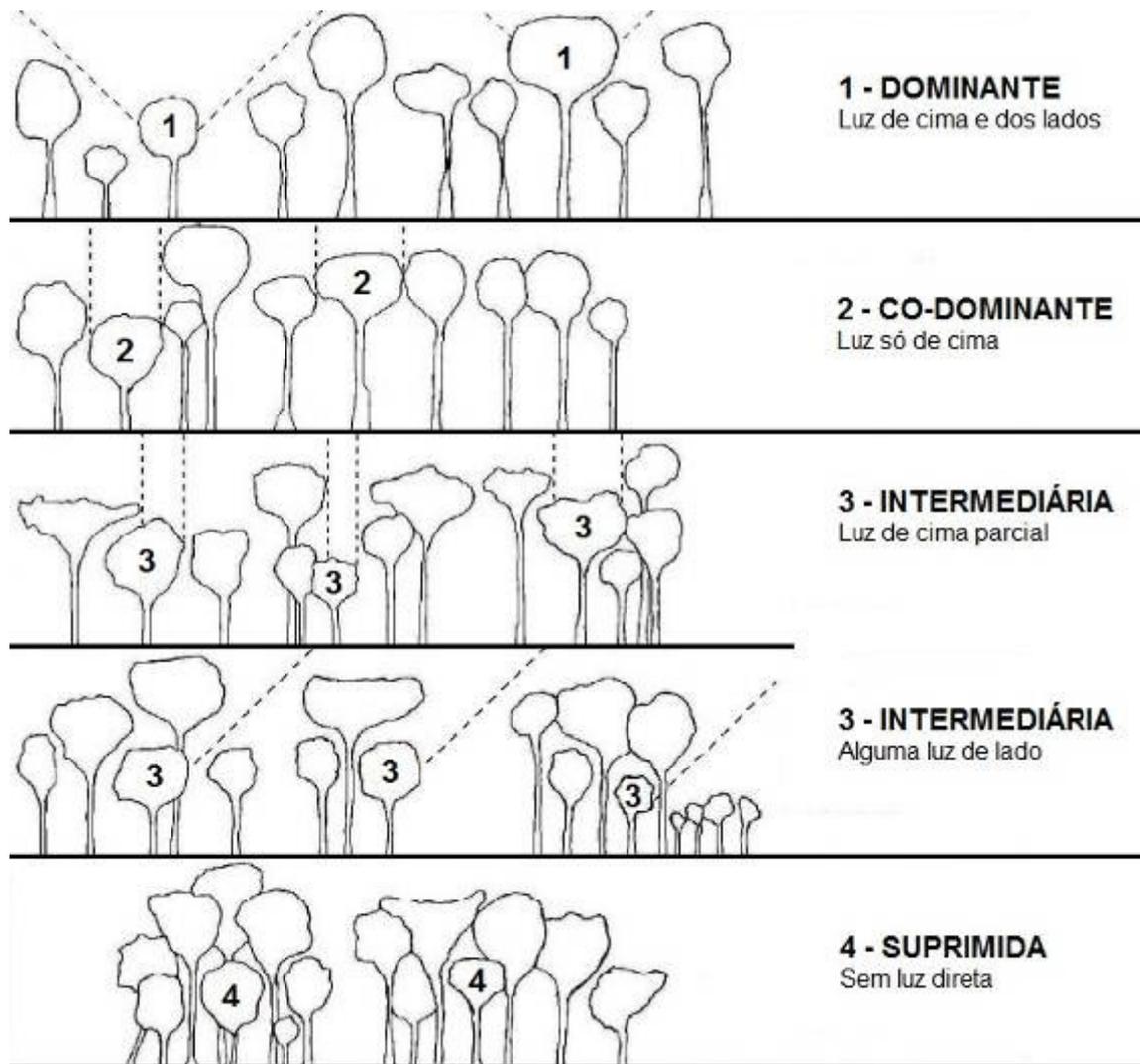


Figura 5 – Classes de posição sociológica da copa, segundo a metodologia proposta por Dawkins (1963) adotadas para a classificação de *Bertholletia excelsa* (Adaptado de GONÇALVES *et al.*, 2010).

### 3.5.3 Cipó na copa

Refere-se, aqui, a presença de cipó na copa e foi determinada visualmente em diferentes classes conforme metodologia proposta por Wadt *et al.* (2005). Sem cipó (1), 25% da copa infestada (2), 25 a 75% da copa infestada (3) e mais de 75% da copa infestada (4).

### 3.6 Variáveis de solo

As variáveis utilizadas para descrever o solo foram avaliadas em uma única oportunidade na metade do ano de 2010, empregando-se trado holandês até a profundidade de 80 cm, nas redondezas de todas as árvores selecionadas na amostra.

#### 3.6.1 Profundidade

Determinaram-se duas classes de profundidade nas sondagens de solo feitas com trado holandês, solo profundo (1) e solo raso (2).

Os locais onde não se encontrava fração grosseira com presença de concreções (piçarra) até 80 cm de profundidade foram classificadas como solo profundo, já os locais em que se achava fração grosseira entre 0 e 80 cm de profundidade foram classificados como solo raso.

#### 3.6.2 Hidromorfia

Verificou-se, no local de crescimento da árvore objeto, se ela estava em local onde ocorria acúmulo de água, classificando-se em duas classes de hidromorfia. Solo não hidromórfico (0) é aquele não sujeito ao acúmulo de água e com boa drenagem, e solo hidromórfico (1) refere-se àquele sujeito a acúmulo de água em pelo menos uma época do ano.

### 3.6.3 Solo

Foi determinado, no local de crescimento da árvore objeto, o tipo de solo, quanto à coloração determinada visualmente e a textura realizada pelo tato. Desta forma, verificaram-se três classes diferentes de solo:

- a) Vermelho, arenoso (1);
- b) Amarelo, intermediário (2);
- c) Amarelo, argiloso (3);

De cada uma das classes, foi enviada ao Laboratório de Solos da Embrapa Unidade de Roraima uma amostra representante da média, para confirmação do teor de argila, silte e areia, a qual foi realizada seguindo o método de Bouyoucos. A análise laboratorial confirmou as três classes de solo que são:

- a) Solo 1: de textura franco argilosa arenosa;
- b) Solo 2: de textura argilo-arenosa;
- c) Solo 3: de textura argilosa.

## 3.7 Área do alburno e variáveis anatômicas

Para avaliação da área do alburno e de variáveis anatômicas, retirou-se dois rolos de incremento de 5 (cinco) mm de diâmetro, extraídos radialmente do fuste na altura em que foi medido o diâmetro à altura do peito, utilizando trado de incremento de Pressler. Uma das amostras sempre era alocada na direção das raízes tabulares que existiam e uma segunda, entre as raízes tabulares, procedimento semelhante ao adotado por Brienen e Zuidema (2005) na amostragem de árvores com raízes tabulares. Tal procedimento visa a mensurar a diferença de dimensão entre estas duas regiões, trabalhando-se, posteriormente, com a média das duas medições.

Os rolos de incremento foram acondicionados em canudos plásticos rígidos, identificados com o número e a parcela da árvore, secos ao ar livre e fixados com cola para madeira em suporte. Após esta etapa, tiveram a superfície de análise preparada com estilete de forma manual.

Para a avaliação dos rolos de incremento, empregou-se lupa de aumento com auxílio de fonte de luz, e as medições foram feitas com paquímetro eletrônico.

### 3.7.1 Área do alburno ( $g_{alb}$ )

Determinou-se, de início, a dimensão do raio do alburno nos dois rolos de incremento referentes a cada árvore estudada com paquímetro eletrônico.

O ponto de transição entre alburno e cerne foi determinado com o auxílio de lupa de aumento, observando-se a mudança na coloração da madeira e os vasos da região do cerne. Zenid e Ceccantini (2007) citam que os vasos da região do cerne da *Bertholletia excelsa* são obstruídos por paredes de células que se desenvolvem em seu interior (tilos) e, quando observado sob lupa, os tilos apresentam coloração clara e brilho característica.

Na Figura 6, vê-se a diferenciação visual entre a região do cerne e do alburno em *Bertholletia excelsa*.

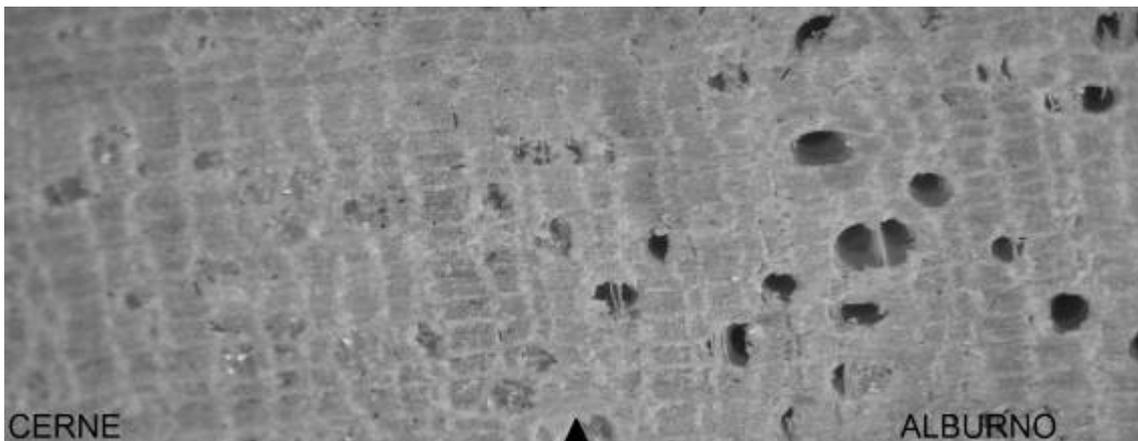


Figura 6 – Aspecto da área de transição entre cerne e alburno em *Bertholletia excelsa*, aumentada 26 vezes, onde se observa, à esquerda, os vasos obstruídos na região do cerne e livres, à direita, na região do alburno.

A área de alburno ( $g_{alb}$ ) foi calculada por meio da seguinte expressão, desenvolvida para este caso.

$$g_{alb} = \frac{\pi}{40000} \cdot \{d^2 - [d - (R_1 + R_2)]^2\}$$

$g_{alb}$ = área de alburno (m<sup>2</sup>);  $d$ = diâmetro à altura do peito (cm);  $R_1$ = primeiro raio de alburno (cm);  $R_2$ = segundo raio de alburno (cm).

### 3.7.2 Porcentagem de alburno (alb%)

A porcentagem ocupada por alburno da área basal do diâmetro à altura do peito é calculada pela expressão:

$$alb\% = \frac{g_{alb}}{g} \cdot 100$$

$alb\%$ = porcentagem de alburno;  $g_{alb}$ = área do alburno (m<sup>2</sup>);  $g$ = área basal à altura do peito (m<sup>2</sup>).

### 3.7.3 Máculas

Registrou-se a presença (1) e a ausência (0) de máculas na área de alburno nos rolos de incremento retirados, no caso em que se fizeram presentes, foram contadas as quantidades de máculas existentes. Considerando-se, no caso, que tal variável serve como auxílio para explicar o comportamento observado pelas árvores.

Na Figura 7, encontra-se o aspecto de máculas na madeira de *Bertholletia excelsa*.



Figura 7 – Presença de máculas na madeira de *Bertholletia excelsa*, as setas pretas, à direita, indicam três linhas de máculas na madeira.

#### 3.7.4 Vasos

Após a análise de todos os rolos de incremento, decidiu-se pela incorporação de duas variáveis relacionadas aos vasos observados, ambas foram determinadas visualmente com auxílio de lupa de aumento.

A primeira das variáveis refere-se à classificação da largura dos vasos (Figura 8) em pequenos (1), médios (2) e grandes (3).

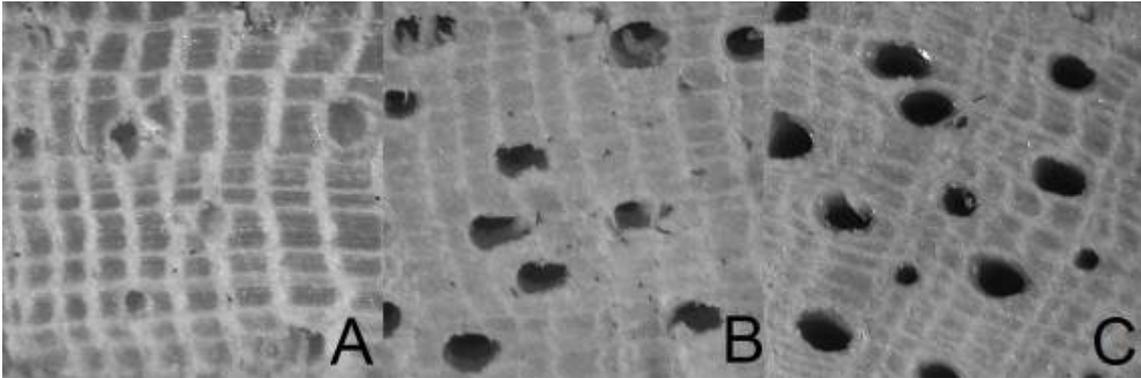


Figura 8 – Classificação da largura dos vasos, imagens com mesmo tamanho, aumentada 26 vezes. A) Pequenos; B) Médios; C) Grandes

A segunda variável diz respeito ao agrupamento predominante dos vasos nas amostras (Figura 9) podendo ser classificada em vasos solitários (1) ou vasos múltiplos (2).

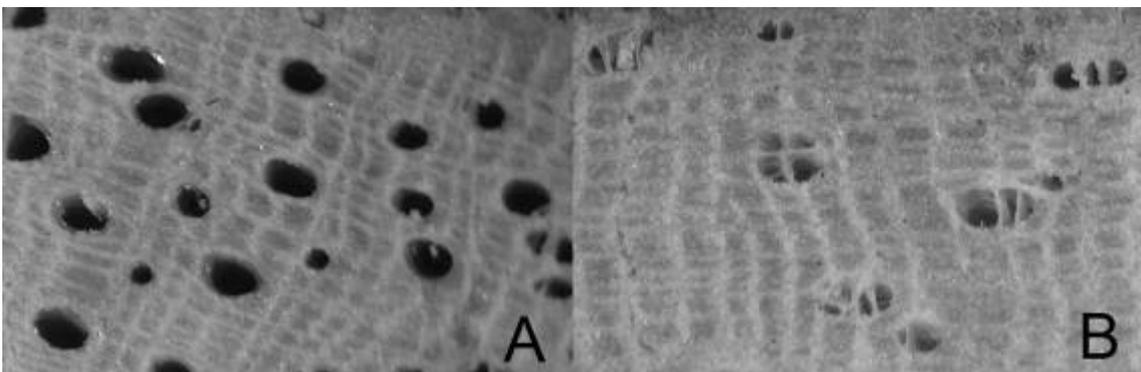


Figura 9 – Classificação do agrupamento predominante dos vasos, imagens com mesmo tamanho, aumentada 26 vezes. A) Solitários; B) Múltiplos.

### 3.8 Competição

Após a execução das análises preliminares dos dados, levantou-se a possibilidade da influência da competição na produção de árvores de *Bertholletia excelsa*, ainda que Tonini *et al.* (2008b) tenham encontrado uma pequena influência desta variável na produção.

Para quantificar a competição, desenvolveu-se o Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ).

### 3.8.1 Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ )

Para o desenvolvimento do Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ), foi utilizado o princípio do índice de BAL (*Basal Area Larger*), definido por Vaezin (2006) como um índice individual independente do espaço e que, efetivamente, explica a posição relativa da árvore no povoamento.

A modificação proposta no estudo substituiu a área basal por hectare do povoamento pela área basal por hectare de uma parcela circular com 18 metros de raio, tendo como centro a árvore para qual se desejava saber a competição. A substituição da área basal do povoamento pela área basal de uma parcela de área fixa já foi proposta anteriormente por Ivanov (2008) e torna o índice individual e pontual.

Para definição do tamanho da parcela, empregou-se a informação de Tonini *et al.* (2008c) que, trabalhando com as características da copa de Castanheira-do-Brasil em florestas naturais no Estado de Roraima, relatam um diâmetro médio de 16,79 metros, um valor máximo de 28,12 metros e um valor mínimo de 1,50 metros para o diâmetro da copa.

Adicionalmente, foram testados diferentes raios de parcela, com valores próximos ao valor médio de diâmetro de copa observado por Tonini *et al.* (2008c). Devido à parcela circular ter seu ponto central na árvore que se desejava medir a competição, duas árvores com mesmo diâmetro de copa tocam-se quando estão a uma distância igual ao diâmetro desta copa (Figura 10).

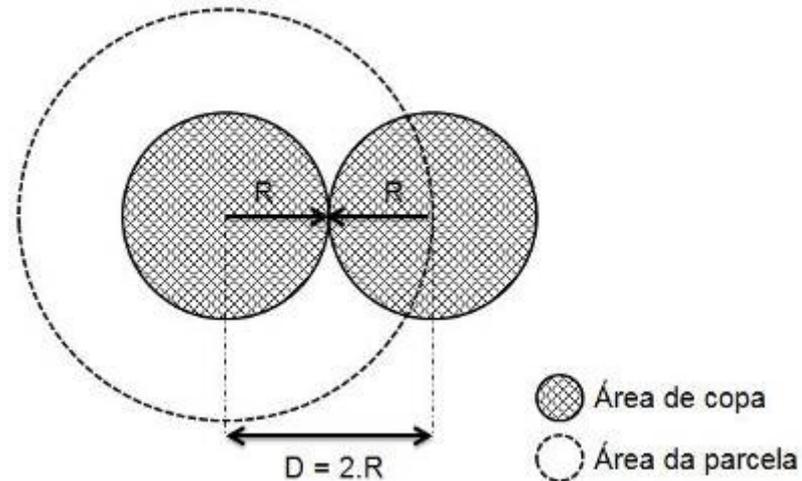


Figura 10 – Desenho esquemático das considerações acerca do tamanho de copa em relação ao tamanho da parcela, demonstrando que duas árvores com mesmo tamanho de copa tocam-se quando a distância entre elas é igual ao diâmetro de copa.

Finalmente, decidiu-se por um raio da parcela de 18 metros, pois, com este tamanho de parcela, o coeficiente de variação começa a estabilizar-se (Figura 11). Cabe mencionar que esta diminuição do coeficiente de variação com o aumento da parcela foi observado por Loetsch *et al.* (1973).

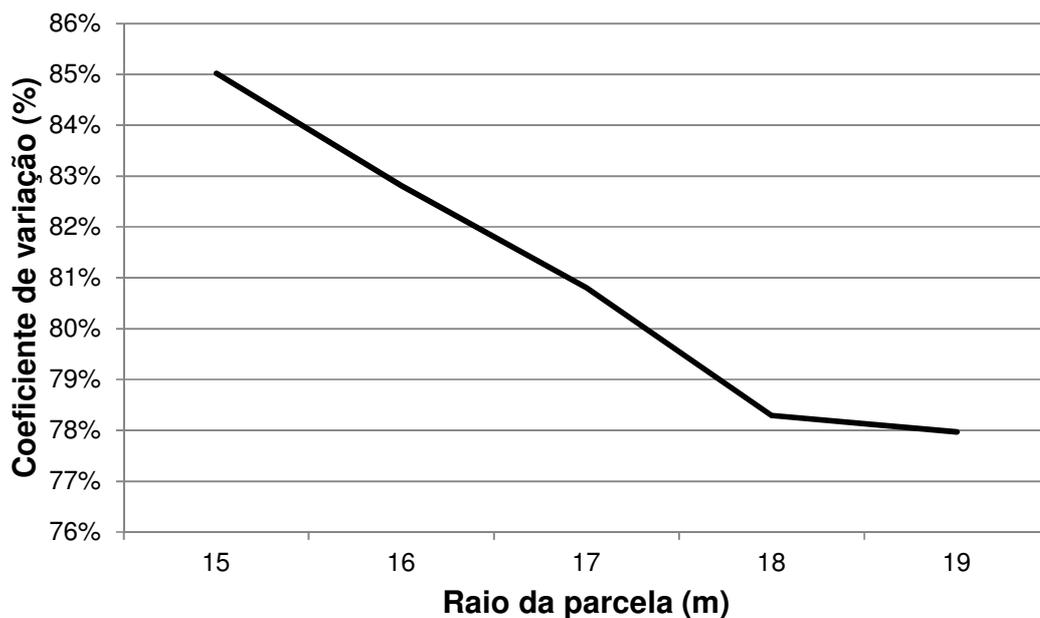


Figura 11 – Decréscimo do coeficiente de variação (%) com o aumento do raio da parcela (m).

Os indivíduos adultos de *Bertholletia excelsa* são, normalmente, emergentes e têm as suas copas acima do dossel da floresta (ZUIDEMA, 2003). Em face desta informação e com o que foi observado na área, optou-se por incluir, no cálculo da competição, apenas as árvores da espécie (competição intraespecífica). Na Figura 12, apresenta-se o desenho esquemático da parcela utilizada para o cálculo do Índice de *Bertholletia*.

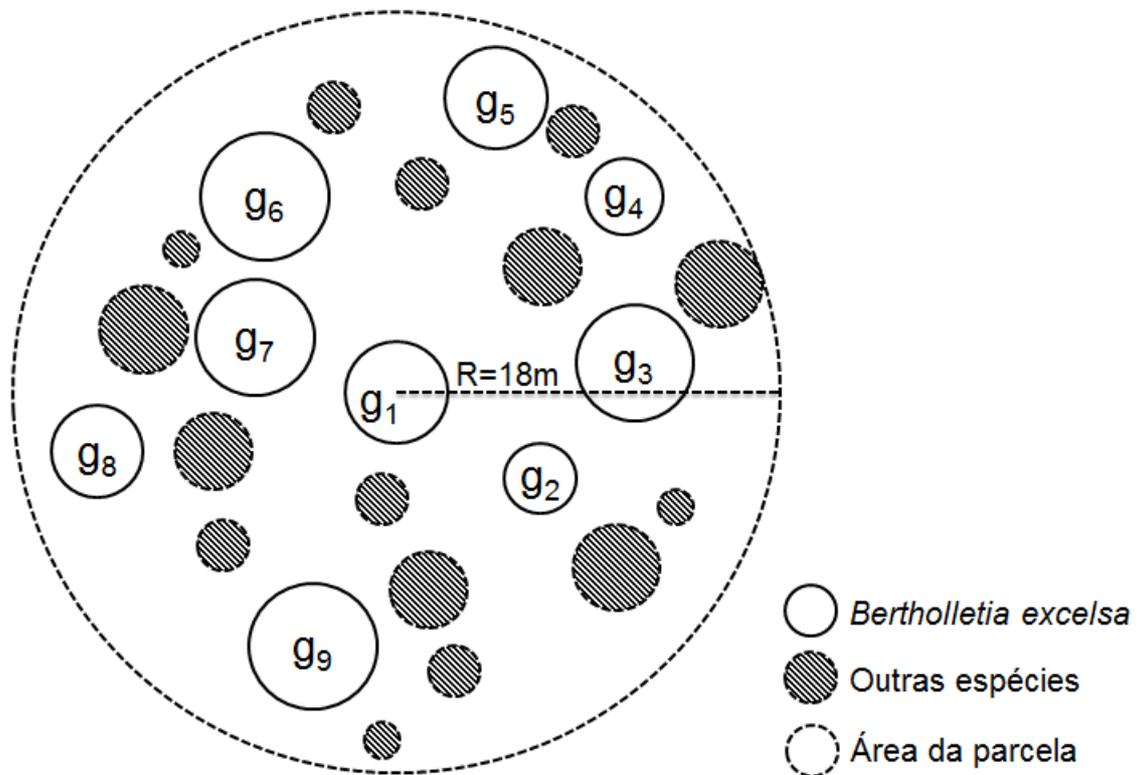


Figura 12 – Desenho esquemático da parcela circular com raio de 18 metros utilizada para a determinação do Índice de *Bertholletia* para a árvore  $g_1$ , evidenciando-se a inclusão de nove árvores de *Bertholletia excelsa* e a exclusão das árvores de outras espécies.

A competição pelo Índice de *Bertholletia* é calculada pela seguinte expressão:

$$I_B = \frac{\left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^n g_i \right) \cdot 10000}{\pi \cdot 18^2} \right]}{g_1} \quad \therefore \quad I_B = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot 9,824379}{g_1}$$

$I_B$  = Índice de *Bertholletia*;  $g_i$  = área basal das árvores incluídas na parcela com 18 metros de raio ( $m^2$ );  
 $g_1$  = área basal da árvore objeto ( $m^2$ ).

Quanto maior o valor obtido pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ), maior é a competição que a árvore está submetida.

### 3.9 Precipitação

Os dados de precipitação adotados neste projeto podem ser acessados na página virtual, oficial, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e são provenientes de Estação Climatológica Convencional, instalada no município de Caracará nas coordenadas geográficas 01° 49' 48,0" de latitude Norte e 61° 07' 12,0" de longitude Oeste.

### 3.10 Diversidade morfológica

Classificaram-se as árvores em dois tipos morfológicos: vermelhas e brancas. O critério usado para a diferenciação foi a análise visual da coloração da madeira no rolo de incremento. Braga (2007) explica que os principais critérios adotados pelos coletores de castanha para a diferenciação dos dois tipos são a coloração da madeira, a forma do tronco e da copa e o potencial produtivo.

Optou-se por não utilizar a classificação visual da forma do tronco e da copa, tendo em vista que duas pessoas classificando as mesmas árvores de maneira separada não obtêm o mesmo resultado de classificação, tornando o fator subjetivo.

O potencial produtivo foi excluído, pois, é justamente a variável de resposta investigada e, por isso, não pode ser incluída para classificar o tipo.

Para comparação entre os tipos de castanheira, incluíram-se apenas as árvores dominantes, com copa completa e sem infestação de cipós para garantir que elas estejam em plenas condições produtivas, também se excluiu as árvores que não produziram frutos.

### 3.11 Análises

#### 3.11.1 Análise exploratória

A análise exploratória dos dados foi realizada no *software* Microsoft Excel 2010 e SPSS Statistics 17.0. Inicialmente, verificaram-se graficamente as variáveis mensuradas contra a produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa*, visando a identificar os erros de medição ou *outliers*. Após esta primeira verificação, obteve-se o banco de dados de trabalho.

Realizou-se a averiguação da correlação de Pearson entre todas as variáveis mensuradas, sendo que tal dado serviu para observar as variáveis com maior influência na produção de frutos e sementes, bem como as correlações existentes entre as variáveis mensuradas.

Na sequência, utilizou-se a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) para observar as variáveis que mais contribuíam para explicar a variância dos dados, como resultado auferiu-se que o diâmetro à altura do peito isoladamente explicava a maior parte da variância dos dados (>75%).

Como o objetivo do trabalho era verificar a influência de variáveis dendrométricas, anatômicas e ambientais na produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa*, optou-se por investigar grupos de variáveis similares e não apenas o diâmetro à altura do peito, conforme sugerido pela Análise de

Componentes Principais. A adoção do diâmetro à altura do peito, para explicar a variação da produção de frutos e sementes, tem sido usada por diversos autores, todavia, mesmo explicando a maior porção da variância, isoladamente não explica a variação da produção de frutos e sementes entre os diferentes anos, nem o motivo de algumas árvores produzirem ou não produzirem frutos e sementes.

### 3.11.2 Análise estatística

A análise estatística foi realizada nos *softwares* Microsoft Excel 2010 e SPSS Statistics 17.0. Para mensurar a correlação entre as diferentes variáveis, utilizou-se o método de correlação linear de Pearson.

Para a modelagem, empregou-se a análise de variância univariada e o procedimento GLM Univariada (*General Linear Model Univariate*) no *software* SPSS 17.0. Ho (2006) registra que, em experimentos envolvendo múltiplas variáveis independentes e uma variável dependente, a análise de variância univariada é usualmente utilizada para responder questões sobre os efeitos das variáveis independentes na variável dependente.

Na variável dependente, incluía-se a variável resposta, na maioria dos casos, o peso de sementes de *Bertholletia excelsa*; e, nas variáveis independentes, as que eram classes eram incluídas como fatores fixos (*fixed factors*) e as de quantidade, como covariáveis (*covariates*). No primeiro passo, iniciava-se a análise declarando o modelo completo com interações e, a cada passo, retirava-se a variável com o menor valor de F que não fosse significativa a 5% de probabilidade, este procedimento era repetido até a obtenção de um modelo totalmente significativo.

Na sequência, era observado se os parâmetros estimados para o modelo atendiam o critério do teste t. No entanto, quando este não era atendido, realizava-se um novo agrupamento da variável e analisava-se novamente para a confirmação do modelo e dos parâmetros estimados pela função.

No trabalho, optou-se pela estatística paramétrica para o cálculo dos modelos pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Acrescente-se que este método pressupõe que as condicionantes de homogeneidade de variância, independência e normalidade sejam atendidas. Como os dados coletados foram provenientes de

floresta nativa, onde cada árvore constituía uma amostra, não foram atendidos os pressupostos.

Brena *et al.* (1978) citam que, nos casos em que não há homogeneidade de variâncias e esta não é possível de corrigir, apenas o cálculo dos valores estimados é admissível.

Nemec (1992) refere que, dentre os testes formais utilizados na validação dos modelos, os resultados para a homogeneidade de variância devem ser usados com cautela, uma vez que os testes podem ser desnecessariamente rigorosos, dado que os métodos ANOVA são robustos contra determinados desvios no modelo.

Considera-se como desvantagem ainda na utilização do método dos mínimos quadrados ordinários, quando os pressupostos não são atendidos. Assim Vanclay (1994) esclarece que os dados não sendo independentes, serão obtidos os parâmetros estimados não tendenciosos, mas a variância deverá ser subestimada, o que pode implicar a aceitação de um modelo mais complexo.

Para a comparação de médias entre diferentes tratamentos, adotou-se o teste paramétrico de comparação de médias de Duncan.

Para o cálculo da Tendência Absoluta (*Bias*), foi empregada a seguinte equação exposta por Schneider *et al.* (2009):

$$\text{BIAS} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

$y_i$ = valor observado;  $\hat{y}_i$ = valor estimado;  $n$ = número de observações.

Já o cálculo do Desvio Padrão Residual Relativo (S%) foi obtido pela seguinte equação que se encontra exposta em Schneider *et al.* (2009):

$$S\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}$$

$y_i$ = valor observado;  $\hat{y}_i$ = valor estimado;  $n$ = número de observações.

### 3.11.3 Diagrama do potencial da produção

Para construção do diagrama do potencial da produção de sementes de *Bertholletia excelsa* adaptou-se a teoria do diagrama de manejo da densidade (dendrograma). Reineke (1933) expressa, neste particular, que o dendrograma é construído com base na relação linear (em escala logarítmica) tamanho-densidade. No presente caso, o diagrama do potencial da produção foi construído com base na relação linear (em escala logarítmica) área do alburno-competição.

O primeiro passo na construção do dendrograma é conhecer a linha de máxima densidade, no presente caso, a linha de máxima competição (descrita pelo Índice de *Bertholletia*). Optou-se pelo ajuste manual da linha de máxima competição, conforme descrita por Meyer (2011), em que são utilizadas as coordenadas  $x$  e  $y$ , das duas parcelas [amostras] de maior densidade para calcular os coeficientes  $\beta_0$  e  $\beta_1$ .

Posteriormente, a determinação da curva de máxima densidade [competição] foi incluída diversas linhas paralelas, proporcionais ao nível de densidade máxima do sítio (GEZAN *et al.*, 2007).

Para a determinação das diferentes linhas do diagrama do potencial da produção tomou-se o valor inteiro do Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ), mais próximo da máxima área de alburno considerada no trabalho, e reduziu-se percentualmente a curva neste ponto para obterem-se as áreas de alburno dos limites de classes. O procedimento baseou-se no exposto nos estudos de Reineke (1933) que gerou, por proporção, a densidade de árvores por hectare, por diâmetro médio, tendo como base a densidade de árvores por hectare no diâmetro padrão de 10 polegadas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados, que se encontram apresentados no presente capítulo, referem-se às diferentes análises realizadas na busca da compreensão da influência das variáveis dendrométricas, climáticas ou edáficas na produção de frutos e sementes de *Bertholletia excelsa*.

### 4.1 Seleção do período de precipitação

Os frutos da *Bertholletia excelsa* levam muito tempo para desenvolverem-se e, em muitos casos, mais do que 12 meses (ZUIDEMA, 2003; MAUÉS, 2002, TONINI, 2011). Assim sendo, ao considerar-se a precipitação como uma variável que influencia a produção, fica a dúvida se é a precipitação do período completo ou a de um dado momento que mais influí na produção.

Procedeu-se à seleção de um período de precipitação (mês ou conjunto de meses) que apresente a maior correlação com a produção, representando, assim, a precipitação como uma variável nos modelos. Para tal, utilizou-se a correlação de Pearson entre o peso de sementes produzidas e 136 períodos distintos de precipitação, os quais correspondem à precipitação mensal a partir de maio do ano anterior à produção até julho do ano de produção e as diversas combinações da soma da produção de meses agrupados dois a dois, três a três, e assim por diante, até a precipitação total entre maio e julho do ano seguinte, incluindo-se ainda a precipitação mínima e máxima do período.

Na Tabela 4, verificam-se os resultados para os cinco períodos de precipitação com maior valor de correlação absoluta com a produção de sementes dentre os 136 períodos verificados.

Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso fresco de sementes (kg) de *Bertholletia excelsa* e diferentes períodos de precipitação, nos anos de 2006 a 2010, Caracaraí, Roraima.

	<b>PP<sub>set</sub></b>	<b>PP<sub>set-abr</sub></b>	<b>PP<sub>out-abr</sub></b>	<b>PP<sub>nov-abr</sub></b>	<b>PP<sub>fev</sub></b>
<b>Peso</b>	0,2288**	0,2269**	0,2240**	0,2173**	-0,2168**

\*\* Correlação significativa a 1% de probabilidade.

**Peso:** peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano); **PP<sub>set</sub>:** precipitação total no mês de setembro; **PP<sub>set-abr</sub>:** precipitação total entre os meses de setembro a abril; **PP<sub>out-abr</sub>:** precipitação total entre os meses de outubro a abril; **PP<sub>nov-abr</sub>:** precipitação total entre os meses de novembro a abril; **PP<sub>fev</sub>:** precipitação total no mês de fevereiro.

A maior correlação encontrada entre o peso de sementes (kg/árvores/ano) e os diversos períodos de produção foi com relação à precipitação do mês de setembro. Sabe-se que o referido mês é caracterizado por uma diminuição sensível da precipitação de chuvas no Estado de Roraima, de modo que os dados indicam que quanto maior for a chuva no mês de transição, maior será a produção.

Adicionalmente, sabe-se pelo trabalho de Tonini (2011) com a fenologia de *Bertholletia excelsa* no sul do estado de Roraima, que setembro é o mês que antecede a emissão dos botões florais, que se inicia entre outubro e dezembro e, sendo assim, uma maior precipitação em setembro pode estimular uma maior produção de botões florais.

A correlação entre o peso de sementes e a precipitação do mês de fevereiro é interessante por ser inversamente proporcional, indicando que quanto maior a quantidade de chuvas neste período, menor a produção de sementes. O período entre os meses de janeiro e fevereiro é caracterizado como o de máxima emissão de botões florais (TONINI, 2011), de tal forma pode-se especular que a precipitação nesta época pode contribuir para queda dos botões florais antes de estarem polinizados.

#### 4.2 Variação do peso médio de sementes por fruto

Realizou-se a análise de variância de um fator, com o objetivo de verificar se o peso médio de sementes por fruto apresenta variações significativas nos diferentes anos. A análise foi executada em separado para duas áreas distintas

(Fazenda Pau-Rainha e Mundo Novo) e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5 e na Tabela 6.

Tabela 5 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de *Bertholletia excelsa* em diferentes anos de produção (2009-2010), Fazenda Mundo Novo, Caracaraí, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre anos	0,003157	1	0,003157	3,4458	0,0691
Dentro dos anos	0,047635	52	0,000916		
Total	0,050792	53			

Tabela 6 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de *Bertholletia excelsa* em diferentes anos de produção (2007-2010), Fazenda Pau-Rainha, Caracaraí, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre anos	0,211186	3	0,070395	21,4977	0,0000
Dentro dos anos	0,615616	188	0,003275		
Total	0,826801	191			

O resultado obtido para a área da Fazenda Mundo Novo (Tabela 5) indica que o peso de sementes por fruto não foi estatisticamente diferente ( $\alpha=5\%$ ) de 2009 para 2010, entretanto, não se pode aferir se o comportamento manter-se-á nos demais anos.

Por outro lado, o resultado obtido para a área da Fazenda Pau-Rainha (Tabela 6), com uma série de dados maior, mostra que o peso de sementes por frutos é estatisticamente diferente ( $\alpha=5\%$ ) entre os anos de 2007 e 2010, demonstrando, portanto, que o peso de sementes por fruto é influenciado por uma ou mais variáveis que são diferentes entre os anos, podendo ser esta, inclusive, de ordem climática.

Este resultado é importante na escolha da variável dependente do modelo de predição da produção, visto que, ao utilizar-se a variável número de frutos, desconsidera-se que um mesmo número de frutos gera produções de sementes diferentes. Como exemplo, faz-se possível citar que a diferença no peso médio de

sementes por fruto do ano de 2008 (118 g/frutos) e 2009 (207 g/frutos) é de aproximadamente 75%. Indica-se para tanto a utilização do peso de sementes como variável dependente e não o número de frutos.

Averiguou-se, na sequência, para a produção de 2009 e 2010 (Tabelas 7 e 8) se existem diferenças significativas do peso médio de sementes por fruto entre as áreas da Fazenda Mundo Novo e de Fazenda Pau-Rainha.

Tabela 7 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de *Bertholletia excelsa* para Fazenda Mundo Novo e Fazenda Pau-Rainha, no ano de 2009, Caracarái, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre áreas	0,163967	1	0,163967	41,2691	0,0000
Dentro das áreas	0,290038	73	0,003973		
Total	0,454005	74			

Tabela 8 – Análise de variância para peso médio de sementes por fruto de *Bertholletia excelsa* para Fazenda Mundo Novo e Fazenda Pau-Rainha, no ano de 2010, Caracarái, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre áreas	0,005974	1	0,005974	3,4852	0,0659
Dentro das áreas	0,125137	73	0,001714		
Total	0,131111	74			

Para o ano de 2009, as duas áreas apresentam produções com diferenças significativas no peso médio de sementes por fruto ( $\alpha=5\%$ ), enquanto, no ano de 2010, as duas áreas evidenciam produções sem diferenças significativas ( $\alpha=5\%$ ), embora, no ano de 2010, a diferença não tenha sido significativa, os resultados apontam que não se pode expandir os resultados de uma área para outra.

Com base nos resultados apresentados, recomenda-se que o peso de sementes seja utilizado para explicitar a produção e que, quando necessário estimar a produção de sementes (kg), a partir do número de frutos, adote-se uma amostra da população na qual se está trabalhando e no ano que se deseja saber a produção.

Em continuidade, procedeu-se à investigação da possível correlação entre a precipitação do mês de setembro do ano anterior à produção e o peso médio de sementes por fruto que resultou em uma correlação de 0,3835 significativa a 1% de probabilidade, tal resultado foi obtido para a área da Fazenda Pau-Rainha por apresentar uma maior série de dados temporais. Optou-se por testar a precipitação como explicação para a diferença entre anos devido ao exposto no trabalho de Kainer *et al.* (2007), o qual consideram o clima como o fator que mais contribuiu para a variação na produção.

A correlação de Pearson observada foi significativa e igual a 0,3825, por conseguinte, a precipitação pode ser tida como um fator que influí na variação anual no peso de sementes por fruto. Resultado semelhante encontra-se descrito por Kainer *et al.* (2007) que encontraram correlação significativa entre número de frutos coletados e a chuva total durante os últimos cinco meses da estação seca.

O resultado obtido, deste modo, está dentro do esperado, uma vez que a variável precipitação pode explicar apenas a variação entre anos, enquanto existem outros fatores como tamanho da árvore, posição da copa da árvore, infestação de liana, variações temporais, outros fatores climáticos, fatores genéticos, condições de solos, interação com polinizadores e interação com predadores de frutos conforme citados por Zuidema (2003) que não foram considerados.

O resultado corrobora Zuidema (2003), ao indicar que a precipitação é diretamente proporcional à produção.

### 4.3 Produção de sementes e variáveis de solo

O solo das áreas de pesquisa foi classificado quanto à profundidade (profundo ou raso), à hidromorfia (presença ou ausência) e três feições diferentes observadas para textura e coloração, doravante denominada de tipo de solo (**Solo 1** de textura franco argilosa arenosa, **Solo 2** de textura argilo-arenosa e **Solo 3** de textura argilosa).

Procedeu-se à modelagem do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* em função das variáveis de solo e da precipitação. Testou-se, inicialmente, o modelo completo com todas as interações entre as variáveis independentes, e foi

eliminando-se, a cada passo, a variável que não atendia ao critério de F. Considerando que tipos de solos distintos apresentam drenagem e retenção de água diferente, optou-se por incluir a precipitação que, no caso, é representada pela precipitação do mês de setembro anterior ao ano de produção, e foi incluída como covariável no modelo.

Na Tabela 9, têm-se as variáveis excluídas em cada passo.

Tabela 9 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de semente de *Bertholletia excelsa* em relação a variáveis de solo, nos diferentes passos de modelagem.

PASSO	VARIÁVEL EXCLUÍDA	F	Sig.
1	Tipo de solo * Profundidade	0,098	0,755
2	Profundidade	1,275	0,259
3	Tipo de solo * Hidromorfia	2,258	0,134
4	Hidromorfia	1,293	0,256
5	Hidromorfia * Precipitação	2,258	0,134
6	$\beta_0$ (intercepto)	1,771	0,184
7	Hidromorfia * Profundidade	2,466	0,062

Após sete passos, mantiveram-se as variáveis tipo de solo e as interações de profundidade \* precipitação e tipo de solo e precipitação.

Fez-se, em continuidade, a verificação dos parâmetros estimados (teste t). A variável tipo de solo foi excluída no primeiro passo, tendo em vista que os distintos solos não apresentarem diferenças significativas para os parâmetros estimados. Neste caso particular, ainda que os coeficientes sejam diferenciados, a grande variância da produção de sementes faz com que o intervalo de confiança para o coeficiente seja demasiadamente grande, o que não os torna estatisticamente diferentes. Agrupou-se o Solo 1 e o Solo 2 (mais similares) em um novo grupo (Solo 1) e realizou-se novamente a análise.

Na Tabela 10, consta a análise da variância para o modelo final de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* em relação a atributos do solo e precipitação, e, na Tabela 11, são apresentados os parâmetros estimados pela função.

Tabela 10 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação a atributos do solo e precipitação.

Fonte da Variação	SQ	GL	QM	F	Sig.
Modelo	43512,367 <sup>a</sup>	3	14504,122	97,386	0,000
Precipitação	39476,669	1	39476,669	265,060	0,000
Tipo de solo * precipitação	6536,207	1	6536,207	43,886	0,000
Profundidade * precipitação	711,805	1	711,805	4,779	0,029
Erro	68659,016	461	148,935		
Total	112171,383	464			

<sup>a</sup> R<sup>2</sup>=0,388 (R<sup>2</sup><sub>ajustado</sub>=0,384)

Tabela 11 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação a atributos do solo e precipitação.

Parâmetros	$\beta$	Erro Padrão	t	Sig.
Precipitação	0,03475	0,006	5,743	0,000
[solo=1] * precipitação	0,06142	0,009	6,625	0,000
[solo=3] * precipitação	0 <sup>a</sup>	.	.	.
[solo profundo] * precipitação	0,01805	0,008	2,186	0,029
[solo raso] * precipitação	0 <sup>a</sup>	.	.	.

<sup>a</sup> este parâmetro é definido para zero porque é redundante.

Na Figura 13, veem-se as retas ajustadas pelo modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação a atributos do solo e precipitação, ficando em evidência que o tipo de solo interagindo com a precipitação apresenta maior influência na produção de sementes do que a profundidade de solo interagindo com a precipitação. Observa-se ainda que a precipitação influencia pouco a produção de sementes no solo 3 raso.

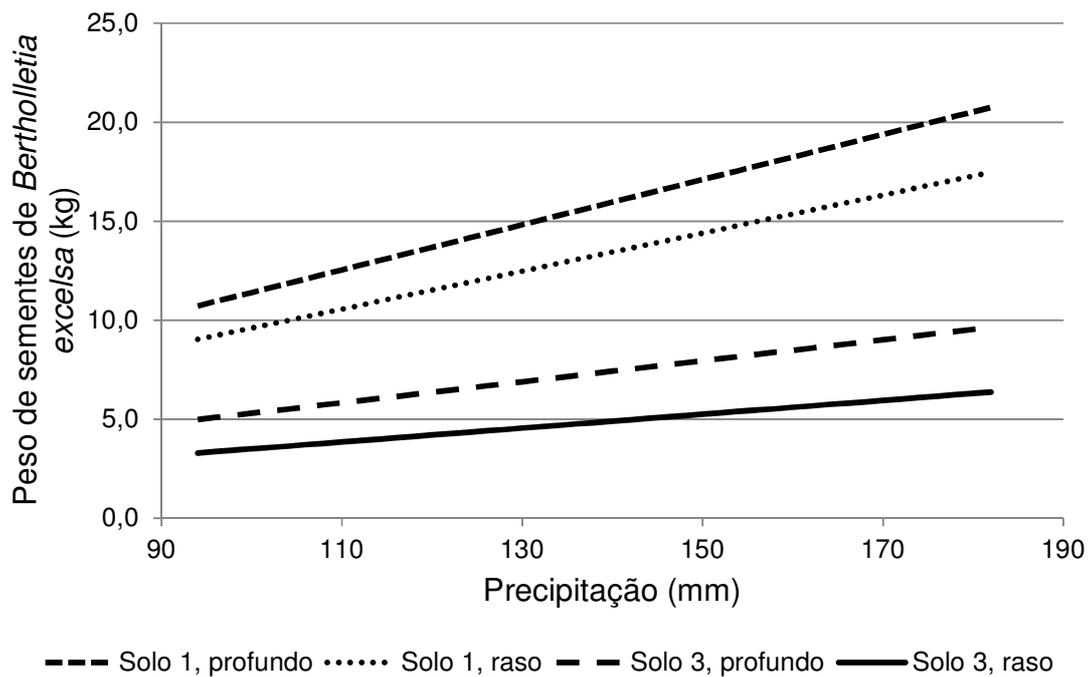


Figura 13 – Retas ajustadas pelo modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* em função dos atributos do solo e precipitação.

Com base nos resultados apresentados, pode-se afirmar que há quatro situações distintas de solo e que influenciam o potencial de produção de sementes de *Bertholletia excelsa*: 1) solo franco argiloso-arenoso profundo; 2) solo argiloso profundo; 3) solo franco argiloso-arenoso raso; 4) solo argiloso raso, onde se esperam as piores produções.

É importante ressaltar que a precipitação utilizada para os cálculos provém de apenas uma Estação Climatológica Convencional, como não há dados de outras estações climatológicas ou dados próprios coletados na área, optou-se pela utilização dos dados oficiais disponíveis para o município de Caracaraí. Se houvessem dados locais (duas estações meteorológicas), possivelmente a interação entre tipo de solo e precipitação seria mais pronunciada no modelo. Levando em conta estas condições, observa-se, de modo geral, que a precipitação é uma variável importante na predição da produção de sementes, apresentando interações diretas com o tipo de solo e a profundidade.

#### 4.4 Produção de sementes e diversidade morfológica

Realizou-se o teste t para amostras independentes, com o objetivo de verificar se castanheiras brancas e vermelhas produzem diferentes pesos médios de sementes por árvore. A análise em questão foi executada com os dados das duas áreas experimentais e o resultado obtido é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Teste t para amostras independentes para peso médio de sementes por tipo (branca ou vermelha) de *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

	<b>t</b>	<b>GL</b>	<b>Sig.</b>
Peso médio de sementes	0,535	80	0,594

Os resultados alcançados indicam que não há diferenças relevantes de produção entre castanheiras brancas e vermelhas quanto ao peso médio de sementes por árvores, contrariando os resultados obtidos por Braga (2007), que descrevem uma produção da castanheira vermelha significativamente maior em comparação à castanheira branca. Cumpre, porém, ressaltar que a comparação realizada entre castanheiras vermelhas e brancas foi apenas entre árvores produtivas e com características semelhantes (dominantes, com copa completa e ausência de cipós na copa) para evitar que estas influam na produção, diferente do trabalho de Braga (2007) que incluiu, em sua amostra, todas as árvores com diâmetro à altura do peito superior a 30 cm.

Zuidema (2003), Wadt *et al.* (2005), Kainer *et al.* (2006), Kainer *et al.* (2007), Tonini *et al.* (2008a; 2008b) consideram o diâmetro à altura do peito, a forma de copa e presença de cipó na copa como fatores que influenciam a produção.

#### 4.5 Produção de sementes e forma do tronco

Realizou-se a avaliação das correlações entre as variáveis de forma do tronco, cociente de forma artificial ( $K_{hi/1,3}$ ), afilamento do tronco (A), fator de forma (f) e volume (v) em relação à produção de sementes por árvore mediante a correlação de Pearson. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 13 e destacam que apenas o afilamento de tronco e o volume indicam correlações significativas com o peso de sementes por árvore.

Tabela 13 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de *Bertholletia excelsa* e diferentes variáveis de forma do tronco, Caracaraí, Roraima.

	$K_{hi/1,3}$	a	v	f
Peso	0,005	-0,098*	0,110*	0,009

\* Correlação significativa a 5% de probabilidade.

**Peso:** peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano);  $K_{hi/1,3}$ : cociente de forma artificial; **A:** afilamento do tronco (cm/m); **v:** volume (m<sup>3</sup>); **f:** fator de forma.

O afilamento do tronco apresentou uma correlação negativa e significativa a 5% de probabilidade, considerando-se, deste modo, que este resultado indica que árvores mais cilíndricas (menor valor de afilamento) tendem a produzir mais frutos do que árvores cônicas (maior valor de afilamento). Braga (2007), trabalhando com os tipos de castanheira, constatou que 73,1% e 11,9% das castanheiras vermelhas e brancas, respectivamente, apresentam tronco cilíndrico, o restante, na respectiva classe, mostrava tronco cônico. Posteriormente, o pesquisador concluiu que as árvores vermelhas (que predominantemente possuem troncos cilíndricos) apresentavam um potencial produtivo maior.

O volume do tronco apresentou correlação positiva e significativa a 5% de probabilidade, a tendência indica que quanto maior o volume (m<sup>3</sup>) do tronco, maior a produção de sementes.

#### 4.6 Forma de copa e área do alburno

No presente trabalho, buscou-se a utilização da área do alburno como um estimador indireto da quantidade de área fotossintetizante (copa), conforme os resultados obtidos por Shinozaki *et al.* (1964a, 1964b), Waring *et al.* (1982) e Morataya *et al.* (1998) que relatam uma correlação entre as duas variáveis.

A medição da área de copa da *Bertholletia excelsa* é, em muitos casos, dificultada por ser uma árvore emergente e com grande dimensão de copa, assim, por conta disso, os erros normalmente ocorrem na determinação do limite da copa. Desta forma, a área do alburno é um método indireto para determinar a capacidade fotossintética da árvore e pode servir de apoio quando se realiza somente a classificação visual das copas.

Procedeu-se à modelagem da área do alburno de *Bertholletia excelsa* em função da forma e da posição da copa para confirmar a hipótese de que há uma relação entre estas variáveis. Testou-se, inicialmente, o modelo completo com todas as interações entre as variáveis independentes, e foi eliminando-se, a cada passo, a variável que não atendia ao critério de F. Na Tabela 14, acham-se as variáveis excluídas em cada passo.

Tabela 14 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de semente de *Bertholletia excelsa* em relação a variáveis de solo nos diferentes passos de modelagem.

PASSO	VARIÁVEL EXCLUÍDA	F	Sig.
1	Posição da copa	0,028	0,598
2	Posição da copa * Forma da copa	0,279	0,757

Após dois passos, manteve-se apenas a variável forma de copa. Fez-se a verificação dos parâmetros estimados (teste t), onde se observou que as árvores com forma de copa completa circular e irregular não se diferenciaram estatisticamente entre si, portanto, foram agrupadas em uma categoria (copa completa). Kainer *et al.* (2007) e Tonini *et al.* (2008) não encontraram diferenças significativas entre a produção de árvores com copa completa circular e irregular.

Com os dados apresentados, pode-se sugerir que tal deve-se as duas classes de copa encontrarem-se em um mesmo patamar fotossintético explicitado pela área de alburno.

Com os grupos redesenhados, realizou-se novamente a análise da variância e os resultados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Análise de variância para a área do alburno em relação a classes de forma da copa de *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Sig.
Entre classes	0,059	1	0,059	7,514	0,007
Dentro das classes	1,081	137	0,008		
Total	1,140	138			

Os resultados expressos na Tabela 15 corroboram com o *Pipe model*, as copas completas (maior área de copa) diferenciaram-se das árvores que possuíam apenas metade da copa (menor área de copa). Como a variável forma de copa é uma classe, a estimativa da área de alburno é dada pela média da classe. Para árvores com copas completa, é esperada uma área de alburno de 0,213664 m<sup>2</sup> e, para árvores com metade da copa, espera-se uma área de alburno de 0,125000 m<sup>2</sup>.

#### 4.7 Área do alburno e competição

Nesta seção, apresentar-se-ão os resultados obtidos para a relação entre a área de alburno individual e a competição entre árvores de *Bertholletia excelsa* descrita pelo índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ). Quanto maior o valor obtido pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ), maior é a competição a qual a árvore está submetida no momento.

Na Figura 14 observa-se que a máxima área de alburno em relação ao número de árvores de *Bertholletia excelsa* por hectare é dada por uma curva exponencial negativa.

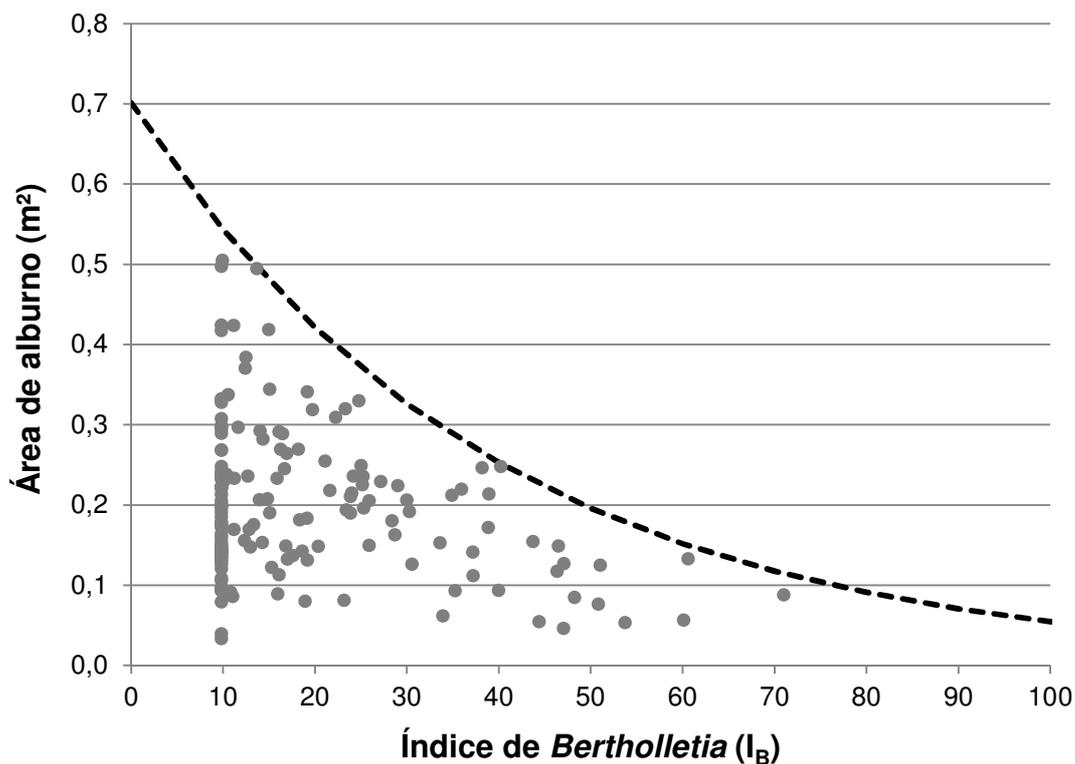


Figura 14 – Área de alburno (m<sup>2</sup>) e relação à competição descrita pelo Índice de *Bertholletia* (I<sub>B</sub>), Caracaraí, Roraima.

Para obtenção da curva de máximo, aplicou-se o logaritmo na variável área de alburno e traçou-se uma reta que tangencia os dois pontos mais externos, assim, a partir deste procedimento, obtém-se os coeficientes  $\beta_0$  e  $\beta_1$ , posteriormente, aplicando-se o anti-logaritmo, obteve-se a seguinte função:

$$g_{\text{alb}} = 0,7 \cdot e^{-(0,0255 \cdot N)}$$

Como resultado, observou-se que quanto maior a competição, menor será a área de alburno, dado que estaria de acordo com o observado por Schneider e Schneider (2008), os quais referem que quanto mais denso o povoamento, menor é a área das copas em relação ao diâmetro do fuste. O resultado mostra-se alinhado com o proposto no *Pipe Model* conforme resultados de Shinozaki *et al.* (1964a, 1964b), Oohata e Shinozaki (1979), Waring (1982) e Morataya (1999) em que uma área específica de alburno serve uma quantidade de material fotossintético.

Chapman e Meyer (1949) e Smith (1962) observaram que o crescimento de uma árvore é sensível a sua área foliar e, por sua vez, a área foliar é afetada pela competição com a vizinhança, de tal forma que se espera uma redução da área foliar com o aumento da competição.

Os resultados obtidos permitem supor que, com um valor de  $I_B$  superior a 50, a competição começa a tornar-se alta, diminuindo as possibilidades de haver árvores com copas completas (conforme abordado na seção 4.6). Tal diminuição gera uma conseqüente menor área do alburno e, por fim, uma esperada queda no potencial produtivo das árvores de *Bertholletia excelsa*.

#### 4.8 Produção de sementes e área do alburno

Nesta seção, abordam-se as relações entre a produção de sementes de *Bertholletia excelsa* e a sua área de alburno. Primeiramente, foi realizado o teste de correlação de Pearson (Tabela 16), entre o diâmetro à altura do peito ( $d$ ), diâmetro na inserção da copa ( $d_i$ ), área do alburno ( $g_{alb}$ ), área basal ( $g$ ), área basal na inserção da copa ( $g_i$ ) e o peso de sementes, para verificar e comparar a correlação da área do alburno contra variáveis comumente mensuradas.

Tabela 16 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de *Bertholletia excelsa* e diferentes variáveis dendrométricas, Caracaraí, Roraima.

	$d$	$d_i$	$g_{alb}$	$g$	$g_i$
<b>Peso</b>	0,147**	0,129**	0,154**	0,123**	0,101*

\*\* Correlação significativa a 1% de probabilidade.

\* Correlação significativa a 5% de probabilidade.

**Peso:** peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano); **d:** diâmetro à altura do peito; **d<sub>i</sub>:** diâmetro na inserção da copa; **g<sub>alb</sub>:** área do alburno; **g:** área basal; **g<sub>i</sub>:** área basal na inserção da copa.

Dentre as variáveis dendrométricas avaliadas neste item, a área do alburno apresentou uma maior correlação com o peso de sementes de *Bertholletia excelsa*, demonstrando que pode ser utilizada para avaliar o potencial produtivo.

A área do alburno, indiretamente, refere-se à área fotossintética (copa) da árvore, conforme abordado na seção 4.5 deste trabalho. Zuidema (2003) afirma que 50% da variação na produção de frutos pode ser explicada pela área de copa, que é um melhor preditor da produção do que o diâmetro à altura do peito. Todavia, Keiner *et al.* (2007) verificaram que o diâmetro foi a variável de maior importância para explicar a variação da produção de frutos.

Na sequência, realizou-se uma análise visual da produção em quilos de semente por árvore contra a área do alburno, buscando compreender melhor como a área do alburno afeta a produção. Na Figura 15, apresenta-se o resultado da análise visual até a área de alburno de 0,125 m<sup>2</sup>, o equivalente ao alburno esperado para uma árvore com metade da copa.

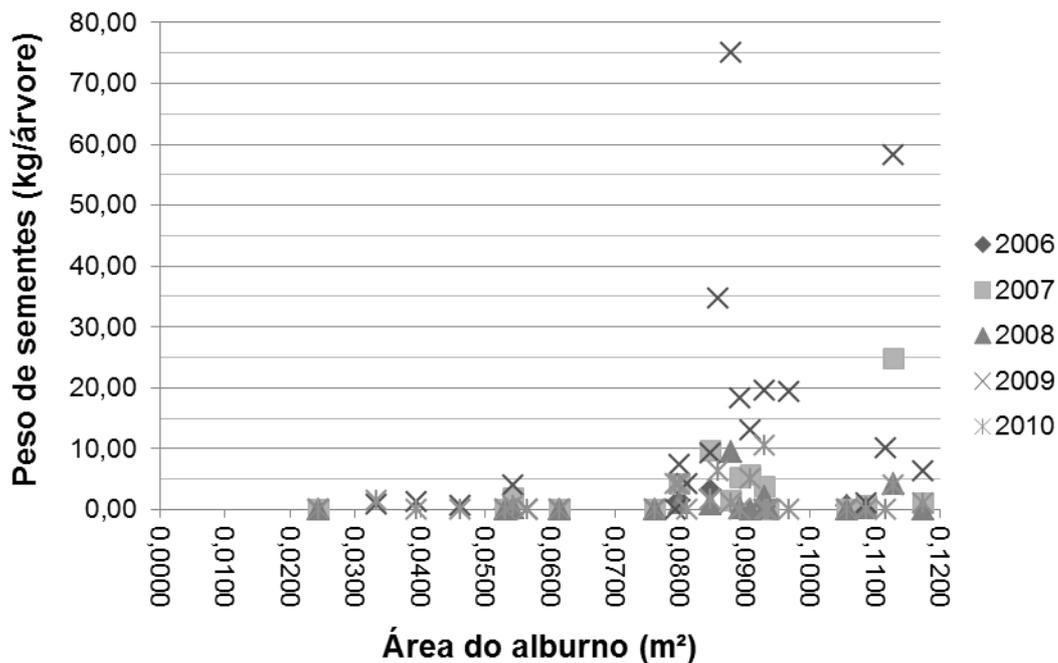


Figura 15 – Peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* por área do alburno no período de 2006 a 2010, Caracaraí, Roraima.

Na Figura 15, nota-se que a produção de frutos, quando a área do alburno é inferior a 0,075 m<sup>2</sup>, é sempre baixa (menor do que cinco quilos), mas, acima deste patamar, encontram-se árvores com produções médias (cinco a 10 quilos) e altas (acima de 10 quilos), de acordo com a classificação de produção proposta por Tonini

*et al.* (2008). Cumpre acrescentar que as árvores com área de alburno inferior a 0,030 m<sup>2</sup> não foram produtivas em nenhum momento.

A área de alburno de 0,075 m<sup>2</sup> e de 0,030 m<sup>2</sup> equivale, respectivamente, a 60% e 24% da área de alburno média esperada para uma árvore com metade da copa. Estes valores, por sua vez, mostram-se úteis para a divisão de classes de alburno.

Foram criadas seis classes de alburno para averiguar a influência delas na produção de sementes, as classes encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 – Proposição de classes de alburno para *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

<b>CLASSE</b>	<b>LIMITE INFERIOR</b>	<b>LIMITE SUPERIOR</b>	<b>CRITÉRIO DO LIMITE SUPERIOR</b>
1	0,00000	0,03125	-75% da área de alburno média para árvore com metade da copa
2	0,03126	0,07500	-40% da área de alburno média para árvore com metade da copa
3	0,07501	0,17000	Média entre área de alburno de árvore com metade da copa e copa completa
4	0,17001	0,29960	+40% da área de alburno média para árvore com copa completa
5	0,29961	0,37450	+75% da área de alburno média para árvore com copa completa
6	0,37451	0,5136	+140% da área de alburno média para árvore com copa completa

A classe de número 3 (três) contempla a área de alburno média para árvores com metade da copa (0,125 m<sup>2</sup>) e a classe de número 4 (quatro), a área de alburno média para árvores com copa completa (0,214 m<sup>2</sup>).

Todas as árvores selecionadas na parcela permanente foram ajustadas por classe de alburno e a produção nestas classes foi comparada por meio da análise

de variância (Tabela 18) e suas médias foram comparadas pelo teste de Duncan (Tabela 19).

Tabela 18 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de alburno de *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Sig.
Entre classes	4940,908	5	988,182	6,112	0,000
Dentro das classes	87308,506	540	161,682		
Total	92249,414	545			

Tabela 19 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes por classes de alburno de *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

CLASSES	N	SUBCONJUNTO PARA $\alpha=0,05$		
		1	2	3
1	4	0,000000		
2	21	0,500000		
3	213	5,759272	5,759272	
4	247	7,444320	7,444320	7,444320
6	26		11,276846	11,276846
5	35			16,305714
<b>Sig.</b>		<b>0,132</b>	<b>0,249</b>	<b>0,062</b>

Média para classes em subconjuntos homogêneos é exibida.

Os resultados apresentados indicam que as classes 6 (seis) e 5 (cinco) são as classes de alburno mais produtivas, diferenciando-se completamente das piores classes de produção (subconjunto 1).

É interessante ressaltar que o aumento indistinto da área de alburno nem sempre causa um aumento no peso de sementes de *Bertholletia excelsa*, na classe 6 (seis), por exemplo, em que se encontram as maiores áreas de alburno, a produção, ainda que não diferenciada estatisticamente, é ligeiramente menor do que a da classe 5 (cinco) com menor área de alburno. Assim sendo, equivale, pois, afirmar que mesmo possuindo uma maior quantidade de material fotossintético acima de 0,170001 m<sup>2</sup> de área do alburno, não há diferenças significativas na produção de sementes.

#### 4.9 Produção de sementes e variáveis anatômicas

As variáveis anatômicas referem-se a classes de largura e agrupamento dos vasos, presença e ausência de máculas observadas no rolo de incremento. Como análise exploratória, realizou-se a correlação entre estas variáveis e o peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (Tabela 20).

Tabela 20 – Coeficiente de correlação de Pearson para peso de sementes de *Bertholletia excelsa* e diferentes variáveis anatômicas, Caracaráí, Roraima.

	<b>Peso</b>	<b>vasos<sub>larg.</sub></b>	<b>vasos<sub>agrup.</sub></b>	<b>n<sub>máculas</sub></b>	<b>Máculas</b>
<b>Peso</b>	1	-0,161**	0,201**	0,017	0,031
<b>vasos<sub>larg.</sub></b>	-0,161**	1	-0,236**	0,025	0,005
<b>vasos<sub>agrup.</sub></b>	0,201**	-0,236**	1	0,014	0,086
<b>n<sub>máculas</sub></b>	0,017	0,025	0,014	1	0,813**
<b>máculas</b>	0,031	0,005	0,086	0,813**	1

\*\* Correlação significativa a 1% de probabilidade.

**Peso:** peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano); **vasos<sub>larg.</sub>**: classe de largura dos vasos; **vasos<sub>agrup.</sub>**: classe de agrupamento de vasos; **n<sub>máculas</sub>**: número de máculas; **máculas**: presença ou ausência de máculas.

As variáveis que incluem as máculas encontradas no rolo de incremento não apresentaram correlações significativas com o peso de sementes, entretanto, sugere-se que esta variável seja utilizada para explicar casos individuais. Zenid e Ceccantini (2007, p. 18) registram que “máculas são estruturas com aspecto de parênquima, sem formato definido que formam-se geralmente como resultado de lesões diversas (geada, fogo, impacto, insetos)”.

A largura dos vasos apresentou correlação negativa significativa com o peso de sementes, o que representa uma tendência de árvores com vasos menores produzirem mais sementes. O agrupamento de vasos também foi significativo, de modo que o seu resultado indica que árvores com vasos múltiplos apresentam uma tendência a produzir mais sementes do que árvores com vasos solitários.

Com o objetivo de verificar a validade das classes determinadas, realizou-se a análise de variância de um fator (Tabela 21) para agrupamento de vasos.

Tabela 21 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de agrupamento de vasos em *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre classes	3373,943	1	3373,943	19,368	0,000
Dentro das classes	80480,739	462	174,201		
Total	83854,682	463			

O resultado, apresentado na Tabela 21, indica que o agrupamento dos vasos, se múltiplos ou solitários, geram produções de sementes por árvores significativamente diferentes.

Efetuuou-se também a análise de variância de um fator (Tabela 22) com posterior teste de Duncan (Tabela 23) para largura dos vasos.

Tabela 22 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de largura de vasos em *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre classes	3928,369	2	1964,185	11,329	0,000
Dentro das classes	79926,313	461	173,376		
Total	83854,682	463			

Tabela 23 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes (kg/árvore) por classes de largura de vasos em *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

<b>CLASSES</b>	<b>N</b>	<b>SUBCONJUNTO PARA <math>\alpha=0,05</math></b>	
		<b>1</b>	<b>2</b>
3	143	6,38	
2	276	7,12	
1	45		16,63
<b>Sig.</b>		<b>0,706</b>	<b>1,000</b>

Média para classes em subconjuntos homogêneos é exibida.

Classe 1: Vasos pequenos; Classe 2: Vasos médios; Classe 3: Vasos grandes.

Os resultados, que se encontram na Tabela 23, apontam que não há diferenças na produção de sementes entre os vasos de largura média e grande, ao passo que estes, por sua vez, diferenciaram-se estatisticamente dos vasos pequenos. Raven (2001) alude que os vasos mais largos são mais eficientes para a condução de água do que vasos estreitos, mas os primeiros também tendem a ser mais longos e, deste modo, mais sujeitos à formação de bolhas de ar (embolia) do que os vasos estreitos.

Para buscar um maior entendimento, as classes de largura e agrupamento foram realocadas com base nos resultados apresentados. Quanto à largura dos vasos, passou-se a considerá-los **estreitos** (composto pelos da classe pequenos) e **largos** (composto pelos médios e grandes que não se diferenciaram estatisticamente pelo teste de Duncan). Adicionou-se lhes o agrupamento dos vasos (solitários ou múltiplos).

Assim sendo, as classes passaram a serem as seguintes: vasos estreitos solitários (1), vasos estreitos múltiplos (2), vasos largos solitários (3) e vasos largos múltiplos (4), que podem ser observadas na Figura 16.

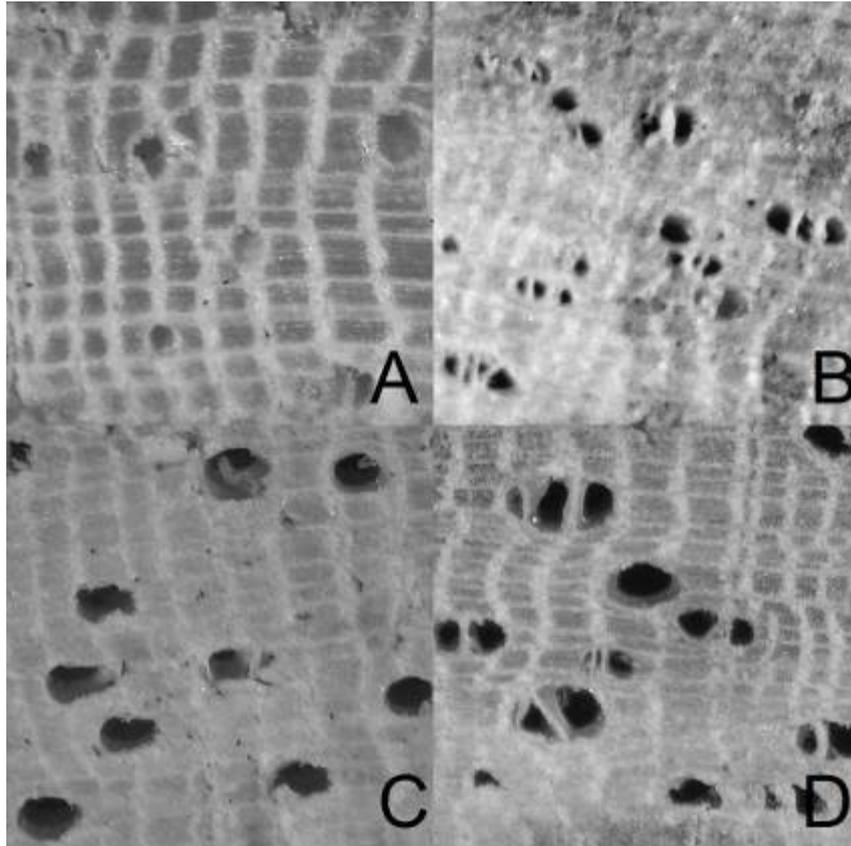


Figura 16 – Classes de vasos, imagens com mesmo tamanho e aumento de 26 vezes. A) Vasos estreitos solitários; B) Vasos estreitos múltiplos; C) Vasos largos solitários; D) Vasos largos múltiplos.

Executou-se a análise de variância de um fator (Tabela 24) com posterior Teste de Duncan (Tabela 25) para esta característica.

Tabela 24 – Análise de variância para a produção de sementes em relação a classes de largura e arranjo de vasos em *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F	Sig.
Entre classes	6838,438	3	2279,479	13,615	0,000
Dentro das classes	77016,244	460	167,427		
Total	83854,682	463			

Tabela 25 – Teste de Duncan para comparação de médias de produção de sementes (kg/árvore) por classes de largura e arranjo de vasos em *Bertholletia excelsa*, Caracaraí, Roraima.

CLASSES	N	SUBCONJUNTO PARA $\alpha=0,05$	
		1	2
3	366	5,85	
4	53		13,85
2	14		16,37
1	31		16,75
<b>Sig.</b>		<b>1,000</b>	<b>0,403</b>

Média para classes em subconjuntos homogêneos é exibida.

Classe 1: Vasos estreitos solitários; Classe 2: Vasos estreitos múltiplos; Classe 3: Vasos largos solitários; Classe 4: Vasos largos múltiplos.

Os resultados obtidos mostraram que, predominantemente, entre as árvores amostradas (78,9%), apresentam-se vasos largos e solitários, nesta classe, espera-se uma produção inferior se comparada com as demais classes.

Cohen *et al.* (2008), ao estudar funções que descrevem a distribuição em profundidade da velocidade de seiva, evidenciaram uma mudança no diâmetro dos vasos ativos com a profundidade e a idade do alburno. Os autores levantaram a hipótese de que pode haver um aumento da embolia em vasos com a idade do xilema, o que levaria à diminuição da velocidade com a profundidade no alburno, dado que vasos mais largos são mais suscetíveis à embolia.

Pode-se supor, com base no apresentado, que diâmetros diferentes de vasos podem suprir mais ou menos a árvore, devido a diferentes fatores como a velocidade, a profundidade do alburno e o potencial hídrico do sítio em que se encontram, e que, aparentemente, árvores com vasos largos e solitários tendem a produzir menos sementes.

## 4.10 Potencial produtivo de sementes

Busca-se, neste ponto, agrupar as informações analisadas, apresentando alternativas para a estimativa do potencial produtivo de sementes de *Bertholletia excelsa* por árvore.

### 4.10.1 Árvores não produtivas

Dentre as características estudadas, espera-se que as árvores não sejam produtivas em nenhum momento quando possuírem área de alburno inferior a 0,03125 m<sup>2</sup> (classe 1), ou que possuam menos que 75% da área de alburno média obtida para árvores classificadas como possuidoras de metade da copa.

Aplicando-se à área de alburno limite para o início da produção, na função de máxima área do alburno em relação a competição, espera-se que a Castanheira-do-Brasil não seja produtiva quando o valor de competição descrito pelo índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ) seja de aproximadamente 122.

### 4.10.2 Árvores de baixa produção

Com os resultados obtidos, observou-se que as árvores que terão baixas produções são as que possuem área do alburno inferior a 0,07500 m<sup>2</sup> (classe 2), ou que possuam menos que 40% da área de alburno média obtida para árvores classificadas como possuindo metade da copa.

Árvores submetidas à competição descrita pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ) superior a 87, não devem apresentar produção superiores a 5 (cinco) kg.

#### 4.10.3 Árvores com máximo potencial produtivo

As árvores que apresentam máximo potencial produtivo ocorrem em solos profundos com textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa, com copa completa, em áreas submetidas à competição descrita pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ) inferior a 33, que não apresentem vasos largos solitários e que se encontrem com uma área de alburno entre 0,29961 e 0,37450 m<sup>2</sup> (classe 5).

Devido a pouca repetição dos dados nesta classe, não é possível descrever um modelo produtivo para árvores com máximo potencial produtivo. Pode-se, contudo, especular que as árvores com produção excepcional devem situar-se, prioritariamente, nesta classe. Considera-se, por exemplo, a árvore 4012, que apresentou a maior produção dentre todos os anos amostrados, produziu 120,63 kg, 58% a mais que a árvore 4040 que foi a segunda que mais produziu e, por sua vez, encontra-se na mesma categoria produtiva.

Mesmo considerando que esta classe inclua as árvores com máximo potencial produtivo, não se exclui a possibilidade de, em alguns anos, as árvores não produzirem frutos, fato que ocorreu com as árvores de números 4012 e 5014. A quebra de produção deu-se no ano de 2010 e coincide com a menor precipitação registrada em setembro do ano de 2009 (94 mm), enquanto os eventos relacionados a produções excepcionais referem-se à produção de 2009, quando, em setembro de 2008, registrou-se a maior precipitação (182 mm).

#### 4.10.4 Árvores com potencial médio

Devido à grande variação na produção da *Bertholletia excelsa* entre anos e entre árvores observada por diversos autores, dos quais se destaca Zuidema (2003), Kainer *et al.* (2007) e Tonini *et al.* (2008a, 2008b), não tem sido possível encontrar um modelo que possa descrever com grande precisão a produção de sementes ou frutos da espécie.

Buscando apresentar um modelo, ainda que longe de ser definitivo, mas que possa servir de auxílio na predição da produção da Castanheira-do-Brasil, retirou-se

da amostra as árvores que não são produtivas, as que sempre apresentaram produção baixa e aquelas com máximo potencial produtivo, seguindo os critérios que as distinguem e são apresentados nas seções 4.10.1, 4.10.2 e 4.10.3 respectivamente, por constituírem normalmente *outliers* se inclusos.

As variáveis que foram incluídas no modelo foram a precipitação (Seção 4.1 e 4.2), a profundidade do solo (Seção 4.3), o afilamento (Seção 4.5), a área do alburno (Seção 4.6, 4.7 e 4.8), as classes de vasos (Seção 4.9),

Realizou-se o exaustivo processamento de diversos modelos, incluindo todas as variáveis e foi reduzindo-se até a obtenção de um modelo significativo a 5% de probabilidade.

Na Tabela 26, vê-se a análise de variância para o modelo de predição da produção de sementes de *Bertholletia excelsa* em relação à precipitação do mês de setembro do ano anterior à produção, ao tipo de solo e à área do alburno

Tabela 26 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação à área do alburno, precipitação e tipo de solo, Caracaraí, Roraima.

Fonte da Variação	SQ	GL	QM	F	Sig.
Modelo	11886,641 <sup>a</sup>	3	3962,214	35,173	0,000
Intercepto	1225,279	1	1225,279	10,877	0,001
Precipitação	6533,360	1	6533,360	57,998	0,000
Área do alburno	500,091	1	500,091	4,439	0,036
Tipo de Solo	4492,227	1	4492,227	39,878	0,000
Erro	50466,434	448	112,548		
Total	62353,075	451			

<sup>a</sup> R<sup>2</sup>=0,191 (R<sup>2</sup><sub>ajustado</sub>=0,185)

Na Tabela 27, estão expressos os parâmetros estimados para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa*, em relação à área do alburno, à precipitação e ao tipo de solo.

Tabela 27 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação à área do alburno, à precipitação e ao tipo de solo, Caracaraí, Roraima.

Parâmetros	$\beta$	Erro Padrão	t	Sig.
Intercepto	-11,15970	2,235	-4,993	0,000
Precipitação (mm)	0,103636	0,014	7,616	0,000
Área de alburno (m <sup>2</sup> )	11,699216	5,553	2,107	0,036
[solo 1] <sup>b</sup>	7,402673	1,172	6,315	0,000
[solo 2] <sup>c</sup>	0 <sup>a</sup>	.	.	.

<sup>a</sup> este parâmetro é definido para zero porque é redundante.

<sup>b</sup> solo de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa.

<sup>c</sup> solo de textura argilosa.

O modelo proposto para a predição do peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa*, em solos de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa é:

$$\text{Peso} = -3,757027 + 0,103636 \cdot \text{PP}_{\text{Set}} + 11,699216 \cdot \text{g}_{\text{alb}}$$

**Peso:** peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano); **PP<sub>set</sub>:** precipitação total no mês de setembro do ano anterior ao da produção predita (mm); **g<sub>alb</sub>:** área do alburno (m<sup>2</sup>).

O modelo proposto para predição do peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* em solos de textura argilosa é:

$$\text{Peso} = -11,15970 + 0,103636 \cdot \text{PP}_{\text{Set}} + 11,699216 \cdot \text{g}_{\text{alb}}$$

**Peso:** peso fresco de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg/árvore/ano); **PP<sub>set</sub>:** precipitação total no mês de setembro do ano anterior ao da produção predita (mm); **g<sub>alb</sub>:** área do alburno (m<sup>2</sup>).

Compatível com os resultados obtidos anteriormente, observa-se que uma maior precipitação no mês de setembro aliada ao aumento da área do alburno tendem a gerar maiores produções de sementes de *Bertholletia excelsa*. Por fim, confirma-se um maior potencial produtivo para os solos de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa (solo 1) comparado ao solo de textura argilosa (solo 2).

Com os resultados, efetuou-se o cruzamento das informações de competição (Índice de *Bertholletia*), área de alburno e modelo de predição, construindo-se diagramas de potencial da produção de sementes de *Bertholletia excelsa*. Para

confeccção dos diagramas, tomou-se o valor de  $I_B$  igual a 12, por ser o valor mais próximo da máxima área de alburno considerada ( $0,5136 \text{ m}^2$ ), e reduziu-se percentualmente a curva neste ponto para obterem-se as áreas de alburno dos limites de classes, sendo estas áreas  $0,3745$ ,  $0,2996$ ,  $0,1700$  e  $0,075 \text{ m}^2$ . Nota-se ainda que, para áreas de alburno inferiores a  $0,075 \text{ m}^2$ , espera-se que a produção nunca exceda 5 (cinco) kg, conforme abordado na Seção 4.10.2.

Com este procedimento, pode-se, pois, graduar diferentes expectativas de produção para uma mesma competição com diferentes áreas de alburno, sendo que tal princípio baseou-se no Dendrograma de Manejo da Densidade.

O diagrama de potencial da produção de sementes de *Bertholletia excelsa*, para os solos 1 (um) e 2 (dois), nas precipitações de setembro de 94 e 182 milímetros (mínima e máxima registrada, respectivamente) é apresentado na Figura 17.

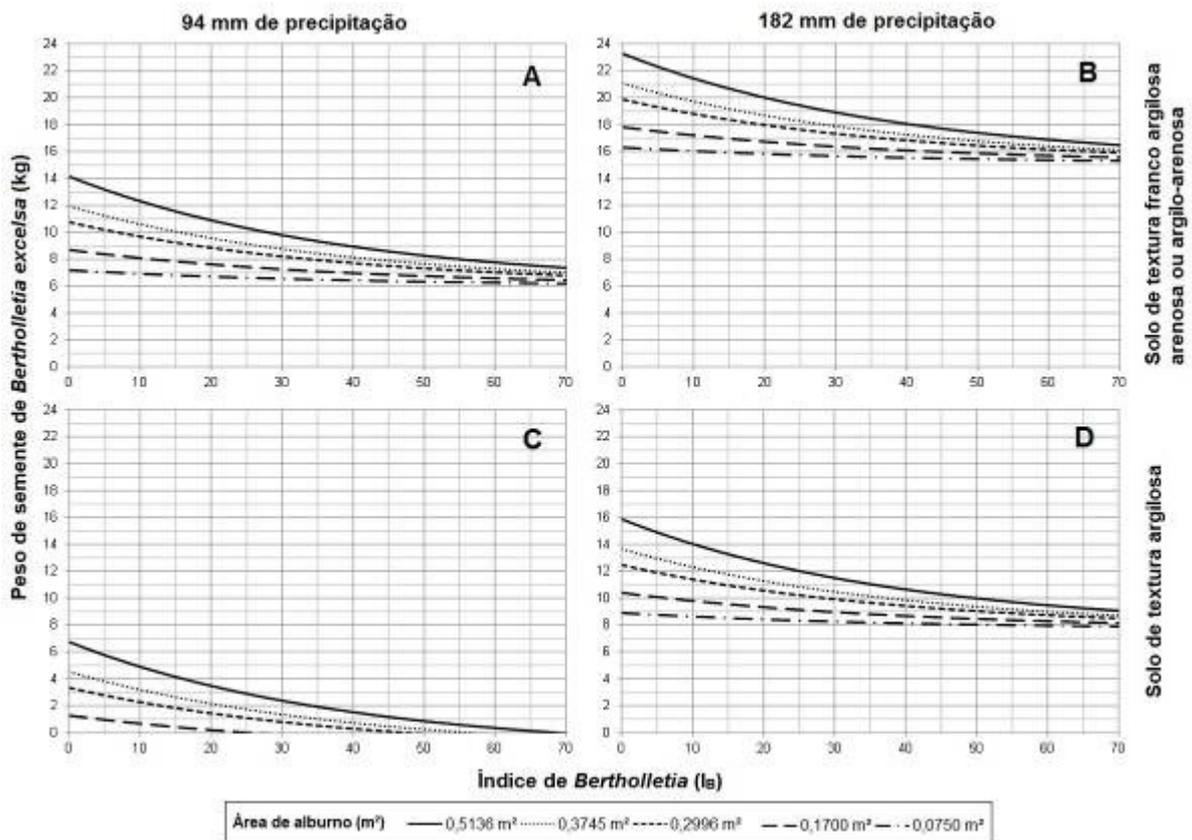


Figura 17 – Diagrama do potencial da produção de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em função do Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ), para precipitação de 94 e 182 mm em solos de textura franco argiloso-arenosa ou argilo-arenosa e de textura argilosa, Caracará, Roraima.

O modelo deve ser utilizado com ressalvas uma vez que a produção da Castanheira-do-Brasil apresenta uma grande variação devido a diversas variáveis de ordem climática, sítio, dendrométrica, genética e até mesmo anatômica, das quais o conhecimento é apenas incipiente.

#### 4.10.5 Comparação entre modelos

A predição da produção de frutos e/ou sementes da Castanheira-do-Brasil tem empregado amplamente variáveis dendrométricas de fácil obtenção como o diâmetro à altura do peito, quadrado do diâmetro à altura do peito, forma da copa e presença de cipó na copa (ZUIDEMA, 2003; WADT *et al.*, 2005; KAINER *et al.*, 2007). Para compararem-se as diferenças entre o modelo proposto e modelos com variáveis dendrométricas de fácil obtenção (diâmetro à altura do peito, quadrado do diâmetro à altura do peito, forma da copa e presença de cipó na copa), realizou-se a modelagem dos dados, utilizando estas variáveis. Posteriormente, compararam-se os resultados alcançados com os dois modelos.

Na Tabela 28, verificam-se as variáveis excluídas do modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção nos diferentes passos.

Tabela 28 – Valor de F e significância para as variáveis excluídas do modelo produção de sementes de *Bertholletia excelsa* em relação a variáveis dendrométricas de fácil obtenção nos diferentes passos de modelagem.

<b>PASSO</b>	<b>VARIÁVEL EXCLUÍDA</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
1	Cipó na copa	1,050	0,370
2	Forma da copa	2,256	0,106

Na Tabela 29, é apresentada a análise da variância para o modelo final de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* em relação a variáveis dendrométricas de fácil obtenção, e, na Tabela 30, os parâmetros estimados pela função.

Tabela 29 – Análise de variância para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação a variáveis tradicionalmente utilizadas.

Fonte da Variação	SQ	GL	QM	F	Sig.
Modelo	2928,190 <sup>a</sup>	3	1464,095	8,340	0,000
Intercepto	842,973	1	842,973	4,802	0,029
d	1652,726	1	1652,726	9,415	0,002
d <sup>2</sup>	1123,924	1	1123,924	6,402	0,012
Erro	80926,492	461	175,546		
Total	112171,383	464			

<sup>a</sup> R<sup>2</sup>=0,035 (R<sup>2</sup><sub>ajustado</sub>=0,031)

**d**: diâmetro à altura do peito; **d<sup>2</sup>**: quadrado do diâmetro à altura do peito.

Tabela 30 – Parâmetros estimados para o modelo de predição do peso de sementes de *Bertholletia excelsa* (kg) em relação a variáveis tradicionalmente utilizadas.

Parâmetros	$\beta$	Erro Padrão	t	Sig.
Intercepto	-13,23386	6,039	-2,191	0,029
d	0,321507	0,105	3,068	0,002
d <sup>2</sup>	- 0,00110304	0,000	-2,530	0,012

**d**: diâmetro à altura do peito; **d<sup>2</sup>**: quadrado do diâmetro à altura do peito.

Na sequência, aplicou-se o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção e o modelo proposto, que inclui as variáveis: área de alburno, tipo de solo e precipitação, nas árvores amostradas e efetuou-se a comparação dos erros obtidos.

A primeira comparação foi efetuada nas árvores não produtoras e nas que apresentam produções baixas (até cinco quilos), o modelo com as dendrométricas de fácil obtenção superestimou o peso de sementes da classe em 8,75 vezes, enquanto o modelo proposto neste trabalho superestima a produção da classe em 6,24 vezes. A diferença entre o estimado pelos dois modelos é de 796 quilos a mais, estimada pelo modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção.

A estimativa não é acurada para a maioria das árvores nestas classes, entretanto, a área do alburno consegue identificar 5,7% dos casos onde as árvores não são produtoras ou produzirão menos do que cinco quilos. Até o momento, o diâmetro era considerado um fator que explicava a não produção das árvores, desta

forma, o alburno serve como uma variável adicional na identificação das árvores destas classes.

No caso de as árvores com produção entre cinco e 30 quilos de sementes, tem-se que ambos os modelos subestimam a produção, com uma melhor precisão para o modelo proposto que subestima a produção em 28,4% contra 40,3% do modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção. Por sua vez, as árvores com produção superior a 30 quilos de sementes apresentaram grandes erros de predição, de modo que o modelo proposto subestima em 71,9% a produção, enquanto o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção subestima 80,7% do modelo com variáveis tradicionalmente utilizadas.

Considerando-se a produção total da área, o modelo proposto subestima em 4% a produção total, ao passo que o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção superestima em 5,5% a produção total.

Pode-se concluir que o modelo proposto apresenta vantagem sobre o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção, principalmente quando o objetivo é uma estimativa individual do potencial produtivo da árvore, quando refere-se à produção de uma área, as diferenças entre os modelos é diminuída, dando vantagem a modelos dendrométricos com variáveis de fácil obtenção pela praticidade e pela rapidez de obtenção da informação.

O modelo proposto apresentou melhores critérios estatísticos do que o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção, a tendência absoluta (*Bias*) observada para o modelo proposto foi de 0,29 e de -0,40 para o modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção, já o desvio padrão relativo (S%) para o modelo proposto foi de 11,6% contra 12,7% do modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção.

## 5 CONCLUSÕES

- 1) Uma quantidade igual de frutos de diferentes árvores geram diferentes produções em peso de sementes;
- 2) O peso de sementes deve ser utilizado, preferencialmente, como variável dependente nos modelos de produção;
- 3) Os solos rasos e de textura argilosa apresentam redução do potencial produtivo, quando comparados a solos profundos de textura franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa;
- 4) O aumento da precipitação no mês de setembro na região de Caracaraí aumenta o potencial produtivo da espécie;
- 5) O aumento da precipitação no mês de fevereiro na região de Caracaraí diminui o potencial produtivo da espécie;
- 6) Não se espera diferenças de produção entre árvores classificadas como vermelhas e brancas, quando tenham características qualitativas semelhantes;
- 7) Observou-se uma tendência de árvores com menor valor de afilamento (mais cilíndricas) apresentar um potencial produtivo superior se comparado a árvores com maior valor de afilamento (mais cônicas);
- 8) Árvores com copa completa, circular ou irregular, possuem mesmo potencial produtivo e, por sua vez, apresentam potencial produtivo superior ao de árvores com metade da copa;
- 9) A máxima área de alburno esperada para uma árvore decresce exponencialmente com o aumento da competição descrita pelo Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ );
- 10) Árvores com área de alburno inferior a  $0,030 \text{ m}^2$  apresentam potencial nulo para a produção de sementes;
- 11) Árvores com área de alburno entre  $0,030 \text{ m}^2$  e  $0,075 \text{ m}^2$  evidenciam um potencial produtivo baixo, ou seja, sempre produzindo menos de cinco quilos por ano;
- 12) Árvores cujos vasos são classificados como largos e com agrupamento solitário são mais abundantes e apresentam um potencial produtivo

inferior a árvores com vasos largos de agrupamento múltiplo, estreito de agrupamento solitário ou múltiplo;

- 13) O aumento da área de alburno gera um incremento na expectativa produtiva até certo patamar;
- 14) O máximo potencial produtivo é esperado de árvores crescendo em solos profundos com texturas franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa, com copa completa, em áreas submetidas à Índice de *Bertholletia* ( $I_B$ ) inferior a 33, com área de alburno entre 0,29961 e 0,37450 m<sup>2</sup> e, preferencialmente, que não apresentem vasos largos solitários.
- 15) O modelo com a inclusão da área do alburno apresenta vantagens substanciais em relação à estimativa individual da produção de sementes de Castanheira-do-Brasil quando comparado a modelo com variáveis dendrométricas de fácil obtenção.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 1) As variáveis que afetam o potencial produtivo devem manter-se nos diferentes sítios, entretanto, o valor, a dimensão ou o tempo de ocorrência provavelmente será diferente, necessitando mensuração e calibração para os diferentes sítios;
- 2) A utilização de variáveis dendrométricas ainda pode ser mais explorada, uma vez que apresenta a grande vantagem de ser objetiva e normalmente de fácil obtenção;
- 3) A utilização de variáveis qualitativas com caráter subjetivo deve, sempre que possível, ser substituída por variáveis objetivas, o que permitiria a comparação de resultados em diferentes sítios;
- 4) A disponibilidade de água no solo deve ser investigada, uma vez que variáveis que são relacionadas a este fator apresentam resultados significativos;
- 5) As relações entre área de alburno e peso/área de copa mostram-se promissoras para a espécie, devendo ser investigadas;
- 6) Estudar variáveis de fácil obtenção que possam estimar a área do alburno com precisão;
- 7) Recomenda-se o estudo minucioso das características das árvores com produções excepcionais, buscando-se identificar os fatores que propiciam esta condição;
- 8) As variáveis anatômicas e a sua influência na produção de frutos e sementes devem ser mais investigadas;
- 9) Inclusão de pluviômetros nas parcelas experimentais de monitoramento da produção de frutos e sementes deve ser considerada;
- 10) Sugere-se a inclusão do incremento corrente anual nos novos estudos com a Castanheira-do-Brasil;
- 11) Estudar a aplicação de tratamentos silviculturais em árvores que, reconhecidamente, possuam baixa produção ou não sejam produtivas, visando a uma melhoria da produção de frutos e sementes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 14th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2008. 975p.

BRAGA, E. T. M. **Diversidade morfológica e produção de *Bertholletia excelsa* H.B.K. (Lecythidaceae) no sudeste do Estado do Acre – Brasil**. 2007. 60 f. Dissertação (Mestrado em ecologia e manejo de recursos naturais)–Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2007.

BRENA, D. A.; SILVA, J. N. M.; SCHNEIDER, P. R. Metodologia para a verificação das condicionantes da análise de regressão. **Floresta**, v. 9, n. 2, p. 25-45, 1978.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, v. 146, p. 1-12, 2005.

CASTILHO, C. W. de; MAGNUSSON, W. E.; ARAÚJO, R. N. O. de; LUIZÃO, R. C. C.; LUIZÃO, F. J.; LIMA, A. P.; HIGUCHI, N. Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian forest: effects of soil and topography. **Forest Ecology and Management**, v. 234, p. 85-96, 2006.

CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1949. 522p.

COHEN, Y.; COHEN, S.; CANTUARIAS-AVILES, T.; SCHILLER, G. Variations in the radial gradient of sap velocity in trunks of forest and fruit trees. **Plant Soil**, v. 305, p. 49-59, 2008.

CORONA, P.; SCOTTI, R.; TARCHIANI, N. Relationship between environmental factors and site index in Douglas-Fir plantations in central Italy. **Forest Ecology and Management**, v. 110, p. 195-207, 1998.

COSTA, J. B. da. **Caracterização e constituição do solo**. 7. ed. Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 2004. 527p.

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

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO ESTADO DE RORAIMA. **O Brasil do hemisfério norte**: diagnóstico científico e tecnológico para o desenvolvimento. Boa Vista: Ambtec, 1993, 512 p.

GONÇALVES, D. de A.; SCHARTZ, G.; POKORNY, B.; ELDIK, van T. O uso da classificação de copa de Dawkins como indicador do comportamento. **Floresta**, v. 40, n. 1, p. 175-182, jan./mar., 2010.

GEZAN, S. A.; ORTEGA, A.; ANDENMATTEN, E. Diagramas de manejo de densidad para renovales de roble, raulí y coigüe em Chile. **Bosque**, v. 28, n. 2, p. 97-105, Jul./Dic. 2007.

HAUGAASEN, T.; PERES, C. A. Tree phenology in adjacent Amazonian Flooded an Unflooded Forests. **Biotropica**, v. 37, n. 4, p. 620-630, 2005.

HEISKANEN, J.; MÄKITALO, K. Soil water-retention characteristics of Scots pine and Norway spruce forest sites in Finnish Lapland. **Forest Ecology and Management**, v. 162, p. 137-152, 2002.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771p.

HO, R. **Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS**. Boca Raton, Florida: Chapman & Hall, 2006. 402p.

HÖLTTÄ, T.; COCHARD, H.; NIKINMMA, E.; MENCUCCINI, M. Capacitive effect of cavitation in xylem conduits: results from a dynamic model. **Plant Cell Environmental**, v. 32, p. 10-21, 2009.

HÖLTTÄ, T.; MÄKINEN, H.; NÖJD, P.; MÄKELÄ, A. A physiological model of softwood cambial growth. **Tree physiology**, v. 30, p. 1235-1252, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2008**. Rio de Janeiro, v. 22, 2009.

IVANOV, G. B. **Modelagem do incremento periódico anual em área basal de *Eucalyptus dunnii* em função de variáveis dendrométricas e índices de competição**. 2008. 43 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

KAINER, K.A.; WADT, L.H.O.; GOMES-SILVA, D.A.P.; CAPANU, M. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. **Forest Ecology and Management**, v. 250, p. 147-255, 2006.

KAINER, K.A.; WADT, L.H.O.; STAUDHAMMER, C.I. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Journal of tropical ecology**, v. 22, p. 147-154, 2007.

KELLY, D.; SORK, V. L. Mast seeding in perennial plants: why, how, where? **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 33, p. 427-447, 2002.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest Inventory**. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1973. v. 2. 469 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. 4. ed. São Paulo: Instituto Plantarum, 2000. v. 1. 384p.

MAUÉS, M. M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb.& Bonpl.) in eastern Amazônia. In: Kevan P & Imperatriz fonseca. **Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.245-254, 2002.

MEYER, E. A. **Densidade de árvores por diâmetro na floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul**. 2011. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)—Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MORATAYA, R.; GALLOWAY, G.; BERNINGER, F.; KANNINEN, M. Foliage biomass – sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: silvicultural implications. **Forest Ecology and Management**, v. 113, p. 231-239, 1999.

MÜLLER, C. H.; CAIZAVARA, B. B. G. **Castanha-do-Brasil**. Belém: CPATU, 1989. 6p. (Informações básicas, 11).

MÜLLER, C. H.; FIGUEIREDO, F. J. C.; KATO, A. K.; CARVALHO, J. E. U.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. B. **Castanha-do-Brasil**. Brasília: Embrapa SPI, 1995, 65 p. (Coleção plantar).

MYERS, G. P.; NEWTON, A. C.; MELGAREJO, O. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, p. 119-128, 2000.

NEMEC, A. F. L. **Guidelines for the statistical analysis of forest vegetation management data**. Province of British Columbia: Forest Science Research Branch, 1992, 78 p. (Biometrics Information Handbook Series)

OOHATA, S.; SHINOZAKI, K. A statical modelo of plant form-further analysis of the pipe model theory. **Japanese Journal of Ecology**, v. 29, n. 4, dec., 1979.

PARKER, R. C. Nondestructive sampling applications of the Tele-Relaskop in Forest Inventory. **Southern Journal of Applied Forestry**, Society of American Foresters, v. 21, n. 2, may, p. 75-83, 1997.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. 4. ed. Piracicaba, 2005. 281p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906p.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 627-638, 1933.

REIS, C. A. F.; PALUDZYSZYN FILHO, E. **Estado da arte de plantios com espécies florestais de interesse para o Mato Grosso**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 65 p. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc215.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2011.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; NEPSTAD, D.C.; BAKK, A. Estrutura populacional e breve caracterização ecológica – econômica de 108 espécies arbóreas da floresta Amazônica Brasileira – I. **Interciência**, v. 20, n. 1, p. 20-29, 1995.

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSON, E. **Morfologia do solo: subsidies para caracterização e interpretação de solos a campo**. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. de; **Análise de regressão: aplicada à Engenharia Florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2009. 294p.

SCHNEIDER, P.R.; SCHNEIDER, P.S.P. **Introdução ao manejo florestal**. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T. A quantitative analysis of plant form – the pipe model theory. I. Basic analyses. **Japanese Journal of Ecology**, v. 14, n. 3, june, 1964a.

SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K.; KIRA, T. A quantitative analysis of plant form – the pipe model theory. II. Further evidence of the theory and its application in forest ecology. **Japanese Journal of Ecology**, v. 14, n. 3, aug., 1964b.

SMITH, D.M. **The practice of silviculture** 7<sup>th</sup>. ed. New York: John Wiley & Sons, 1962. 578p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre, 2004. 400p.

TONINI, H.; COSTA, P. da.; KAMINSKY, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008a.

TONINI, H.; KAMINSKY, P. E.; COSTA, P. da. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, nov. 2008b.

TONINI, H.; SHWENGBER, L. A. M.; TURCATEL, R. Características da copa da castanha-do-brasil e suas relações com o diâmetro do tronco. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4<sup>o</sup>., 2008. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CCR/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2008c. p. 120-125.

TONINI, H. Fenologia da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl., Lecythidaceae) no sul do estado de Roraima. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, jan./mar., 2011.

VAEZIN, S.M.H. **Modèles économiques de gestion de peuplements réguliers, irréguliers ou en tention; illustrations dans le cas du hêtre dans le nord-est de la France**. (Doctorat Economie Forestière) – École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Paris, 2006.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: application to mixed tropical forest applications to mixed tropical forests**. Wallingford UK: CAB Internacional, 1994. 329p.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, p. 371-384, 2005.

WALLACE, R. B.; PAINTER, R. L. E. Phenological patterns in a southern Amazonian tropical forest: implications for sustainable management. **Forest Ecology and Management**, v. 160, p. 19-33, 2002.

WARING, R. H.; SCHROEDER, P. E.; OREN, R. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. **Can. J. For. Res.**, v. 12, 1982.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G. C. T. **Identificação macroscópica de madeiras**. São Paulo: IPT, 2007. 24p.

ZUIDEMA, P.A. **Ecology and management of the brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Promab, Scientific series, n. 6, 2003, 111 p.