



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL



RAIMUNDO MACIEL D'AVILA

IMPORTÂNCIA DA ÁREA DE ALBURNO NA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO
DE FRUTOS EM *Bertholletia excelsa*

RIO BRANCO, ACRE.

JUNHO, 2021

RAIMUNDO MACIEL D'AVILA

IMPORTÂNCIA DA ÁREA DE ALBURNO NA ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO
DE FRUTOS EM *Bertholletia excelsa*

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito para a obtenção do título de mestre em ciência florestal.

Área de Concentração: Manejo Florestal

Orientador: Dr. Thiago Augusto da Cunha

Rio Branco, Acre.

Junho, 2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- D259i D'Ávila, Raimundo Maciel, 1977- .
Importância da área de alburno na estimativa de produção de frutos em *Bertholletia excelsa* / Raimundo Maciel D'Ávila. -- 2021.
49f. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Mestrado em Ciência Florestal. Rio Branco, Acre, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha.
Inclui referências.
1. *Bertholletia excelsa*. 2. Alburno. 3. Regressão linear. I. Cunha, Thiago Augusto da, Prof. Dr. II. Universidade Federal do Acre. III. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. IV. Título

CDD: 634

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação/
Centro de Ciências Biológicas e da Natureza
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal-Ciflor

ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO
DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA FLORESTAL (PPGCIFLOR), DO
MESTRANDO: RAIMUNDO MACIEL D'AVILA,
REALIZADA NO DIA 30 DE JUNHO DE 2021.

Às oito horas do dia trinta de junho de 2021, realizou-se de, de forma remota, por meio do Google Meet, a Defesa de Dissertação, intitulada: “**Importância da área de alburno na estimativa de produção de frutos em *Bertholletia excelsa* (Bonpl)**”, de autoria do mestrando **Raimundo Maciel D'Avila**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado (UFAC). Na ocasião, a Banca Examinadora esteve constituída pelos membros: **Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha** (Orientador /Presidente/ UFAC/CCBN), **Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira Wadt** (Membro Externo/ Embrapa Rondônia), **Dr. Marcos Antonio Isaac Júnior** (Membro Externo/ Bolsista de pós-doutorado do INPA). Logo após a exposição oral, houve arguição pelos examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, o discente foi considerado **APROVADO** pela Comissão Examinadora. E ao final, foi lavrada a presente Ata, que será assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Thiago

Prof. Dr. Thiago Augusto da Cunha
(Orientador/ Presidente/UFAC/CCBN)

Lúcia Helena de Oliveira Wadt

Dr^a. Lúcia Helena de Oliveira Wadt
(Membro Externo /Embrapa Rondônia)

Marcos Antonio Isaac Júnior

Dr. Marcos Antonio Isaac Júnior
(Membro Externo/Bolsista de pós - doutorado do INPA)

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Área de alburno de *B. excelsa* projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....30
- Figura 2.** Área de alburno em porcentagem de *B. excelsa*, no projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....32
- Figura 3.** Gráficos de dispersão de *B. excelsa* versus as variáveis dendrométricas, morfométricas e frutos, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores das variáveis com abreviação, unidade, mínimo, máximo, média, desvio padrão, coeficiente de variação para as <i>B. excelsa</i> DAP \geq 50 cm no Projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....	23
Tabela 2. Descrição dos índices morfométricos.....	24
Tabela 3. Valores do coeficiente de correlação de Pearson para o alburno de <i>B. excelsa</i> com as variáveis dendrométricas, morfométricas e frutos, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....	31
Tabela 4. Valores de F e Significância para o variável diâmetro da copa (dc) no modelo de produção fruto de <i>B. excelsa</i> , pelo método STWPWISE, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....	34
Tabela 5. Valores de F e Significância para o modelo de produção fruto de <i>B. excelsa</i> , projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.....	36

RESUMO

D'AVILA, Raimundo Maciel. Universidade Federal do Acre, junho de 2021. **A importância da área de alburno na estimativa da produção de fruto de *Bertholletia excelsa***. Orientador: Dr. Thiago Augusto da Cunha. A produção de frutos de *Bertholletia excelsa* pode ser influenciada por diversos fatores, como as variáveis climáticas, a forma e a posição da copa, a quantidade de lianas presente na copa bem como o tamanho do diâmetro a altura do peito. No contexto fisiológico, a importância da área de alburno na produção de frutos ainda carece de estudos. Neste sentido, este trabalho estudou a relação da área de alburno na produção de frutos de *B. excelsa*, com vistas a avaliar uma possível associação ente o alburno e a variação individual de frutos. O estudo foi realizado no Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE) Chico Mendes na região leste do estado do Acre, no município de Xapuri, em uma parcela permanente de monitoramento de *B. excelsa*. Foram coletados dados de área de alburno, variáveis dendrométricos, morfométricas, e dados de produção de frutos, em uma amostra de 140 árvores. Para verificar a relação do alburno com frutos, foi usada a correlação linear de Pearson. Para realizar a estimação da produção de frutos, foi usada a regressão linear múltipla. A matriz de correlação indicou que a variável DAP ($r = 0,91$), relação hipsométrica ($r = 0,99$), apresentaram as maiores correlações. A área de alburno não foi relacionada à produção de frutos ($r = 0,37$, $P < 0,08112$). Com a estatística regressão linear múltipla, melhorou o coeficiente da estimativa de frutos de frutos, onde foi obtido um coeficiente de determinação de 35%, $P < 0,0001$.

Palavras-chaves: *Bertholletia excelsa*, alburno, regressão linear.

ABSTRACT

Bertholletia excelsa Bonpl., is a fruit tree naturally occurring in the Amazon region, where some individuals of this species survive hundreds of years producing fruit. Studies have shown that the production of fruits of *B. excelsa* can be influenced by different vectors, such as: its ecological stage, soil effects, crown characteristics, size of the 1.30 m diameter the, stem characteristics. However, studies at the individual level on the importance of stem characteristics (sapwood area) in fruit production are scarce. This work aimed to study the relation of sapwood area in the production of fruits of *B. excelsa*, in order to verify if the sapwood explains the individual variation of fruits, as well as to improve the estimate of production in trees in the native forest. The study was carried out in the Chico Mendes Agroextractive Settlement Project (PAE) in the eastern region of the state of Acre, in the municipality of Xapuri, in a permanent monitoring plot of *B. excelsa*. Sapwood areas, dendrometric, morphometric variables, fruit production data were collected from a sample of 140 trees. To verify the relationship between sapwood and fruits, Pearson's linear correlation was used. To estimate production, multiple linear regression was used. The correlation matrix indicated that the variable DAP ($r=0.91$), hypso, ($r=0.99$), presented the highest correlations. The sapwood area was not related to fruit production ($r=0.37$, $P < 0.08112$). With the multiple linear regression statistic improved the coefficient of estimation of fruits of fruits, where a coefficient of determination of 35% was obtained, $P < 0.0001$.

Keywords: *Bertholletia excelsa*, sapwood, linear regression.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Objetivos.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3. Revisão de literatura.....	13
3.1 <i>Bertholletia excelsa</i>	13
3.2 Variáveis que influenciam a produção de fruto de castanheira.....	15
3.3 O alburno.....	17
3.4 Modelagem do crescimento na produção florestal.....	20
4. Material e métodos.....	21
4.1 Local de estudo.....	21
4.2 Desenho Amostral.....	21
4.3. Coleta de dados.....	22
4.3.1 Variáveis de copa.....	22
4.3.2 Variáveis dendrométricas.....	23
4.3.3 Variáveis morfométricas.....	23
4.3.4 Área de alburno.....	24
4.3.5 Produção de frutos.....	25
4.4 Processamentos e análise dos dados.....	26
4.4.1 Variação da área de alburno.....	26
4.4.2 Análise de correlação.....	27
4.4.3 Modelagem de regressão para a estimativa de produção de frutos.....	27
a) Estimativa de frutos sem a variável alburno.....	27
b) Estimativa de frutos com a variável alburno.....	28
5. Resultado e discussão.....	29
5.1 Variação da área de alburno.....	29
5.2 Correlação da área de alburno.....	36
5.3 Estimativa de frutos sem a variável alburno.....	38
5.4 Estimativa de frutos com a variável alburno.....	39
6. Conclusões.....	43
7. Referências bibliográficas.....	44

1. INTRODUÇÃO

A *Bertholletia excelsa* Bonpl. (*B. excelsa*), chamada popularmente de castanheira, castanheira do brasil, castanheira do pará, castanheira da amazônia é uma árvore com ocorrência natural em toda a bacia Amazônia, sendo a árvore da qual se obtém a castanha-da-amazônia, noz muito apreciada para alimentação e para a indústria de cosméticos. *B. excelsa* é citada também como uma espécie de grande importância da economia extrativista, com contribuição nas funções ecológica, econômica e sociais (Cronkleton et al., 2012; Kainer et al., 2018).

As árvores de *B. excelsa* produzem frutos anualmente, porém ocorre variação na produção de frutos entre indivíduos bem como entre anos (Zuidema e Boot, 2002; Kainer et al., 2007). Estudos têm diagnosticado que a produção de frutos dessa árvore, pode ser influenciada por diversos fatores, como por exemplo: seu estágio ecológico, efeitos do solo, características de copa, tamanho do diâmetro 1,30 m do solo, características funcionais (Zuidema, 2003; Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007; Kainer et al., 2014; Ivanov, 2011; Tonini e Pedrozo, 2014; Neves et al., 2015).

Entretanto, estudos realizados focam características morfológicas e praticamente não há estudos investigando aspectos de área de alburno, relacionando com a produção de frutos. Especificamente estudos que focam em características funcionais de caule, visando relacionar com a produção de fruto desta espécie são poucos. Informações sobre a importância deste fator na produção de frutos em nível de árvores individualmente também é bastante escasso.

A característica de caule (área de alburno) tem relação direta com a fisiologia da árvore e tem sido usada em estudos de árvores individual, já vem sendo usada para realizar estimativa indireta da atividade fotossintética das árvores, realizar estimativa de biomassa em árvores tropical (Sande et al., 2015), bem como analisar

relação com variáveis de copa e com variáveis dendrométricas (Waring et al., 1982; Ivanov, 2011;).

Ivanov (2011), relacionou algumas características anatômicas de *B. excelsa* com produção de frutos e verificou que algumas dessas características melhoraram a estimativa da produção de frutos de *B. excelsa*, no estado de Roraima, Brasil. Segundo, Wadt et al. (2008); IMAFLORA (2016); Kainer et al. (2018), melhorar as estimativas na produção de frutos da *B. excelsa*, visa contribuir para melhorar o manejo das castanha-da-amazônia, contribuindo desta maneira para o aperfeiçoamento nas estimativas de produção.

A castanha-da-amazônia é um produto florestal extremamente valioso para os extrativistas residentes no leste Acreano, desta maneira o aperfeiçoamento nas estimativas de produção, pode contribuir para uma maior previsibilidade da produção local, auxiliando no diagnóstico correto da safra de castanha-da-amazônia. No presente trabalho levantamos a hipótese de que árvores de *B. excelsa* com maiores área de alburno tem maior produção de frutos. Ainda deduzimos que o alburno é um impulsionador da produção de frutos das árvores de *B. excelsa*.

2. OBJETIVOS

2. 1 Objetivo geral

Analisar a área de alburno de árvores de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonp.) para subsídio para estimativas da produção de castanheiras em floresta nativa no Seringal Cachoeira, Xapuri-Acre.

2. 2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a variação da área de alburno, em árvores produtivas conforme a classe ontogenética;
- b) Determinar o nível de associação da área de alburno com variáveis dendrométricas, sítio e de produção de frutos;
- c) Avaliar a potencialidade da variável área de alburno na estimativa de produção de frutos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Bertholletia excelsa*

Bertholletia excelsa Bonpl. (castanheira), é uma árvore de ocorrência natural na floresta de terra firme em toda a bacia Amazônica. A espécie prefere os solos arenosos para se desenvolver e em algumas localidades da bacia, são relatados os agrupamentos de bosque, chamado também de castanhais, já em outras localidades na Amazônia não é verificada a ocorrência de agrupamento de bosque, sendo o padrão de distribuição aleatório (Wadt et al.; 2005). Quando adultas os indivíduos de *B. excelsa* são de grande porte, chegando a medir até 50 metros de altura, com diâmetro medido 1,30 m do nível solo (DAP) pode chegar a ser de 3 m, com o diâmetro da copa chegando a mediações de até 35 m (Mori e Prance, 1990; Zuidema, 2003; Salomão, 1991).

Com ocorrência natural em toda bacia Amazônica, *B. excelsa* quando adulta é uma árvore dominante, ocupando o dossel superior da floresta tropical, sendo considerado clímax, em que indivíduos desta espécie sobrevivem centenas de anos produzindo frutos (Zuidema, 2003). As plântulas da espécie dependem de certa quantidade de iluminação e abertura do dossel para se desenvolverem (Scoles et al., 2011).

A floração (da *B. excelsa*), segundo Maués (2002), ocorre durante os meses de baixa precipitação. Na Amazônia Brasileira normalmente esse período compreende os meses de agosto a novembro, sendo a árvore descrita como alógama, com polinização melitófila, dependente da ação de polinizadores (principalmente abelhas) para a ocorrência de seu processo de reprodução.

Após polinização bem-sucedida, os frutos atingem a maturação em 14 meses, caindo/dispersando no período chuvoso. Os frutos, apesar de serem do tipo pixídio com abertura quando maduros, o opérculo é menor que suas sementes e por isso as mesmas não são dispersadas naturalmente. O fruto popularmente chamado de “ouriço” apresenta um pericarpo lenhoso muito duro, forma arredondada, pode ser considerado grande, com tamanho medindo entre 10-16 cm, e cada fruto contém entre 10 e 25 sementes (Mori e Prance, 1990).

As sementes extraídas dos frutos são as castanha-da-amazônia, commodity florestal, identificada como produto florestal não madeireiro com importância na conservação da floresta tropical, bem como nos modos de vida social, cultural, econômica da região (Ortiz, 2002; Wadt et al., 2005; Sá et al., 2008; Kainer et al., 2018). O uso sustentável dessa commodity é citado também como exemplo que favorece a manutenção da cultura extrativista, reduzindo a pobreza e viabilizando a permanência de populações na floresta (Wadt et al., 2008; IMAFLORA, 2016; Kainer et al., 2018).

A exploração comercial da castanha-da-amazônia tem sua origem na segunda metade do século XVIII, quando essa commodity passa a fazer parte da economia mercantilista da região, vindo a ter seu primeiro auge de exploração após a crise da borracha 1911- 1912 (Almeida, 2016; Kainer et al., 2018).

Em termos econômicos a castanha-da-amazônia, desfruta de amplo aceite no mercado nacional e internacional. Além do aproveitamento dos frutos a madeira tem aptidão para ser usada na construção civil, porém o uso da madeira somente é permitido quando oriunda de plantios, visto que o corte de *B. excelsa* em florestas nativas é proibido por lei (Brasil, 2006).

Na região leste do estado do Acre, a coleta de frutos da castanheira-da-amazônia, se intensificou a partir da decadência da exploração da borracha no final da década de 70 e atualmente é uma atividade essencial para a sobrevivência do modo de vida tradicional das famílias nesta região (Wadt et al., 2008).

Na região leste do estado do Acre, encontra-se também várias áreas protegidas de uso sustentável, como por exemplo o Projeto de Assentamento Extrativista Chico Mendes (Seringal Cacheira), a Reserva Extrativista Chico Mendes, Área de Relevante Interesse Ecológico Nova Esperança, onde as famílias

residentes destas localidades, exploram a castanha-da-amazônia (Wadt et al., 2008). Segundo Wadt et al. (2008), na região leste do estado do Acre, a castanha-da-amazônia passa a ter uma maior importância a partir da década de 90, quando foi instalada uma fábrica de processamento de castanha-da-amazônia na cidade de Xapuri, Acre, nesse período foi registrado uma maior intensidade de coleta deste produto.

De acordo com o estudo de IMAFLORA, (2016), o extrativismo da castanha-da-amazônia em área protegida é louvável, na medida em que favorece a conservação da biodiversidade, além de ser um elemento que atende a necessidade e direitos dos extrativistas, pelo entendimento que a exploração de produtos florestais não madeiro é atividade de baixo impacto ambiental e por esse motivo a exploração deste recurso é incentivado e permitido.

Entretanto apesar de todos os benefícios advindos do manejo da castanheira-da-amazônia, atualmente os modelos de produção e comercialização deste produto e o lucro gerado em toda cadeia, ainda não tem tido uma distribuição de forma equitativa entre todos os envolvidos, o que tem levado ao abandono ou diminuição da atividade extrativista de castanha-da-amazônia por algumas famílias (IMAFLORA, 2016).

3. 2 Variáveis que influenciam a produção de frutos da castanheira

A produção de produção de frutos da *B. excelsa* é influenciada por diversos fatores, como por exemplo: seu estágio ecológico, por características funcionais, precipitação, composição genética, carga de lianas, tamanho da copa, forma da copa, disponibilidade de nutrientes (Zuidema, 2003; Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007; Kainer et al., 2014; Ivanov, 2011; Tonini e Pedrozo, 2014; Rockwell et al., 2015; Neves et al., 2015).

Entretanto as informações sobre a quantidade de frutas que uma castanheira produz em um determinado ano ou em um período de anos ainda são inconsistentes, visto que a produção de frutos de árvores de *B. excelsa* varia entre os anos, tanto no

nível populacional como no nível individual das árvores (Zuidema, 2003; Kainer et al., 2007; Tonini e Pedrozo, 2014; Rockwell et al., 2015).

Segundo Zuidema, (2003); Kainer et al., (2007); Tonini e Pedrozo, (2014), em nível populacional, a produção de frutos da castanheira-do-brasil varia bastante entre anos. Já no nível individual em algumas árvores a produção de frutos da castanheira-do-brasil, varia bastante, onde em um ano ocorre uma grande produção de frutos e no ano seguinte ocorre uma baixa produção (Zuidema, 2003; Kainer et al., 2014).

Conforme Kainer et al., (2018), para tentar estudar os efeitos ou analisar tratamentos aplicados para melhorar o entendimento da variação na produção de frutos de castanheira-do-brasil, são necessários levantamento de informações (coleta de dados) de vários anos nas árvores, desta maneira capturar os efeitos de variáveis ou os efeitos de tratamentos experimentais.

Outro fator que influencia a produção frutos é a maturidade de reprodução da *B. excelsa*. A maturidade de reprodução desta espécie é correlacionada muito forte com o diâmetro à altura do peito. No estado do Acre as árvores com DAP ≥ 50 cm são considerados indivíduos com potencial para iniciar a produção de frutos (DAP) (Wadt et al., 2005). Segundo Kainer et al. (2014), as árvores de castanheiras produzem em média 164 frutos (período de monitoramento de 10 anos).

As castanheiras produzem frutos a cada ano, entretanto nem todos os indivíduos produzem frutos todos os anos ((Zuidema, 2003). As árvores com DAP ≤ 50 cm produzem muito poucos frutos (Staudhammer et al., 2013). Já as árvores quando atingem DAP ≥ 50 cm começam a estabelecer o processo de maturação de produção de fruto em áreas de floresta nativa (Wadt et al., 2005; Staudhammer et al., 2013).

Dos diversos fatores que determinam a variação na produção de frutos da castanheira (a idade das árvores, as chuvas anuais, diâmetro das árvores, características da copa) (Zuidema, 2003; Kainer et al., 2007), sabe-se que as árvores que apresentam as melhores características da copa, estão positivamente associados a maior produção (Kainer et al., 2007; Ivanov, 2011; Tonini e Pedrozo, 2014; Rockwell et al., 2015).

Segundo Staudhammer et al. (2013), as árvores que produzem mais frutos tinham copa grandes (enormes). Essas árvores de copa enorme, produzem mais frutos, possivelmente porque a maior copa influencia na capacidade de absorção de luz. O tamanho da copa influencia a capacidade de fotossíntese da árvore, a capacidade de produção, capacidade de produzir carboidratos e o suporte estrutural para a produção de frutos.

A quantidade de chuva anual também influencia os frutos, visto que o estresse hídrico é uma característica que limita a produção de frutos da castanheira-do-brasil (Kainer et al., 2007; Staudhammer et al. (2013).

3. 3 O alburno

Existem diversos métodos para descrever o vigor da árvore, uma alternativa consiste em relacionar o crescimento da árvore com a área de alburno (Waring et al., 1980). Waring et al., (1980), Eckmullner e Sterba, (xx), afirmam que existe uma relação constante entre a área de alburno e a área foliar da árvore, portanto, definir o vigor da árvore como a razão entre o crescimento da árvore e área foliar, sem medir área foliar diretamente é um dos diversos métodos existem de medir o vigor da árvore.

O alburno pode ser definido como o xilema, tendo como principal atribuição funcional o suprimento de água e a condução de nutrientes para a copa das árvores (Goldstein et al., 1998; Meinzer et al., 2001; Meinzer et al., 2008). Segundo Goldstein et al. (1998) e Meinzer et al. (2001), o alburno funcional supre a necessidade de água nas árvores de duas maneiras. Pelo transporte de água das raízes para a copa e outra é pelo estoque (armazenamento) de água para suprir a demanda em período de baixo fornecimento de água ou em período mais seco.

Portanto especula-se que o tamanho da área de alburno de uma árvore pode aumentar indiretamente a taxa fotossintética da mesma, na medida em que sustenta o transporte de água para as folhas em maior ou menor quantidade (Goldstein et al., 1998; Meinzer et al., 2001).

Entretanto, Parolin et al. (2008), afirmam que as árvores manifestam padrões bastante diferentes de transferência de água dentro do alburno. Segundo Gartner e Meinze (2005), os padrões diferentes de transferência de água dentro de uma árvore, estar relacionado com a estrutura, o tamanho e a quantidade de alburno presente no tronco das árvores, visto que o alburno controla não somente a entrada de água, mais também seu transporte e armazenamento.

Os autores Gartner e Meinze (2005), levanta o debate em que, devemos reconhecer que nem todo alburno presente na árvore é funcional. A hipótese que nem todo alburno é funcional, foi aventada por Sande et al. (2015), segundo a qual, uma grande quantidade de alburno presente nas árvores pode incorrer em custos adicionais respiratórios, desta maneira inibir os efeitos positivos de uma maior atividade no transporte de água.

Para os autores Zimmermann 1983; Lyr et al. 1992, nas árvores novas e na copa das árvores velhas, toda a secção transversal conduz água. Em árvores mais velhas, com a copa baixa, mais partes do xilema deixam de funcionar, deixando o transporte de água para a área do alburno, cuja proporção diminui com a idade.

Relacionar área de alburno com dados de copa da árvore, baseia-se na ideia Shinozaki et al. (1964), na teoria de modelo de tubo. Os autores avaliando a relação do alburno com a copa, verificaram que existe uma proporcionalidade linear entre a folhagem de uma árvore e seu tecido não fotossintético (alburno) da base do dossel vivo para cima. Os autores concluíram que uma certa quantidade de folhagem da copa, tem uma ligação direta com uma certa unidade do tecido condutor de área de secção transversal do alburno.

Entretanto sabe-se que a relação área foliar - área do alburno depende de uma série de fatores como local, densidade do povoamento e classe da copa (por exemplo, ver Whitehead 1978; Granier 1981; Thompson 1989), a área do alburno há muito se tornou comum ferramenta para estimar a biomassa da folhagem (Waring et al. 1982; Sande et al. (2015).

Eckmüller (1990) combinou as duas idéias, a área do alburno como um auxílio na avaliação das perdas da agulha e como uma medida da massa da agulha. Neste estudo, cerca de 200 árvores de abeto da Noruega (*Picea abies* (L). Karst.) Dominantes foram selecionadas de forma não sistemática. A condição da coroa foi

avaliada por estimativas oculares do chão da floresta. As árvores foram então derrubadas para determinar as correlações entre a massa das agulhas, a área do alburno e a condição da copa.

Relacionando-se com Shinozaki's et al. (1964) teoria do modelo de tubo para sua investigação, Eckmüllner (1990) encontrou uma massa máxima da massa da folha de 150g cm² área de seção transversal, quase independentemente do local. As classes de condição da copa diferiam nitidamente pela massa da folha por unidade de área da seção transversal e menos pela massa da folha por unidade de área do alburno. A área de alburno, excluindo madeira tardia, correlacionou-se fortemente com a massa das folhas. Massa da folha por unidade dessa área de alburno reduzida, não diferindo mais pela classe de condição da copa.

A copa das árvores é a responsável pelo processo de energia química da árvore, motivo pelo qual estar diretamente relacionada com o crescimento e a produção da árvore. As árvores de copa de dossel ou grandes árvores em tamanho (altura) são uma componente essencial do ciclo hidrológico da floresta tropical. Segundo Kunert et al. (2017), na Amazônia, as grandes árvores são responsáveis por até 71 % da transpiração da floresta.

Para Kunert et al. (2017), as árvores de dossel usam mais água, devido sua maior exposição a luz solar, sendo capazes de liberar mais água, através da abertura dos estômatos, simplesmente por sua maior exposição ao sol.

Para a árvore de dossel *B. excelsa*, Staudhammer et al. (2013), constatou que disponibilidade água afeta o crescimento e diâmetro da espécie. A água foi correlacionada positivamente com o crescimento em área basal.

Segundo Kainer et al. (2007), a produção de frutos da *B. excelsa*, também é influenciado pela disponibilidade de água, em período de estresse hídrico ocorre menor produção de frutos.

3. 4 Modelagem de crescimento e da produção florestal

O estudo das relações matemáticas de parte de um organismo ou do todo como, por exemplo, a parte de uma árvore ou da árvore inteira para fazer inferência ou determinar seus produtos associados é denominada atualmente de alometria (Lehnebach et al., 2018).

Os estudos da relação alométrica têm sido usados para diversos fins, entre eles a identificação das relações existentes de uma árvore com suas variáveis e estabelecer estimativas indiretas de árvores, onde seria difícil realizar tais medidas (Machado e Filho, 2003; Lehnebach et al., 2018).

Nesta ordem, surge a possibilidade de, por meio do uso da ferramenta estatística de análise de regressão, estabelecer relação alométrica entre a área do alburno com as variáveis de copa, diâmetro altura do peito (DAP, 1,30 m do solo) e com o quantitativo de frutos de uma determinada árvore.

Para mensurar a eficiência do uso da análise de regressão e analisar a qualidade do ajuste dos modelos de regressão, faz-se uso dos critérios estatísticos. De uma forma geral a maioria dos autores cita o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa (S_{xy}), usados em conjunto como critérios de análise mais empregados para verificar a eficiência da regressão (Finger, 1992; Cunha, 2009).

O coeficiente de determinação (R^2), varia de 0 a 1 e quantifica a variação explicada pelo modelo de regressão ajustada, já o erro padrão da estimativa (S_{xy}) informa o quão disperso estão os dados na unidade original de “y”. Na análise de regressão deve-se também analisar a distribuição gráfica dos resíduos (distribuição do erro) para melhorar a segurança de uma equação ajustada (Finger, 1992; Cunha, 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

O estudo foi realizado em uma antiga propriedade de borracha (Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE) Chico Mendes), conhecido popularmente como Seringal Cachoeira. Essa localidade tem área total de 24.898 hectares, onde residem mais de 100 famílias extrativistas, que exploram a castanha-da-amazônia de forma sazonal. O Seringal Cachoeira localiza-se na região leste do estado do Acre, no município de Xapuri, próximo da fronteira da Bolívia e do Peru, coordenadas geográficas centroide 10°50'S 68°23'W.

A cobertura floresta na localidade ainda é superior a 90% (florestal nativa), com predominância da floresta tropical densa e floresta aberta com palmeiras (Acre, 2000). A precipitação média anual é de 2.250 mm, com presença de uma estação seca bem definida, compreendida entre os meses de junho a setembro a temperatura média anual é de aproximadamente 25° C (Acre, 2010).

4.2 Desenho amostral

A rede Kamukaia, grupo de pesquisa coordenada pela Embrapa, estabeleceu uma metodologia de coleta de dados padronizada de produtos florestais não madeireiros-PFNMs na Amazônia, visando promover o intercâmbio entre instituições, para estudar aspectos ecológicos, produtivos no uso dos produtos não madeireiro (Wadt, 2004; Wadt, 2008; Wadt et al., 2008; Neves et al., 2016). Buscando estudar os aspectos ecológicos, produtivos nas castanheiras do seringal Cachoeira, no ano de 2008 no âmbito da Rede Kamukaia foi delimitada uma área de

estudo em uma propriedade de exploração extrativista (Cachoeira), com tamanho de 190 hectares em floresta nativa.

Na localidade, após a implantação da parcela de amostragem foi realizado um inventário florestal de todas as árvores de *B. excelsa* com tamanho de ≥ 10 cm de diâmetro altura do peito (DAP). O inventário revelou a presença de 450 árvores *B. excelsa*, com uma densidade populacional 1,25 árvores (Serrano, 2005).

Com os dados do inventário do ano de 2008, foi selecionada uma amostra das árvores reprodutivas da seguinte maneira: inicialmente todos os indivíduos foram colocados em dez classes de diâmetros (uma classe de DAP ≥ 150 cm e nove classe de DAP de 10 cm). Posteriormente, por meio de um processo aleatório, foi selecionada uma amostra de 140 árvores DAP ≥ 50 cm, onde incluiu representante dentro de cada classe de diâmetro. Foi estabelecido que os indivíduos deveriam atender a quatro categorias iniciais de carga liana: (a) sem lianas na coroa, (b) ≤ 25 % coberta de coroa, (c) 25-75 % coberta de coroa e (d) >75 % de coroa coberta. A localização geoespacial das 140 árvores foi traçada, confirmando uma distribuição espacial bastante representativa da amostra em toda a paisagem do estudo.

Da mesma forma, uma verificação de campo garantiu que indivíduos com copas sobrepostas ou áreas de queda de frutas sobrepostas fossem excluídos da amostra das árvores adulta. O tamanho mínimo do DAP ≥ 50 cm foi estabelecido conforme Wadt et al. (2005), uma vez que a partir deste limite a grande maioria das árvores de *B. excelsa* atingem o dossel da floresta, amplia suas copas e chega a fase inicial da maturidade de produção de frutos.

4. 3 Coletas de dados

Para a realização do presente trabalho, no ano de 2020 (mês de janeiro a março), foram coletados dados, nas árvores selecionadas (conforme a descrição do desenho amostral). As estatísticas descritivas das variáveis estudadas com os valores de mínimo, máximo, média, desvio padrão, coeficiente de variação são apresentadas na Tabela 1.

4. 3. 1 Variáveis de copa

As variáveis da copa foram derivadas do índice de Dawkins, modificado conforme WADT et al. (2005): sendo classificadas em relação a exposição a luz solar: (1) dominante – recebe luz direta na copa inteira; (2) co-dominante – recebe luz direta apenas na parte de cima da copa; (3) intermediária – recebe luz somente pelas laterais; (4) suprimida – não recebe luz. Quanto a forma da copa, as árvores foram classificadas em: boa (1) com círculo completo; tolerável (2) árvores com meia copa; pobre (3) árvores com menos de meia copa; e muito pobre (4) árvores com somente um ou poucos galhos.

Tabela 1. Variáveis com abreviação, unidade, mínimo, máximo, média, desvio padrão, coeficiente de variação para as *B. excelsa* DAP \geq 50 cm no Projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.

Abreviação	Descrição da unidade	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coeficiente variação
SA	Alburno	cm ²	355,53	4412,73	1626,16	722,16	44
dap	Diâmetro	cm	52	226	102,89	37,08	36
h	altura total	m	22	57	35,34	6,52	18
hc	altura comercial	m	15	37	24,23	3,9	16
dc	diâmetro copa	m	4,9	33,35	16,74	4,93	29
compcopa	comp. da copa	m	3	23	11,11	4,29	38
formalcopa	formal de copa	m	0,41	5,02	1,69	0,73	43
propcopa	prop.da copa	%	11,11	55	30,72	7,91	25
frutos	Frutos	unid.	0	663	190	162	85
formcopa	forma da copa relação	unid.	1	5	1,6	0,85	53
hipso	hipsometrica	m	0,17	0,78	0,37	0,12	31
abrang	índice abrangência	m	0,14	0,82	0,48	0,013	28
salien	índice saliência	m	0,03	0,3	0,17	0,04	27
sítio	Sítio	unid.	0	2	1	0,2	23

Onde: Abreviação (conjunto de sigla das variáveis usadas na estatística descritiva), coeficiente de variação de todas as unidades estar representado em %.

4. 3. 2 Variáveis dendrométricas

Diâmetro a altura do peito (DAP) foi medido a 1,30 cm do solo com fita diamétrica. A altura total, altura comercial (foram medidos com o Hipsômetro Vertex). Com o Hipsômetro Vertex foi medido o comprimento de 8 raios em cada copa da árvore. Os dados de raio foram usados para calcular a tamanho e o diâmetro da copa das árvores. O método de medição de cada raio seguiu um padrão único, onde se iniciava a medição do primeiro raio e seguia a medição dos raios na direção

norte em um ângulo constante de 45° até completar o círculo de oito raios, conforme Cunha (2009). Foram anotados também dados do terreno (sítio), sendo: (1) área de terra firme, (2) área de preservação permanente, (3) área de baixo.

4. 3. 3 Variáveis morfométricas

Mediante os dados dendrométricos, foram calculados os índices de morfometria para avaliar as relações interdimensionais, reconstruir o espaço ocupado por cada castanheira e fazer inferências sobre a vitalidade e produtividade de cada árvore, conforme, Tonini et al. (2008). Os índices são apresentados na Tabela 02.

Tabela 2: Descrição dos índices de morfometria.

Índices	Equação	Aplicabilidade do índice
Índice de saliência (is)	$\frac{DC}{d}$	Relação do DC com o d, visando reconstituir o espaço ocupado por cada árvore.
Índice de abrangência (ia)	$\frac{DC}{h}$	Relação do DC com a h, para reconstituir o espaço ocupado por cada árvore.
Formal de copa (fc)	$\frac{Dc}{CC}$	Avalia o potencial produtivo da árvore, tendo como indicativo a relação entre o d e CC.
Proporção de copa (pc)	$\left(\frac{cc}{h}\right) * 100$	Uma variável indicadora de vitalidade, correspondente à relação entre o CC e h.

Em que: h= altura total em metros; d = diâmetro a altura do peito em cm; DC = diâmetro de copa em metros; CC= comprimento da copa em metros.

4. 3. 4 Área de alburno

Para determinar a área de alburno em cada árvore de castanheira, no mês de fevereiro, ano 2020 foi realizado uma coleta 02 (dois) rolos de incremento (também chamado de núcleo de incremento) com o uso do trado de Pressler, conforme Cunha (2009).

Cada núcleo extraído tinha a dimensão de 15 cm de comprimento e 0,5 cm de espessura. Os núcleos foram extraídos radialmente a altura do DAP (1,30 m em relação ao solo), dispostos a um ângulo de 90 graus um do outro, conforme Cunha et al. (2016). Após a extração, o material foi acondicionado em canudo plástico, identificado com o respectivo número da árvore. Por fim, os núcleos formam

expostos ao ar livre, na sombra por um período de 24 horas para se retirar o excesso de umidade.

A medição da área do alburno em cada núcleo foi realizada no laboratório de Ciências Florestais da Universidade Federal do Acre (UFAC). Utilizou-se mesa Lintab 5 combinados com software TSAP-Win, para mensurar a região dos núcleos que apresentaram célula com poros abertos. A medição no laboratório foi iniciada com a fixação de cada núcleo em um suporte de madeira, com adesivo do tipo PVA. Posteriormente cada núcleo teve sua superfície cortada com estilete profissional. Procedeu-se o corte transversal na superfície da amostra, para tornar mais visíveis os poros (vasos) e desta maneira melhor identificar a região, que tinham células porosas.

Com o uso de um microscópio do tipo estereomicroscópio de até 40 ×, foram visualizadas as células porosas abertas nos respectivos núcleos, onde foi procedida a demarcação dos limites de cada região que tinha células porosas na amostra (lápis preto foi utilizado para demarcar os limites entre casca e cerne). Com o auxílio da mesa Lintab 5 combinados com software TSAP-Win, foi realizado a leitura do comprimento do raio no rolo de incremento em cm. Finalmente a área do alburno em cm² foi calculada por meio da equação abaixo.

Área do alburno (SA) foi definida a partir da região dos núcleos de incrementos que apresentaram célula com poros abertos, considerados como funcionais, com o uso da fórmula abaixo, conforme Ivanov (2011).

$$SA = \pi i/4 * (DAP^2 - (DAP - (R_1 + R_2))^2)$$

Em que: SA= área de alburno (cm²) na i-ésima árvore; π = valor de pi; DAP = diâmetro a altura do peito (cm) na i-ésima árvore; DAP² = diâmetro a altura do peito (cm) na i-ésima árvore elevado ao quadrado; R₁ = primeiro raio de alburno (cm) na i-ésima árvore; R₂ = segundo raio de alburno (cm) na i-ésima árvore.

4. 3. 5 Produção de frutos

Os dados de produção de frutos das castanheiras selecionadas foram fornecidos pela Rede Kamukaia. Para a coleta de dados de frutos anualmente a equipe de pesquisa da Rede Kamukaia realiza o monitoramento da produção de

frutos nas árvores selecionadas. A coleta de dados de produção ocorre sempre em duas etapas: a primeira no mês de janeiro e a segunda no mês de março.

O número total de frutos de cada árvore monitorada é obtido através da contagem individual do número de frutos coletado sob a copa de cada árvore. Os frutos pedrados por dispersores não são incluídos na contagem total de frutos. No presente estudo considerou-se dados de produção em um período de quatro anos, referente aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. Com estes dados anuais calculou-se a média aritmética de produção individual de cada árvore.

Este período de quatro anos foi estabelecido com base na pesquisa de Zuidema (2002), Cunha et al. (2016), em que os autores definem que no intervalo de 4 anos a estrutura de dossel das árvores bem como a competição no interior da floresta tropical, permanecem constantes. Desta maneira, considerou-se que neste período estabelecido, às árvores estudadas não sofreram influências significativas na estrutura de dossel bem como na competição, com reflexos na produção de frutos.

4. 4 Processamento e análise dos dados

Os dados foram organizados e tabulados em planilhas do software Microsoft Excel. As análises estatísticas foram processadas no software SAS On Demand for Academics (Copyright © 2018, SAS Institute Inc.).

4. 4. 1 Variação da área de alburno

A análise exploratória do banco de dados das árvores foi realizada por meio da estatística descritiva, sendo elaborada uma tabela com os valores de tamanho mínimo, tamanho máximo, média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação.

Foi analisado se a área do alburno é influenciada através das condições de copa, altura total e altura comercial, condições de sítio, carga de lianas e da produção

de frutos. Foi analisado também em relação ao diâmetro medido ao nível de 1,30 m do solo e das características de morfológica do caule.

Para um melhor entendimento da relação alométrica da área do alburno em relação as variáveis estudadas, as árvores foram agrupadas em suas classes ontogenéticas (para maiores informações de classe ontogenética ver Staudhammer et al., 2013).

4. 4. 2 Análise de Correlação

A área de alburno foi relacionada com as variáveis dendrométricas, dados de copa e de produção de frutos, por meio da correlação linear de Pearson. Relacionou-se a área de alburno com essas variáveis para saber a princípio os níveis de associação e possíveis causas e efeitos da variação do tamanho da área de alburno nas castanheiras.

4. 4. 3 Modelo de regressão para estimativa de produção de frutos

Os modelos de regressão tiveram como variável resposta a produção de frutos. A eficiência do modelo de regressão foi verificada pela distribuição gráfica dos resíduos, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (S_x). Foi analisado também o valor e significância do teste F, bem como valor e significância de T, conforme Field (2009).

a) Estimativa de frutos sem a variável alburno

A modelagem de produção de frutos sem a variável área de alburno foi realizada usando o pacote SAS, com o procedimento da regressão *Stepwise*, utilizando o software estatístico SAS conforme Schneider et al. (2009).

Foi utilizado o conjunto de variável independente diâmetro altura do peito, altura total, altura comercial, diâmetro da copa, comprimento da copa, relação

hipsometrica, índice de abrangência, índice de saliência, proporção da copa, lianas, dados de sítio.

Pelo procedimento “stepwise” a variável que de forma individual melhor explicou a produção de frutos, pelo método “stepwise” foi selecionada para análise do banco de dados.

b) Estimativa de frutos com a variável alburno

Foi realizada uma análise de regressão múltipla, onde a variável resposta também é a produção de frutos. Nesta análise incluímos em um único modelo de regressão múltipla a área do alburno e todas as demais variáveis medidas diretamente nas árvores.

A eficiência da área de alburno como vetor de importância na produção de frutos foi analisada pelo coeficiente do teste T e do teste F. Foi analisado se esta variável respondeu com significância ou não na regressão. Verificamos se a inclusão da área do alburno também iria melhorar a eficiência do modelo de regressão, por meio do coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de variação (S_x), conforme Field, (2009).

Ainda foi testada a eficiência da área do alburno em uma análise de regressão, pela estratificação do diâmetro das árvores.

5. RESULTADOS E DISCURSÃO

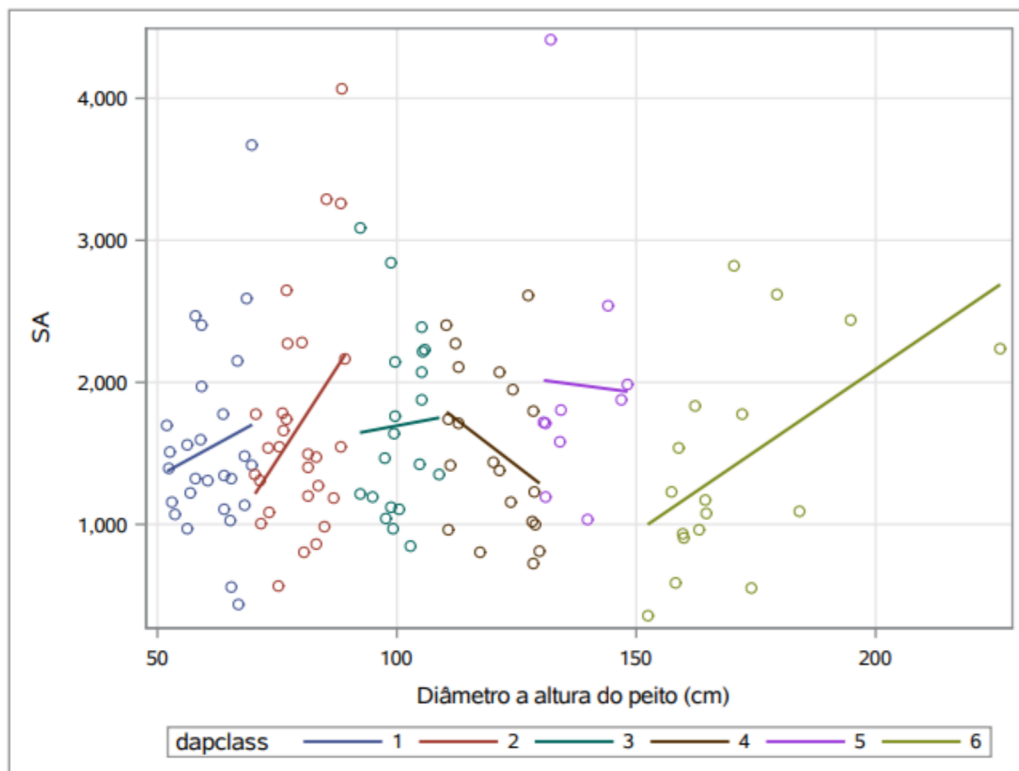
5. 1 Variação do alburno

Os valores da estatística descritiva, a média, os tamanho máximo e mínimo da área do alburno (Tabela 1), indicou a existência de variação dos dados da área de alburno nas árvores de *B. excelsa*. Os modelos de regressão formulados por seis classes de diâmetro altura do peito forneceram informações mais precisas sobre a variação da área de alburno (Figura 1).

A matriz de correlação indicou que as variáveis dendrométricas (DAP, h, dc, compcopa, lianas, hipso, abrang, salien), apresentaram correlação positiva com valor superior a $r = 50$ (Tabela 2). A relação alométrica mais forte, constatada por meio da análise de correlação, foi com o DAP e com a relação hipsométrica (DAP, $r = 0,91$; hipso, $r = 99$). A correlação linear de Pearson, com a produção média de frutos ($r = 0,37$, $P < 0,08112$), não foi significativa.

A forte correlação positiva da área de alburno com o diâmetro altura do peito, também foi confirmada pela distribuição gráfica, como pode ser observado na Figura 1. Os resultados mostram que a área de alburno das castanheiras varia em função das fases ontogenéticas da árvore, ou seja, a área do alburno varia conforme aumentam o seu tamanho do DAP.

Figura 1. Área do alburno (SA) em cm^2 , *B. excelsa* (n = 140) por classe de diâmetro Projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.



Onde: SA (área de alburno em cm^2) e dapclass – centro de classes 1 (50-70 cm), 2 (70-90 cm), 3 (90-110 cm), 4 (110-130cm), 5 (130-150 cm), 6 (>150 cm).

De maneira geral ocorre variação de tamanho da área de alburno nas árvores de castanheiras (Figura 1). O tamanho do diâmetro altura do peito (DAP medido a 1,30 m) teve efeito sobre área de alburno. Nas árvores com diâmetro altura do peito de até 100 cm, a área de alburno tem um comportamento de crescimento linear. Essa tendência de crescimento linear do alburno, nas árvores mais jovens, decorre principalmente dessas árvores terem potencial de vigor muito forte, portanto são mais ativas fisiologicamente.

Já nas árvores na fase ontogenética com o tamanho de DAP entre 100 cm a 120 cm, tem área de alburno estável, nesta fase não foi observado crescimento linear, a tendência de estabilidade é observada. Nas castanheiras com o tamanho de DAP entre 120 cm a 140 cm a área de alburno apresenta crescimento linear negativo. Já nas árvores com DAP superior a 150 cm a área de alburno tem crescimento linear muito forte, porém o tamanho da área de alburno.

Os resultados demonstraram que as árvores apresentam tendência de crescimento linear da área do alburno são as árvores que recebem luz direta em sua copa, ou seja, são as árvores da amostra que foram classificadas como dominante. A mesma observação, ou seja, a área de alburno tem maior tamanho nas árvores localizadas em área de terra firme, em comparação às árvores localizada em beira de corpos de água.

Em relação às variáveis de copa, os indivíduos de dossel emergente, possuem maior área de alburno. No presente estudo a grandes maiorias das árvores são de grande porte, com altura total variando entre 23 e 48 metros. A altura total apresentou correlação forte com alburno ($r= 0,64$, $P < 0,04138$). As árvores mais altas em nosso estudo apresentam maior área de alburno, pelo fato que essas árvores têm maior capacidade de captação de luminosidade, portanto são árvores com maior potencial para atividade fotossintética.

Nas árvores da amostra, em relação a forma da copa, 84% das árvores têm o círculo perfeito ou bom, quanto ao dossel da floresta, 78% das árvores são classe dominante, 20% co-dominante e somente 2% é suprimida. Nas árvores que apresentam todas as características comuns, ou seja, apresenta círculo de copa perfeito, tamanho de copa grande, estar localizada no dossel superior, possui tronco retilíneo, as árvores sem a presença de liana, os resultados demonstraram que a faixa de área de alburno destas árvores ficou entre 1200 cm^2 e 2200 cm^2 .

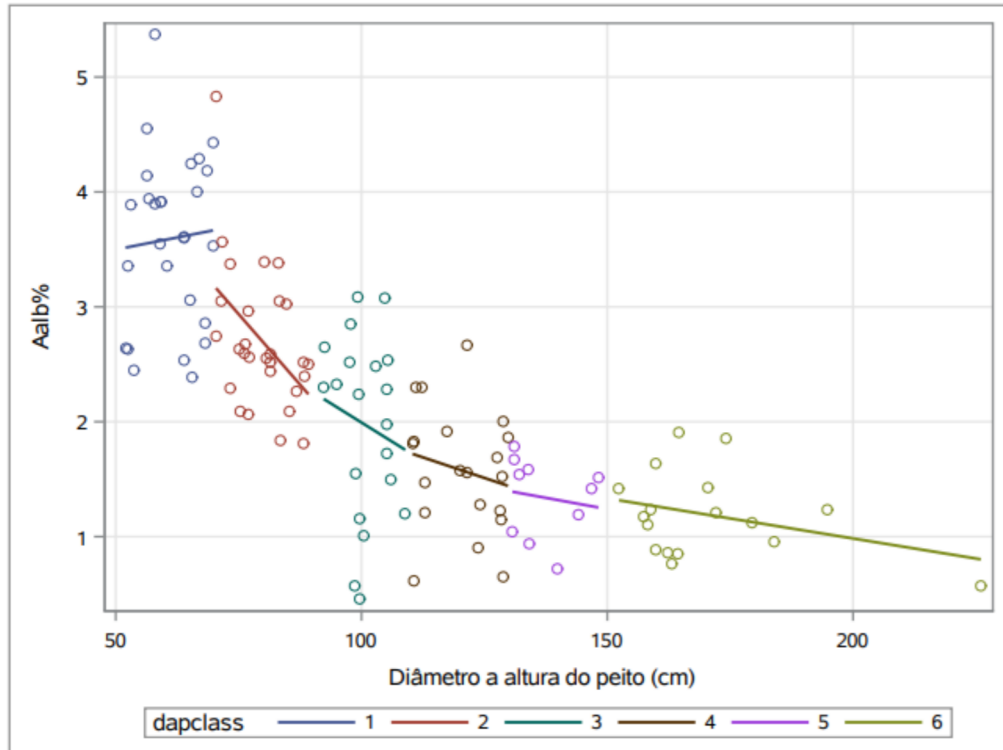
Nas castanheiras com o tamanho de DAP entre 120 cm a 140 cm a área de alburno apresenta crescimento linear negativo. Nas árvores com DAP superior a 150 cm a área de alburno tem crescimento linear muito forte.

Para Garther, (2002), o tamanho da área transversal do alburno para um determinado diâmetro do caule varia muito entre espécies arbóreas e entre árvore. Apesar de suas implicações para a taxa de uso de água a consequências dessa ampla variação na área de alburno entre árvores de tamanho semelhantes, essas relações são praticamente inexploradas.

De acordo com Goldstein et al. (1998); Meinzer et al. (2001), o tamanho da área de alburno presente no caule das árvores pode aumentar indiretamente as atividades fotossintéticas, visto que uma das principais funções do alburno é o transporte de água do caule para as folhas, entretanto muitas espécies mantém uma

faixa mais larga de alburno do que o necessário para atender as exigências hidráulicas.

Figura 2. Área do alburno (SA) em %, *B. excelsa* (n = 123) por classe de diâmetro Projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil



Onde: Aalb% (área de alburno em porcentagem) e dapclass – centro de classes 1 (50-70 cm), 2 (70-90 cm), 3 (90-110 cm), 4 (110-130cm), 5 (130-150 cm), 6 (>150 cm).

Nas relações de porcentagem da área de alburno em relação a seção transversal do tronco da árvore (DAP 1,30 m do solo), o estudo demonstrou a existência de um padrão de predominância do alburno, onde as árvores mais jovens, ou seja, com os menores tamanho de diâmetro, tem maior porcentagem de área de alburno. A distribuição gráfica do percentual da área de alburno nas castanheiras tem a estrutura de j invertido, conforme a Figura 2.

O padrão de distribuição gráfica da variação de porcentagem de alburno em diferente classe de diâmetro (Figura 2) indica a existência de grande variação no tamanho em percentual da área do alburno nas árvores, indo de 4% até 40% da área total da seção transversal do caule (altura de 1,30 m do solo). As árvores com o diâmetro entre 50 cm a 70 cm têm maior presença de área de alburno, onde até 40% de área transversal pode ser alburno. As árvores com os maiores tamanhos de

diâmetros (maior de 150 cm) a porção de alburno não foi superior a 18% da área de seção transversal do caule.

Na região amazônica, o estudo de Dünisch & Morais (2002) encontraram valores de tamanho da área de seção transversal do caule de 36% para *Swietenia macrophylla*, 78% para *Cedrela odorata* e 93% para *Carapa guianensis*, portanto em nosso estudo a percentagem de área de alburno é condizente com outras espécies Amazônicas.

O estudo demonstrou que as árvores de castanheiras mais jovem tem maior área de alburno em termos percentual. Entretanto com o aumento do diâmetro, ocorreu o aumento de madeira morta, com conseqüente diminuição da madeira condutiva em relação a seção transversal total da árvore.

Segundo Taylor et al. (2002), porém existe árvores s árvores com características semelhantes em seus dados dendrométricos, dados de copa, porém com tamanho de área de alburno com grande variação. Para o autor um mesmo conjunto de árvore, pode ter diferente estratégia adaptativa, sendo o qual o tamanho da área de alburno de uma árvore depende da quantidade de água disponível, bem como de suas atividades de transpiração.

Neste estudo foi verificado que existe uma faixa de tamanho do alburno onde as árvores, nessa faixa de tamanho produzem uma maior quantidade de frutos. Já as árvores com os maiores tamanhos de área de alburno não produzem muitos frutos. De acordo com Meir e Grace (2002), árvores com maiores tamanhos de área de alburno, podem ter maiores custos respiratórias, segundo a o qual, maiores tamanhos de área de alburno podem incorrer em maiores custos respiratórios para as árvores.

As árvores com o tamanho da área de alburno, superior 3000 cm², não produziram muitos frutos. Essas árvores são as que apresentaram as maiores área de alburno, todas têm o DAP \geq 150. Segundo Wadt et al. (2005) as árvores com DAP \geq 150, são árvores iniciando o estado de senescência, portanto com sua fase biológica de produção já em início de decadência ou em fase de senescência.

A melhor produção de frutos foram às árvores com DAP entre 100 e 150 cm. Algumas arvoreem jovens, na classe de DAP entre 50 cm e 100 cm, (conforme a classificação de Wadt et al., 2005), também produziram bastantes frutos, nestas

árvores com grande quantidade de fruto produzido o tamanho médio do alburno foi de 1240 cm².

A análise da relação entre a o tamanho do alburno e a produção de frutos, constatou-se que as árvores com a maior produção de frutos, têm um tamanho de área de alburno bem similar, ou seja, o tamanho de área de alburno fica entre 1200 cm² e 2200 cm².

Os valores superiores de produção de frutos, nas árvores com faixa de tamanho de alburno entre 1.200 a 2200 cm, pode ser um indicativo do vigor do alburno nessas árvores. Segundo Taylor et al. (2002), o alburno presente no caule dessas árvores, está relacionado com atividade fotossintética dela, por esse motivo as o alburno de uma árvore está diretamente relacionado com a produção desta árvore.

O gráfico de dispersão na Figura 3 (a, b), apresenta tendência linear na relação da área de alburno versus o diâmetro altura do peito (1,30 m) e diâmetro da copa. Logo presumimos que essas duas variáveis, pode ser um preditor firme do tamanho da área do alburno nas árvores. Nestas árvores conforme aumenta o tamanho do DAP e o diâmetro da copa, há também tendência de aumentar o tamanho da área de alburno.

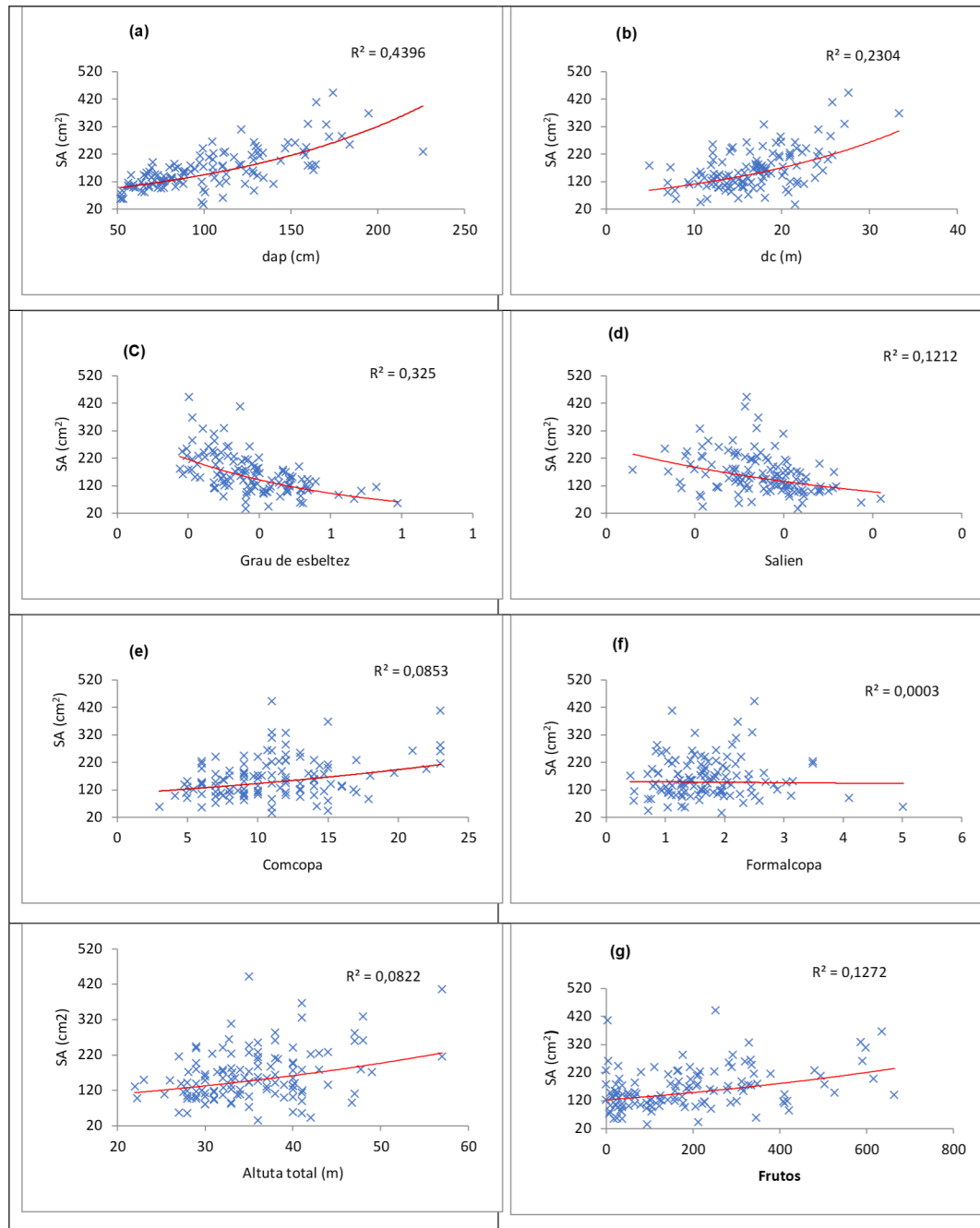
Tendência linear também foi observada com o grau de esbeltez (g), porém foi observada uma associação negativa na distribuição gráfica. Apesar de tendência negativa, também presumimos que essa variável tem influência no tamanho de área de alburno. As árvores que possuem maior tamanho de alburno são árvores com menor grau de esbeltez.

Nas demais variáveis conforme os gráficos da Figura 3 (d, e, f, g) não constatamos de forma clara relação do tamanho da área de alburno com as variáveis citadas. A análise gráfica do alburno em função da altura total e a altura comercial, não mostrou relação com tendência conclusiva, conforme o gráfico de dispersão Figura 1 (h), (e).

Em relação aos frutos o gráfico de dispersão mostrou relação com fraca significância entre alburno e frutos, Figura 3 (h). Por meio do gráfico não podemos inferir, entretanto supomos que as árvores com maiores produção de frutos têm uma faixa ótima de tamanho do alburno.

Deduzimos pela relação gráfica, que o DAP e o diâmetro da copa, são as variáveis que mais influência o tamanho da área de alburno. Existe associação entre essas variáveis e o alburno.

Figura 3. Gráficos de dispersão de *B. excelsa* versus as variáveis dendrométricas, morfométricas e frutos, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.



Onde: SA (tamanho área de alburno); dap (diâmetro altura do peito, 1,30); dc (diâmetro da copa); grau de esbeltez (grau de esbeltez), salien (índice de saliência), comcopa (comprimento da copa), formalcopa (formal de copa); frutos (média de frutos no período de 2017 a 2021); altura total (altura total).

5. 2 Correlação da área de alburno

A significância ao nível de 5% de probabilidade, as variáveis, altura comercial, forma da copa, formal de copa, propcopa, possocial e frutos, não foram significativas ao nível de probabilidade estabelecida, as demais variáveis apresentaram correlações significativas (Tabela 2).

A altura total das árvores apresentou significância na correlação com alburno ($r= 0,64$, $P < 0,04138$), porém a altura comercial não teve relação com significância ($r= 0,19$, $P < 0,11840$). Supomos que altura total influencia a relação da área de alburno, na medida que a altura total, reflete a posição da árvore localizada no dossel da floresta, desta maneira é possível verificar que as árvores com maior capacidade de captação de luminosidade são as árvores do dossel, portanto essas árvores têm maior potencial para atividade fotossintética.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson para o alburno de *B. excelsa* com as variáveis dendrométricas, morfométricas e frutos, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.

Abreviação	Descrição da unidade	Correlação de Pearson	Valor-p
dap	Diâmetro	0,91	0,01013
H	altura total	0,64	0,04137
Hc	altura comercial	0,19	0,11840
Dc	diâmetro copa	0,59	0,04829
compcopa	comp. da copa	0,62	0,04499
formalcopa	formal de copa	0,02	0,19992
propcopa	proporção da copa	0,25	0,10443
lianas	Lianas	0,58	0,04987
possocial	posição social	0,14	0,13276
hipso	hipsometrica	0,99	0,00079
abrang	abrangência	0,76	0,02782
salien	Saliência	0,78	0,02498
formcopa	forma da copa	0,30	0,09338
frutos	média frutos	0,37	0,08112
Sítio	Sítio	0,09	0,01013

- Onde: Abreviação (variáveis usadas no teste de correlação) Pearson (valores da correlação) P (valores testados a significância ao nível de 5% de probabilidade).

A correlação da área de alburno com as variáveis de copa (diâmetro da copa, comprimento da copa, índice de abrangência, relação hipsometrica, índice de saliência), mostraram correlação com significância. As árvores apresentaram uma

ampla variação de suas arquiteturas de copa. Testamos a correlação para tentar entender a interação da arquitetura da copa das árvores com área de alburno.

O diâmetro da copa além de ter correlação, também teve boa relação no gráfico de dispersão Figura 2 (a). As árvores com os maiores diâmetro de copa apresentaram grande área de alburno. Árvores com copa danificada, copa quebrada e poucos galhos (são as árvores menos produtivas) também apresentaram menor tamanho de área de alburno.

A obtenção de variáveis de copa para árvores individuais é um dos muitos procedimentos usados para avaliar a saúde e o declínio da floresta. Segundo Eckmullner e Sterba (2000), o método de visualização da condição da copa das árvores, para analisar a saúde do povoamento é amplamente utilizado para analisar o efeito da mudança na saúde da floresta, entretanto, segundo o Autor é um método com limitada precisão.

Conforme Waring et al. (1982), o vigor de uma árvore também pode ser medido pela relação entre o crescimento da árvore e sua área de alburno. Essa relação pode ser verificada por meio de análise de regressão, medindo a relação entre área de alburno e a área foliar.

Em nosso estudo verificamos a relação da área de alburno versus as variáveis de copa, testamos essa hipótese para saber se essa relação, é viável para indicar o vigor das *B. excelsa* estudadas. O teste desta relação, foi justificado pela dificuldade que existe em medir as variáveis de copa das árvores. As *B. excelsa* em sua maioria são árvores emergentes de grande porte em altura, apresentam dificuldades em coletar dados de copa, onde normalmente existem erros na medição dos dados de copa.

Construir uma relação das variáveis de copa, com área de alburno, pode ser uma alternativa de medir o vigor das árvores, aperfeiçoando desta maneira o uso de variáveis de copa.

Procedemos a modelagem do alburno em função diâmetro da copa, comprimento da copa, índice de abrangência, relação hipsométrica, posição social, índice de saliência, para confirmar a hipótese de que as variáveis possuem relação.

O resultado do modelo de regressão por meio do coeficiente de determinação, foi verificado que essa relação é forte (R^2 0,55, $P < 0,0001$). O resultado da regressão confirmou que existe relação entre área de alburno e as variáveis de copa, conforme sugerido por Waring et al. (1982).

Em relação ao sítio o teste de correlação mostrou que o tamanho da área de alburno não tem correlação com o sítio, entretanto na área de APP e baixio, o tamanho da área de alburno das árvores, foi menor em relação ao alburno das árvores de terra firme.

As árvores de *B. excelsa* localizada na APP e no baixio produziram poucos frutos. Esperávamos que essas árvores teriam uma grande área de alburno e também produzissem muitos frutos, visto que nesse ambiente, provavelmente existe um maior potencial de disponibilidade de água para essas árvores.

5. 3 Estimativa de frutos sem a variável alburno

Nesta modelagem ajustamos um modelo de regressão linear múltipla sem a variável área de alburno. Utilizamos nesta regressão variáveis independente que estava correlacionada com frutos (dap, h, dc, compcopa, hipso, abrag e propcopa). Foi usado o procedimento “stepwise”, no pacote SAS, utilizando a função regressão PROC STEPWISE.

Tabela 4. Valores de F e Significância para a variável diâmetro da copa (dc) no modelo de produção fruto de *B. excelsa*, pelo método STWWISE, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.

Resultado do modelo de regressão múltipla pelo método “stepwise”			
Variável	R^2	T	Pr > F
dc	0,26%	42,9	<.0001
propcopa	0,26%	5,09	0.0259

Onde: dc (diâmetro da copa), propcopa (proporção da copa)

Pelo procedimento “stepwise” a variável diâmetro da copa foi a variável que de forma individual melhor explicou a produção de frutos (Tabela 3). O diâmetro da copa explicou de forma individual a produção de frutos de *B. excelsa*, pelo método “stepwise”. Com este modelo obtivemos um coeficiente de determinação de 0,26% para o modelo de regressão.

O gráfico em porcentagem de resíduos apresentou tendência de superestimação ou subestimação. Já o gráfico dos frutos reais versus os frutos estimados, foi percebido que os valores estimados não apresentam uma boa distribuição com os valores reais. Desta maneira, esta modelagem não se mostrou totalmente robusta na modelagem de frutos em nossa amostra.

5. 4 Estimativa de frutos com a variável alburno

A correlação entre a área do alburno com os frutos, não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade ($r= 0,37$ $P < 0,08112$). Na estatística descritiva o coeficiente de variação do alburno e o coeficiente de variação dos frutos foram elevados, conforme a Tabela 1. Os valores elevados de coeficiente de variação dessas variáveis, mostrado na Tabela 1, indicou que os valores elevados influenciaram os valores de significância da correlação.

A modelagem para realizar a estimativa de frutos, com a ferramenta regressão linear múltipla (não aplicamos transformação logarítmica ou raiz quadrado, por exemplo), entretanto o modelo de regressão se mostrou adequado para estudar a importância do alburno na explicação individual de fruto.

Staudhammer et al. (2021), na construção de modelos para explicar os vetores que explicam a produção de frutos da *B. excelsa*, constatou que o alburno foi um dos vetores que têm importância na explicação na produção de frutos, onde a autora conclui que a área de alburno impacta significativamente a produção dos frutos de *B. excelsa*. Estudando a importância do alburno, Sande et al. (2015), em um estudo de crescimento de biomassa em árvores de dossel na Amazônia, constatou que o alburno foi a única variável que explicou a variação no crescimento de árvores de dossel.

No presente estudo, essa variável respondeu positivamente no resultado do modelo de regressão (Tabela 4, Modelo 1). Com a inclusão do alburno ocorreu melhora no coeficiente de determinação, em comparação com a estimativa de frutos sem o uso da variável alburno. Com o uso da variável área do alburno o coeficiente de determinação da regressão calculada foi superior a 35%, $P < 0,0001$ (Tabela 4), já

na estimativa sem o uso do alburno o coeficiente de determinação foi inferior a 30% $P < 0,0001$.

Visando melhorar o coeficiente de determinação da regressão linear, foi realizada uma modelagem pela estratificação do tamanho do DAP. O modelo que apresentou melhor resultado foi das árvores com tamanho de DAP entre 100 cm a 150 cm. Este foi chamado de Modelo 4 (Tabela 4), o coeficiente de determinação foi de 80%. O modelo 3 (compreendeu as árvores com o tamanho de DAP entre 50 e 100 cm), coeficiente de determinação foi de 51%, já o modelo 2 (árvores com DAP maior que 150 cm) coeficiente de determinação foi de 39%. O modelo 5, foi realizado somente entre a variável área alburno versus frutos, este modelo não se mostrou adequado.

De uma maneira geral o alburno melhora as estimativas de frutos (modelos de regressão linear múltiplo). Em nossa análise as melhores respostas do alburno, no procedimento de modelagem de regressão linear múltipla, foram obtidas com a estratificação dos dados por classe de DAP.

Tabela 5. Valores de F e Significância para a variável no modelo de produção fruto de *B. excelsa*, projeto de Assentamento Chico Mendes, Acre, Brasil.

Resultado dos modelos de regressão linear múltipla		
Modelo	R ²	Valor F
1	35%	4,98
2	39%	1,03
3	51%	1,71
4	80%	2.17
5	006%	0,80

Onde: Modelo 1 (regressão com todas as árvores amostrada em um único modelo de regressão); Modelo 2 (regressão com as árvores de DAP entre 50 a 100 cm) Modelo 3; (regressão com as árvores de DAP entre 100 a 150 cm); Modelo 4; (regressão com as árvores de DAP maior que 150 cm); Modelo 5 (regressão entre alburno versus frutos).

No presente estudo foram verificadas que as árvores que têm o tamanho de alburno entre 1.200 a 2.200 cm², são as árvores com maior produção de fruto. Estas mesmas árvores também possuem maiores diâmetro da copa, tronco reto, copa perfeita, sem galhos quebrados e são árvores sem a presença de lianas. Nestas

árvores com as condições de copa era toda perfeita. Foi verificado em campo que essas árvores têm copa mais vigorosa, são árvores que atingem o dossel da floresta.

Segundo Kunert et al. (2017), uma árvore na floresta tropical, tende a ter crescimento mais rápido em locais luminosos, livres de sombra e da competição de outras árvores. Portanto essas árvores, quando atinge o dossel da floresta, são as árvores com maiores espaços vitais e maior atividade fotossintética, normalmente suportando uma grande quantidade de folha, o que torna mais vigoroso seu crescimento, com maiores área de alburno.

De uma maneira geral, o tamanho total das *B. excelsa* apresentou variação, altura total ($DAP \geq 50$ cm), indo de 22 m a 57 m, com tamanho médio de 35 m (Tabela 1), essas árvores de dossel emergentes também apresentaram maior produção de frutos.

Para Kunert et al. (2017), as árvores de dossel emergente têm maior potencial de produção, pelo fato de reciclarem mais água. Essas árvores reciclam mais água pelo fato de ter mais exposição à luz solar (em comparação com árvores de sub-bosque), portanto estas árvores apresentam maiores taxa de transpiração, do que as árvores em níveis mais baixos do dossel da floresta.

Conforme, Mainzer et al. (2004), às árvores de dossel da floresta, são capazes de liberar mais água pela abertura dos estômatos, devido a maior exposição a luz solar, além de apresentarem maiores taxas de transpiração, as árvores de dossel emergentes, também armazenam água em seu caule, onde essas armazenamento chaga a ser de até 10% da água transpirada na floresta tropical.

Especificamente sobre a copa (no presente estudo), a variável que melhor influenciou o tamanho da área de alburno foi o diâmetro da copa. As árvores com maior tamanho de copa, também tinham maior área de alburno. O diâmetro da copa também afetou positivamente a produção de fruto, onde foi constatado que conforme aumenta o tamanho do diâmetro da copa, ocorre uma ligeira melhora na produção de fruto.

Nossa compreensão é que o alburno através do papel funcional (suprimento de água e a condução de nutrientes das raízes para as folhas) aumenta indiretamente

a taxa fotossintética das árvores de castanheira, na medida em que sustenta o transporte de água para as folhas em maior ou menor quantidade.

O transporte de água em toda árvore, pode ser avaliado entre a razão área folia específica e o alburno. Esta razão determina o suprimento de água por unidade de copa. A razão entre área de alburno versus dados de copa (R^2 0,55, $P < 0,0001$), no estudo indicou que área do alburno afeta as taxas reais de fotossíntese nas árvores estudadas.

Nas árvores estudadas, deduzimos também que nem todo alburno presente nas árvores esteja disponível para o transporte de água, visto que as maiores faixa de alburno nas *B. excelsa*, também implicam maiores custos respiratórias das árvores e ainda existe a possibilidade que área de alburno presente nas árvores seja antiga. Portanto essas características são fatores que influencia a densidade do fluxo de seiva do xilema nas árvores de castanheiras.

No estudo as árvores na classe de DAP entre 100 e 150 cm, tem melhor área de alburno condutora. Nossa afirmação se baseia nos dados da produção de frutos e nos dados de copa. Essas árvores citadas (tamanho do DAP) têm produção de fruto maior em comparação com as outras classes de DAP. Nessas árvores o tamanho da copa é grande e possuem forma da copa perfeita.

As castanheiras estudadas apresentam uma relação alométricas entre a área de alburno e a produção de frutos. A ligação entre área de alburno e a copa das árvores favorece um fluxo contínuo e eficiente de suprimento de água. Assim nossa pesquisa mostra que a estratificação dos dados pela classe de DAP pode ser usada em modelos de produção de frutos para melhora as estimativas de produção.

6. Conclusões

- A área de alburno das castanheiras estudadas varia principalmente em função do diâmetro e das variáveis de copa;
- A inclusão da área de alburno na estimativa de frutos melhorou a eficiência do modelo, melhorando o coeficiente de determinação na modelagem;
- As árvores com melhores produções de frutos, são aquelas com faixa de área de alburno entre 1200 cm^2 e 2200 cm^2 ;
- Existe relação alométrica na razão entre área de alburno e variáveis de copa.

8. Referências bibliográficas

ACRE, Governo do Estado. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase I: Documento síntese. 2. Ed. **Rio Branco: Secretaria de estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, 2000.

ACRE, Governo do Estado. Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico do Acre Fase II: documento síntese-Escala**, v. 1, n. 250.000, 2010.

ALMEIDA, José Jonas. Os Primórdios da Exploração da Castanha-do-Pará na Amazônia (Séculos XVIII-XX). In: **6ª Conferência Internacional de História Econômica e VIII Encontro de Pós-Graduação em História Econômica**. São Paulo: **Universidade de São Paulo**. 2016. p. 1-32.

ALBREKTSON, Arne. Relations between tree biomass fractions and conventional silvicultural measurements. **Ecological Bulletins**, p. 315-327, 1980.

BRASIL, 2006. **Decreto Federal nº 5975 de 30 de novembro de 2006**. Acessado em [www.planalto.gov.br/civil_03 / ato_2004-2006/2006/decreto/d5975.htm](http://www.planalto.gov.br/civil_03/ato_2004-2006/2006/decreto/d5975.htm). Acessado em 16/05/2021.

BAYMA, Márcio Muniz Albano et al. Aspectos da cadeia produtiva da castanha-do-brasil no estado do Acre, Brasil. **Embrapa Acre-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

CALEGARIO, Natalino et al. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 69, p. 38-50, 2005.

CUNHA, Thiago Augusto da et al. Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica. 2009. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CUNHA, Thiago Augusto; FINGER, César Augusto Guimarães; HASENAUER, Hubert. Tree basal area increment models for *Cedrela*, *Amburana*, *Copaifera* and *Swietenia* growing in the Amazon rain forests. **Forest Ecology and Management**, v. 365, p. 174-183, 2016.

CRONKLETON, Peter; PULHIN, Juan M.; SAIGAL, Sushil. Co-management in community forestry: how the partial devolution of management rights creates challenges for forest communities. **Conservation and Society**, v. 10, n. 2, p. 91-102, 2012.

DUCHELLE, Amy E. et al. Evaluating the opportunities and limitations to multiple use of Brazil nuts and timber in Western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 39-48, 2012.

DÜNISCH, Oliver; MORAIS, Ronaldo R. Regulação do fluxo de seiva do xilema em uma espécie de Meliaceae perenifolia, semidecídua e decídua da Amazônia. **Árvores**, v. 16, n. 6, pág. 404-416, 2002.

ECKMÜLLNER, Otto; STERBA, Hubert. Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*). **Canadian Journal of Forest Research**, v. 30, n. 10, p. 1646-1654, 2000.

FIELD, Andy. **Descobrendo a estatística usando o SPSS-5**. Penso Editora, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre da. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FINGER, Cesar Augusto Guimaraes. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria. UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p, 1992.

GARTNER, Barbara L.; MEINZER, Frederick C. Structure-function relationships in sapwood water transport and storage. In: **Vascular transport in plants**. Academic Press, 2005. p. 307-331.

GOLDSTEIN, G. et al. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. **Plant, Cell & Environment**, v. 21, n. 4, p. 397-406, 1998.

Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola – **Panorama nacional de cadeia de valor da castanha-do-brasil** – Piracicaba, SP:IMAFLOA, 2016. 60P; 21X28 cm.

IVANOV, Guilherme Boeira et al. INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, ANATÔMICAS E AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE FRUTOS E SEMENTES DE *Bertholletia excelsa* HBK. 2011. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

KAINER, Karen A.; WADT, Lúcia HO; STAUDHAMMER, Christina L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 244-255, 2007.

KAINER, Karen A.; WADT, Lúcia HO; STAUDHAMMER, Christina L. Testing a silvicultural recommendation: Brazil nut responses 10 years after liana cutting. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 3, p. 655-663, 2014.

KAINER, Karen A.; WADT, Lucia HO; STAUDHAMMER, Christina L. The evolving role of *Bertholletia excelsa* in Amazonia: contributing to local livelihoods and forest conservation. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 48, 2018.

KUNERT, Norbert et al. A revised hydrological model for the Central Amazon: the importance of emergent canopy trees in the forest water budget. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 47-57, 2017.

LEHNEBACH, Romain et al. The pipe model theory half a century on: a review. **Annals of botany**, v. 121, n. 5, p. 773-795, 2018.

MAUÉS, Márcia Motta. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Lecythidaceae) in Eastern Amazonia. **Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature**, v. 245, 2002.

MACHADO, S. A; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. Curitiba, 2003. 309 p.

MEIR, Pedro; GRACE, John. Relações de escala para respiração de tecido lenhoso em duas florestas tropicais. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 8, pág. 963-973, 2002.

MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; ANDRADE, J. L. Regulation of water flux through tropical forest canopy trees: do universal rules apply?. **Tree physiology**, v. 21, n. 1, p. 19-26, 2001.

MEINZER, Frederick C. et al. Restrições na função fisiológica associadas à arquitetura de ramos e densidade de madeira em árvores de floresta tropical. **Tree Physiology**, v. 28, n. 11, pág. 1609-1617, 2008.

MORI, Scott A.; PRANCE, Ghilleen T. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). **Advances in Economic Botany**, p. 130-150, 1990.

NEVES, Ezaquiel; GUEDES, Marcelino Carneiro; RODRIGUES, Ediglei Gomes. Relação da produção de frutos de Castanha-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) com variáveis das próprias castanheiras, em capoeira e floresta da Resex Cajari. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 5, n. 2, p. 31-37, 2015.

NEVES, E. de S.; WADT, LH de O.; GUEDES, Marcelino Carneiro. Estrutura populacional e potencial para o manejo de *Bertholletia excelsa* (Bonpl.) em castanhais nativos do Acre e Amapá. **Embrapa Rondônia-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.

ORTIZ, E. Brazil nut (*Bertholletia excelsa*). **Tapping the green market: certification and management of non-timber forest products**, p. 61-74, 2002.

PAROLIN, P.; MÜLLER, E.; JUNK, W. J. Sapwood area in seven common tree species of Central Amazon floodplains. **Area Pesquisas Bot**, v. 59, p. 277-286, 2008.

SANDE, Masha T.; ZUIDEMA, Pieter A.; STERCK, Frank. Explaining biomass growth of tropical canopy trees: the importance of sapwood. **Oecologia**, v. 177, n. 4, p. 1145-1155, 2015.

SALOMÃO, Rafael de Paiva. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 11-25, 2009.

SA, C. P.; BAYMA, M. M. A.; WADT, LH de O. Coeficientes técnicos, custo e rentabilidade para a coleta de castanha-do-brasil no Estado do Acre: sistema de produção melhorado. **Embrapa Acre-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2008.

SANDE, Masha T.; ZUIDEMA, Pieter A.; STERCK, Frank. Explaining biomass growth of tropical canopy trees: the importance of sapwood. **Oecologia**, v. 177, n. 4, p. 1145-1155, 2015.

SERRANO, Rodrigo OP. Regeneração e estrutura populacional de *Bertholletia excelsa* HBK em áreas com diferentes históricos de ocupação, no Vale do Rio Acre (Brasil). **Embrapa Acre-Tese/dissertação**, 2005.

SOUZA, Cintia Rodrigues et al. Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humn. & Bonpl.). **Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2008.

SHINOZAKI, Kichiro et al. A quantitative analysis of plant form-the pipe model theory: I. Basic analyses. **Japanese Journal of ecology**, v. 14, n. 3, p. 97-105, 1964.

SCOLES, Ricardo; GRIBEL, Rogério; KLEIN, Gilmar Nicolau. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273-293, 2011.

SCHNEIDER, P.R. et al. Análise de regressão aplicada a Engenharia Florestal, 2 ed Santa Maria; UFSM CEPEF, 2009. 236P.

SCHÖNGART, Jochen et al. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, n. 5, p. 550-558, 2015.

STAUDHAMMER, Christina L.; WADT, Lúcia HO; KAINER, Karen A. Tradeoffs in basal area growth and reproduction shift over the lifetime of a long-lived tropical species. **Oecologia**, v. 173, n. 1, p. 45-57, 2013.

STAUDHAMMER, Christina L. et al. Modelos comparativos desvendam os vetores da variabilidade da produção de frutas de uma árvore amazônica de longa vida econômica e ecologicamente importante. *Nutere*, v. 11, n. 1, pág. 1-12, 2021.

TAYLOR, Adam M.; GARTNER, Barbara L.; MORRELL, Jeffrey J. Formação do cerne e durabilidade natural - uma revisão. 2002

TONINI, Hélio; DA COSTA, Patrícia; KAMINSKI, Paulo Emílio. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, v. 38, n. 3, 2008.

TONINI, Helio. Amostragem para a estimativa de produção de sementes de castanheira-do-brasil em floresta nativa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 5, p. 519-527, 2013.

TONINI, Helio; PEDROZO, C. A. Variações anuais na produção de frutos e sementes de Castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) em florestas nativas de Roraima. **Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

VIEIRA, Simone et al. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 102, n. 51, p. 18502-18507, 2005.

WADT, Lúcia HO; KAINER, Karen A.; GOMES-SILVA, Daisy AP. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, n. 3, p. 371-384, 2005.

WADT, L. H. O. (Ed.) SEMINÁRIO DO PROJETO KAMUKAIA: Manejo Sustentável de Produtos Florestais Não-madeireiros na Amazônia, 1, 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: Embrapa Acre, 2008, 182 p.

WADT, LH de O. et al. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, n. 1, p. 332-346, 2008.

WARING, R. H.; SCHROEDER, P. E.; OREN, R. Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 12, n. 3, p. 556-560, 1982.

ZUIDEMA, Pieter A.; BOOT, René GA. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. **Journal of Tropical Ecology**, p. 1-31, 2002.

ZUIDEMA, Pieter Alle. **Ecology and management of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*)**. Promab, 2003.