



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA  
INSTITUTO DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
ENGENHARIA FLORESTAL**

**JOBERT SILVA DA ROCHA**

**ESTUDO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DOMINANTE DE**

*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari

**EM POVOAMENTOS EXPERIMENTAIS NA REGIÃO**

**AMAZÔNICA APÓS 50 ANOS DE PLANTIO**

Santarém

Dezembro de 2019

**JOBERT SILVA DA ROCHA**

**ESTUDO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DOMINANTE DE**

*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari

**EM POVOAMENTOS EXPERIMENTAIS NA REGIÃO**

**AMAZÔNICA APÓS 50 ANOS DE PLANTIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Florestal para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia Florestal; Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Biodiversidade e Florestas.

**Área de concentração:** Manejo de Florestas Plantadas

**Orientador:** Rafael Rode

Santarém

Dezembro de 2019

**JOBERT SILVA DA ROCHA**

**ESTUDO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DOMINANTE DE**

*Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari

**EM POVOAMENTOS EXPERIMENTAIS NA REGIÃO**

**AMAZÔNICA APÓS 50 ANOS DE PLANTIO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do título Bacharel Engenharia Florestal, no Instituto de Biodiversidade e Florestas, da Universidade Federal do Oeste do Pará.

**Área de concentração:** Manejo de Florestas Plantadas

**Orientador:** Rafael Rode

Data de aprovação: 11 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA:

---

Dr. Rafael Rode (Presidente/Orientador)

---

Dra. Luciana Karla Valéria dos Santos Sousa (1º Examinador)

---

Msc. Karla Mayara Almada Gomes (2º Examinador)

## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Nildo e Raimunda do Socorro, por sonharem comigo e acreditarem em mim, por vezes até mais que eu mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus Supremo, por me conduzir em todos os passos que dei até hoje.

Aos meus pais, José Nildo e Raimunda do Socorro, pela compreensão, amor incondicional e “financiamento” dessa graduação, mas principalmente por sonharem junto comigo e lutarem com todas suas forças para que eu tivesse as oportunidades que eles não tiveram. O Seu Juca, técnico de Laboratório e meu pai, uma pessoa extraordinária que esteve comigo desde o primeiro dia de desenvolvimento desse trabalho, sempre solicito me ajudou na coleta dos dados, dedicando seu tempo e empenho para que eu chegasse até o fim desse projeto. Dona Socorro, minha mãe e melhor amiga, nunca deixou que meus sonhos morressem, sempre esteve disposta a dedicar-me o melhor, forneceu-me toda a base necessária para que eu alcançasse nossos objetivos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rafael Rode pela amizade, paciência, conhecimentos transmitidos e contribuição na minha formação, sendo um exemplo de profissional ao qual me espelho.

Aos funcionários e estagiários do Laboratório de Sementes Florestais, por todo apoio que me concederam, em especial ao Seu Emanuel e Dona Ilma, pessoas incríveis e solícitas que por várias vezes me iluminaram em dias difíceis, mostrando-me a importância da generosidade e humildade.

À minha namorada Bruna Braga, por sonhar e alcançar objetivos junto comigo e acima de tudo, pela paciência e por me ajudar sempre que preciso.

À todos os meus amigos de graduação, em especial a Wallace Campos, Máira Teixeira e Danilo Ícaro, pela amizade, companheirismo e lealdade ao longo desses 5 anos de caminhada, amigos incríveis que sempre torceram e acreditaram em mim, levantavam meu ânimo sempre que pensava em abandonar o barco (hehe). Amigos levarei vocês pra sempre comigo.

À “Massabor Pirata”, por fornecer lanches de qualidade e higiene da marca Massabor© à preços universitários, que foram de suma importância, principalmente na etapa escrita do trabalho.

À todas as pessoas incríveis que Deus colocou na minha vida durante a graduação.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>2. Material e métodos</b> .....	5
2.1. Área de estudo .....	5
2.2 Coleta de dados e Análise de tronco – Anatro .....	7
2.3. Estimativas das alturas pelo método de TARG .....	8
2.4. Modelagem da produção em altura dominante .....	10
2.5. Avaliação dos modelos.....	10
<b>3. Resultados e discussão</b> .....	12
<b>4. Conclusões</b> .....	20
<b>5. Referências bibliográficas:</b> .....	21

## RESUMO

Este estudo teve por objetivo determinar o potencial produtivo da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari na região Norte do Brasil, avaliando seu crescimento em altura dominante em dois povoamentos instalados na Amazônia, Oeste do Pará. Os dados utilizados foram originados de amostragem por análise completa de tronco provenientes de amostra de oito árvores dominantes de plantios experimentais situados na Reserva Florestal do Palhão (RP) e Estação Experimental de Curuá-Una (EECU), com idades de 59 e 50 anos, respectivamente. As alturas totais das árvores amostra foram reconstituídas pelo método TARG - Tree Annual Radial Growth. Para comparar a produção em altura dominante na área de plantio, foram ajustados os modelos não lineares de crescimento Logístico e Chapman-Richards. Selecionou-se o melhor modelo de crescimento através da comparação do erro padrão percentual ( $Sy_x\%$ ), coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), critério de informação de Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), e análise gráfica das curvas de crescimento. De acordo com as análises, o modelo Chapman-Richards foi indicado como mais eficiente na modelagem da curva de produção para os plantios avaliados. Verificou-se que o plantio da EECU apresentou maiores incrementos médios em altura dominante e DAP com relação ao plantio da RP, além de IMA máximo para esses parâmetros em menores idades, destacando-se como melhor sítio para espécie, equiparando-se em crescimento com outras regiões. Portanto, conclui-se que o Norte brasileiro apresenta capacidade produtiva aceitável para instalação de povoamentos homogêneos com *P. caribaea* var. *hondurensis* em escala comercial.

Palavras-chave: Análise de tronco, regressão não linear; silvicultura tropical.

## ABSTRACT

This study aimed to determine the productive potential of *Pinus caribaea* var. *hénurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari in the northern region of Brazil, assessing its growth in dominant height in two stands in the Amazon, Western Pará. The data used were derived from full stem analysis sampling from a sample of eight dominant trees of experimental plantations located in the Reserve. Palhão Forestry (RP) and Curuá-Una Experimental Station (EECU), aged 59 and 50 years, respectively. The total heights of the sample trees were reconstituted by the TARG - Tree Annual Radial Growth method. To compare dominant height production in the planting area, the nonlinear Logistic and Chapman-Richards growth models were adjusted. The best growth model was selected by comparing percentage standard error ( $S_{yx}\%$ ), adjusted determination coefficient ( $R^2_{aj}$ ), Akaike information criterion (AIC), Bayesian information criterion (BIC), and graphical analysis of the yield curves. growth. According to the analyzes, the Chapman-Richards model was indicated as the most efficient in the production curve modeling for the evaluated plantings. It was found that the planting of EECU presented larger average increases in dominant height and DAP compared to the planting of RP, and maximum IMA for these parameters at younger ages, standing out as the best site for species, matching growth with other species. regions. Therefore, it is concluded that the North of Brazil has acceptable production capacity for homogeneous stands of *P. caribaea* var *hondurensis* on a commercial scale.

Keywords: Trunk analysis, nonlinear regression; tropical forestry.



**ESTUDO DO CRESCIMENTO EM ALTURA DOMINANTE DE *Pinus caribaea* var *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari EM POVOAMENTOS EXPERIMENTAIS NA REGIÃO AMAZÔNICA APÓS 50 ANOS DE PLANTIO**

## **1. Introdução**

A silvicultura com espécies exóticas atualmente assume relevante importância socioeconômica no Brasil, tornando-se imprescindível para a indústria nacional de base florestal, pela geração de matéria prima para diversos setores, tais como celulose, laminação, serraria, compensados, energia e resinagem (Cerqueira et al., 2017). De acordo com IBÁ (2018), no ano de 2017, o setor de florestas plantadas nacional alcançou taxas de 7,8 milhões de hectares cultivados, quase exclusivamente por espécies pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*.

Os povoamentos de *Pinus* ocupam atualmente cerca de 1,6 milhões de hectares, distribuídos nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. As características tecnológicas e silviculturais de sua madeira, bem como a introdução no Brasil de espécies nativas de regiões tropicais, especificamente *Pinus caribaea*, têm promovido uma alternativa na distribuição geográfica das florestas plantadas com este gênero (Shimizu, 2006). Dessa forma, as áreas de plantio, antes restritas à determinadas regiões, têm-se ampliado, atingindo além do Centro-Oeste, algumas áreas pontuais das regiões Nordeste e Norte, promovendo a expansão silvicultural do *Pinus* no Brasil (Donadoni et al., 2010).

A espécie *Pinus caribaea* compreende três variedades: *caribaea*, *bahamensis* e *hondurensis*. A *P. caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari é nativa da América Central, com ocorrências restritas a locais livres de geada, com altitudes máximas de 700m, onde ocorrem precipitações médias anuais de 2.000mm a 3.000mm. Ocorre naturalmente nas terras baixas de Belize, El Salvador, Guatemala, Honduras,

Nicarágua e no leste do México. Esta variedade é uma das mais estudadas entre os *Pinus* tropicais e a mais importante para as regiões do centro e norte do Brasil e em áreas de Queensland, Austrália, nas Ilhas Fiji e na Venezuela (Dvorak e Moura, 2001). Por essa razão, a referida espécie florestal corresponde a uma das mais cultivadas no mundo, devido sua ampla adaptação à diversas condições edafoclimáticas (Melo et al., 2013).

No Brasil, os plantios devem ser restritos às regiões de clima tropical, devendo-se escolher cuidadosamente, os locais para empreendimentos com a espécie, considerando a altitude e clima correspondentes às dos sítios de sua ocorrência nativa. Por essa razão, o uso comercial do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari é recomendado à região tropical brasileira, devido suas condições edafoclimáticas condizentes às características fisiológicas e silviculturais da espécie.

Observa-se que informações técnicas referentes ao manejo e silvicultura do *Pinus* na região amazônica ainda é escassa na literatura. Portanto, conhecimentos consistentes sobre o seu crescimento e produção são imprescindíveis para investimentos florestais no setor, pois auxiliam com informações técnicas o manejo eficiente da espécie sob as condições tropicais da região Norte brasileira (Cerqueira et al., 2017).

No entanto, a história da silvicultura com espécie exótica na Amazônia remonta ao início dos anos 50, quando o governo brasileiro, através da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) encomendou à Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), estudos para o desenvolvimento dos recursos florestais amazônicos, investida que gerou uma das parcerias mais importantes para o avanço da ciência florestal no Brasil, especialmente da região Norte (Sudam, 1978; Silva, 2000). Desde então, foram instalados os primeiros centros de experimentos silviculturais da região amazônica com *Pinus* tropical, porém, a sua condução não teve continuidade, permanecendo desconhecido, até então, as

informações sobre o seu crescimento para a sua aplicação comercial na região Norte do Brasil.

Nesse sentido, para obtenção de informações quanto ao crescimento passado de uma árvore ou povoamento florestal, a metodologia de análise de tronco (Anatro), surge como uma técnica que possibilita verificar o crescimento em altura e diâmetro ao longo de sucessivos anos, além de permitir verificar a influência da idade na forma do fuste da árvore e a volumetria em diferentes classes de idade (Campos e Leite, 2017).

O crescimento em idade é demarcado no lenho transversal por faixas de parênquima axial marginal, o que torna possíveis: a detecção dos limites dos anéis de crescimento, a medição do crescimento anual, os incrementos médios de produção e a dendrocronologia da espécie. As faixas marginais são constituídas de células de parênquima estabelecidas no final de um período de atividade cambial e no início da seguinte (Ferreira e Filho, 2009). O período de dormência ou menor atividade cambial está correlacionado com a estação de seca, típica de Floresta Equatorial, já o período de máxima atividade cambial está relacionado à estação chuvosa, que corresponde ao período de maior disponibilidade de recurso ao crescimento do vegetal.

No entanto, os procedimentos para contagem e medição dos anéis de crescimento constituem a parte mais dispendiosa da análise de tronco, muito usada no âmbito científico e por empresas florestais para estudar a qualidade da madeira e o desenvolvimento de árvores e povoamentos ao longo dos anos (Prodan et al., 1997). Seus resultados têm aplicações para projeções de crescimento futuro e tomada de decisões estratégicas para a produção de florestas.

A técnica Anatro, consiste em medições dos anéis de crescimento da árvore em seções transversais sob diferentes alturas, sendo possível reconstruir todo o crescimento do indivíduo ou do povoamento a partir da contagem e medição dos anéis de crescimento, obtendo relações entre as variáveis de interesse e a idade, bem como

as taxas médias de incremento dessas variáveis (Campos e Leite, 2017; Vendruscolo et al., 2018).

Essa ferramenta, considera cada ano de crescimento como uma árvore individual, permitindo a obtenção de um extenso conjunto de dados com informações consistentes sobre crescimento e produção de povoamentos florestais e árvores individuais (Encinas et al., 2005; Thomas et al., 2006). Nesse sentido, a aplicação da Anatro em empreendimentos florestais é importante para o entendimento dos processos de crescimento a nível de povoamento, assumindo exercício de ferramenta eficiente para posterior planejamento silvicultural e manejo florestal (Prodan et al., 1997).

Através desta metodologia, a estimativa da altura total da árvore a uma determinada idade ou no final dos períodos de crescimento específicos é realizada por interpolação linear (Cancino et al., 2013). Alguns métodos de estimativa da altura são baseados apenas na contagem dos anéis de crescimento e nas alturas das seções transversais do lenho (Lenhart, 1972; Scolforo, 2006). Contudo, há outros métodos que concomitante a idade, incluem informações sobre a largura dos anéis de crescimento, como o método Tree Annual Radial Growth (TARG), proposto por Kariuki (2002), procedimento bastante difundido e utilizado no setor de manejo florestal para determinação da altura de árvores e povoamentos, sendo eventualmente a metodologia aplicada na condução do presente estudo.

A análise de tronco pode ser completa ou parcial, na análise completa a árvore é derrubada e dela é retirado um determinado número de discos ao longo do tronco; na parcial, o indivíduo não é derrubado e é retirado apenas um rolo de incremento com o auxílio de um trado de Pressler (Campos e Leite, 2017). Por meio da análise de tronco completa é possível reconstruir todo o crescimento passado do povoamento, destacando a determinação da altura total do indivíduo relacionado a sua respectiva idade (Kariuki, 2002; Scolforo, 2006; Novaes et al., 2017).

A técnica Anatro possibilita reconstruir o crescimento passado das árvores através da soma dos incrementos anuais em altura e diâmetro, sendo possível aferir sobre as mudanças na forma e, conseqüentemente no crescimento em volume para determinada amostra. No entanto, na ciência florestal o procedimento de análise de tronco é mais aplicado à reconstrução do desenvolvimento em altura das árvores, visando principalmente o ajuste de equações altura-idade (Scolforo, 2006; Campos e Leite, 2017).

O emprego da técnica de análise de tronco para estimativa de variáveis dendrométricas em povoamentos de *Pinus* estabelecidos na região Sul é um assunto bastante difundido. Entretanto, ainda são escassos os estudos com *Pinus* tropicais especialmente na região Norte do Brasil, destacando a importância e necessidade de estudos nessa linha de pesquisa envolvendo espécies florestais exóticas na Amazônia.

Nesse contexto, considerando a carência de estudos relacionados a determinação da produção do *Pinus* tropical na região, objetivou-se avaliar nessa pesquisa a partir da análise completa de tronco, o crescimento da altura dominante de dois plantios experimentais de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* instalados na Amazônia, de modo a comparar a evolução da produção em altura dominante da espécie e determinar seu potencial para aplicação comercial na região amazônica.

## **2. Material e métodos**

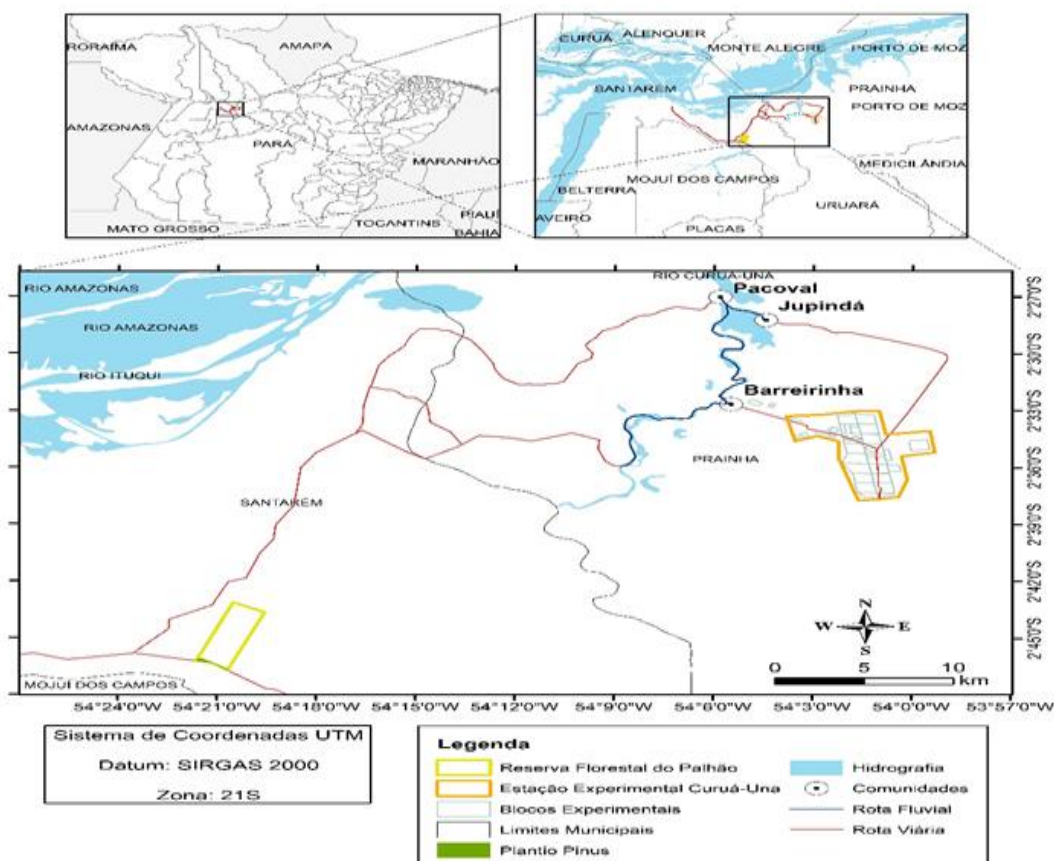
### **2.1. Área de estudo**

O presente estudo foi realizado com dados oriundos de dois plantios experimentais com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* localizado na região Oeste do estado do Pará. Os povoamentos foram instalados na região amazônica na década de 60 pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) a partir de uma parceria entre a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). O objetivo inicial desse empreendimento foi

experimental, visou avaliar o potencial silvicultural de diferentes espécies da Amazônia e também do gênero *Pinus* para a região.

As áreas experimentais estudadas descritas na Figura 1, pertencem à Reserva Florestal do Palhão (RP) e Estação Experimental de Curuá-Una (EECU), estando situadas nos municípios de Santarém-PA e Prainha-PA, nas coordenadas 02°32' S / 54°24' W e 02°38' S / 54°57' W, respectivamente (Sudam, 1978; Yared et al., 2000). O plantio correspondente a Reserva Florestal do Palhão (RP) apresentou na data da coleta 59 anos de idade, enquanto que o da Estação Experimental de Curuá-Una (EECU) apresentou 50 anos.

O clima da região apresenta duas condições distintas, uma de chuva e uma outra de seca (em torno de seis meses cada). Segundo Koppen e Geiger o clima é classificado como Aw, a temperatura média anual é de 27 °C e a pluviosidade média anual atinge 2.500mm. A altitude dos plantios estudados corresponde a 100m (EECU) e 30m (RP), com relação ao rio Curuá-Una. Em ambos, o solo é classificado como Argiloso com ocorrência de manchas lateríticas, (Sudam, 1978).



**Figura 1.** Localização espacial das áreas de estudo, Estação Experimental de Curuá-Una e Reserva Florestal do Palhão.

A EECU compreende 72.000 hectares de extensão territorial, subdividida em diversos blocos experimentais envolvendo o estudo silvicultural com mais de 38 espécies florestais, na qual encontrasse o *P. caribaea* var. *hondurensis*. Por outro lado, a Reserva Florestal do Palhão é considerada uma área estadual de conservação desde o Decreto Estadual Nº 6.063 de 3 de maio de 1968, abrangendo em sua totalidade 1.200 hectares (Dubois, 1987).

## **2.2 Coleta de amostras e Análise de tronco – Anatro**

Foram selecionadas nos dois povoamentos de *P. caribaea* var. *hondurensis* oito árvores dominantes (quatro por plantio) com representações morfométricas de fuste ideais: retos e livres de bifurcações. Devido a avançada idade de estoque e ausência de tratos culturais nos povoamentos avaliados, a metodologia de seleção das árvores dominantes baseou-se na escolha daquelas mais vigorosas, com maiores diâmetros e alturas, uma vez que os plantios encontravam-se com baixa densidade e em estágio de senescência.

Para cada indivíduo selecionado, foi marcado e medido o diâmetro à altura do peito (DAP) e, posteriormente, realizado o abate para retirada das amostras. Sobre a árvore no chão foi mensurado a altura total com trena metrada e executado o seccionamento do fuste para a extração das seções transversais nas alturas de 0,1 m; 0,7 m; 1,0 m 1,30 m; 2,0 m e de 1 em 1 m até a altura total.

As seções transversais do lenho foram identificados para cada altura do fuste, em seguida o material foi transportado da área de coleta para o laboratório, onde realizou-se sua secagem em temperatura ambiente em condições de armazenamento à sombra e livre de umidade por aproximadamente trinta dias, conforme procedimento descrito por Drescher et al., (2016).

Após a secagem, foi realizado o lixamento da face de medição de cada disco, com lixadeira industrial usando lixas de granulometria número 80 e 120, a fim de facilitar a distinção e visualização dos anéis de crescimento durante aplicação da metodologia de análise de tronco tradicional (Priya e Bhat, 1998).

Os diâmetros de cada anel de crescimento foram medidos usando a metodologia de Barusso (1977), empregada na maioria dos trabalhos de análise de tronco (Machado, et al., 2013). Constitui-se em traçar quatro raios nos discos, onde o primeiro é aquele que representa o maior raio da seção, e a partir deste no sentido anti-horário a 45°, marca-se quatro raios perpendicularmente opostos com 90°, onde são feitas as medições.

Sobre as marcações transversais representativas dos raios de cada disco foram mensuradas as dimensões de cada formação anual com régua milimetrada. Assumiu-se a média dos quatro raios medidos como raio representativo do anel em questão. Esse método de análise apresenta-se amplamente consolidado na ciência florestal, sendo muito utilizado em estudos de crescimento e produção partindo da Análise de tronco (Machado et al., 2013; Novaes et al., 2017).

Segmentos de crescimento com indicações de falso anel, depois de detectados foram confirmados na própria amostra com auxílio de lupa manual, partindo dos quatro raios transversais. Quando a delimitação destes anéis apresentava um padrão morfológico diferente dos anéis destacadamente verdadeiros, os mesmos foram considerados falsos e a sua existência foi desprezada (Cusatis et al., 2013).

Todas as informações mensuradas foram armazenados em uma planilha eletrônica, onde determinou-se o raio de cada anel a partir da média aritmética dos quatro raios traçados em cada seção transversal de lenho, possibilitando assim uma posterior análise dos dados para cada idade.

### **2.3. Estimativas das alturas pelo método de TARG**



Nos procedimentos de Análise de tronco, os diâmetros e raios dos anéis de crescimento são obtidos diretamente a partir das seções transversais do lenho retirados das árvores, no entanto, a altura atingida em cada idade é obtida por estimação, por ser uma prática de inalcançável medição partindo apenas da mensuração direta e exclusiva do tronco da árvore (Scolforo, 2006). Contudo, existem vários métodos desenvolvidos disponíveis na literatura para a obtenção destas estimativas partindo dos princípios da análise de tronco (Lenhart, 1972; Newberry, 1991; Scolforo, 2006).

A contagem dos anéis anuais de crescimento foi executada para cada seção transversal, representando com precisão a idade do indivíduo relacionada a respectiva altura da seção avaliada, tais valores foram associados ao raio de incremento em diâmetro, sendo executado interpolação linear das seções para o cálculo da altura total do indivíduo para cada ano de crescimento. Esse procedimento foi executado partindo-se da metodologia desenvolvida por Kariuki (2002) e descrita como método TARG (Tree Annual Radial Growth).

Scolforo (2006) detalha o método TARG para estimativa de altura em duas pressuposições: (i) a percentagem do crescimento anual em altura que está completamente ou parcialmente contida em uma seção está em igual percentagem de crescimento anual radial da base da referida seção e, (ii) a distância em relação a base da seção superior do último nó anual de crescimento que está contido dentro da distância L, pode ser estimada pela razão entre a largura do anel associado com o crescimento anual em altura ( $W_{k+1} - W_k$ ) e a largura acumulada dos anéis anuais de crescimento na seção  $W_{k+1}$ .

Para a estimativa da altura em cada idade, encontrou-se primeiramente o comprimento a partir da extremidade do último crescimento anual em altura contido dentro da seção até o disco acima, sendo representado matematicamente pela Equação 1.

$$X = (h_{j+1} - h_j) [(W_{k+1} - W_k) / W_{k+1}] \quad (1)$$

Empregando a primeira pressuposição,  $L - x$  (Scolforo, 2006), para se calcular o crescimento anual em altura que termina dentro de  $L$ , foi aplicado a Equação 2.

$$\Delta L = W_j [(h_{j+1} - h_j) - x] / W_k \quad (2)$$

Após o cálculo do referido crescimento anual, encontrou-se a altura em cada idade pela Equação 3.

$$H_{ij} = h_j + \Delta L \quad (3)$$

A opção pelo método TARG em detrimento aos outros métodos de estimativa de altura, foi por razão de seu fundamento baseado tanto na contagem como na medição da largura dos anéis de crescimento, sobretudo, Kariuki (2002), afirma que este possui boas estimativas para intervalos de amostras de 1,5 m quando comparado com outras metodologias.

#### 2.4. Modelagem da produção em altura dominante

Foram avaliados os modelos de crescimento Logístico e Chapman-Richards para produção em altura dominante das árvores amostradas (Tabela 1). O ajuste foi realizado para todo o conjunto de dados gerados a partir da Anatro pelo algoritmo de Gauss-Newton.

**Tabela 1.** Modelos de crescimento ajustados para estimar altura dominante em função da idade.

Modelo/Autor	Função
Logístico	$H_{dom} = \beta_0(1 - e(-\beta_1 I))^{\beta_2}$
Chapman-Richards	$H_{dom} = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I}}$

$H_{dom}$  = altura dominante;  $\beta$  = parâmetro de regressão;  $I$  = idade

Utilizou-se o modelo biológico de Chapman-Richards uma vez que é um dos mais utilizados no meio florestal (Filho et al., 2012). Por outro lado, o modelo Logístico além de sua fácil interpretação, descreve o comportamento biológico dos dados de crescimento em função da idade, diferentemente de modelos lineares, permitindo a

obtenção dos parâmetros iniciais do modelo por meio da interpretação biológica dos mesmos (Colegário et al., 2005; Carvalho et al., 2010).

## 2.5. Avaliação dos modelos

Nesse sentido, para cada modelo foram estabelecidas as avaliações de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), distribuição gráfica das alturas, estabilidade das curvas de produção geradas, erro padrão residual percentual ( $S_{yx}\%$ ), critério de informação de Akaike (AIC) e critério de informação Bayesiano (BIC).

O coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) foi corrigido para o número de variáveis independentes das equações, sendo calculado pela fórmula (4):

$$R^2_{aj} = (R^2 - \frac{K-1}{N-K}) \cdot (1-R^2) \cdot 100 \quad (4)$$

Em que: K = número de variáveis independentes da equação; N = número de observações;  $R^2$  = coeficientes de determinação;

Para teste e comparação das modelagens de crescimento em altura dominante, foi calculado o erro padrão residual da estimativa ( $S_{yx}$ ) e o erro padrão residual percentual ( $S_{yx}\%$ ) em cada curva gerada. O seu valor representa a dispersão dos resíduos ao longo da linha de regressão (Weber, 2007). Para o cálculo do erro padrão residual foi utilizada a expressão (5) e para o erro percentual foi aplicada a expressão (6):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad (5)$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que:  $S_{yx}$  = erro padrão residual na unidade da variável resposta;  $\hat{Y}$  = variável regressora estimada; Y = variável observada; n = número de observações dentro do limite da classe; p = número de parâmetros;  $S_{yx}\%$  = erro padrão percentual residual na unidade da variável resposta;  $\bar{Y}$  = média da variável observada.

Os valores de  $S_{yx}\%$  trazem a possibilidade de analisar dados com diferentes medidas, uma vez que seu resultado é dado em porcentagem, sendo útil para análise dos erros encontrados em cada modelagem de crescimento, mesmo em povoamentos com diferentes proporções.

O Critério de Informação de Akaike, por sua vez, avalia a qualidade do ajuste do modelo paramétrico, estimado pelo método da máxima verossimilhança, mostra que o viés é dado assintoticamente por  $p$ , em que  $p$  é o número de parâmetros a serem estimados no modelo, e define-se seu critério de informação pela expressão 7. Já o Critério Bayesiano (BIC) tem como pressuposto a existência de um “modelo verdadeiro” que descreve a relação entre a variável dependente e as diversas variáveis explanatórias entre os diversos modelos sob seleção. O valor do critério BIC para um determinado modelo é dado pela expressão 8.

$$AIC = -2 \ln (Mv) + 2 p \quad (7)$$

$$BIC = -2 \ln (Mv) + p \ln(n) \quad (8)$$

Em que:  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $Mv$  = valor da máxima verossimilhança;  $n$  = número de observações.

Critérios de seleção de modelos como o Critério de Informação de Akaike (AIC) e Critério de Informação Bayesiano (BIC), são frequentemente utilizados para selecionar modelos em diversas áreas. Segundo esses critérios, o melhor modelo será aquele que apresentar menor valor de AIC ou BIC. As estatísticas utilizadas são de grande relevância quando se trata da análise de regressão, pois penalizam modelos com grande número de parâmetros, escolhendo modelos mais parcimoniosos.

### **3. Resultados e discussão**

Verificou-se que todos os parâmetros resultantes do ajuste dos dois modelos foram significativos ao nível de 5% de probabilidade, segundo o teste  $t$  (Tabela 2). De acordo com Mendonça et al. (2011), ao analisar apenas esse critério, os modelos podem ser considerados adequados para geração da curva de produção em altura dominante

dos povoamentos, pois os parâmetros dos dois modelos analisados explicam o comportamento dos dados de forma significativa. No entanto, os mesmos autores asseguram que somente essa implicação não garante a qualidade da previsão, destacando a importância dos parâmetros estatísticos da regressão.

**Tabela 2.** Parâmetros encontrados para cada povoamento após ajuste dos modelos:

Estação Experimental de Curuá-Una (EECU)							
Modelo de Chapman-Richards				Modelo Logístico			
$R^2_{aj}\%$		90,72		$R^2_{aj}\%$		90,68	
$S_{yx}$		2,45		$S_{yx}$		2,46	
$S_{yx}\%$		12,66		$S_{yx}\%$		12,33	
AIC		582,39		AIC		583,25	
BIC		592,29		BIC		593,15	
Parâmetros da Regressão não-linear				Parâmetros da Regressão não-linear			
Coeficientes	Valores	Erro-Padrão	p-valor	Coeficientes	Valores	Erro-Padrão	p-valor
$\beta_0$	28,7314	0,6334	<0,05	$\beta_0$	26,1025	0,3157	<0,05
$\beta_1$	-1,0715	0,2771	<0,05	$\beta_1$	7,7359	0,9147	<0,05
$\beta_2$	0,0606	0,0043	<0,05	$\beta_2$	0,1631	0,0094	<0,05
Reserva Florestal do Palhão (RP)							
Modelo de Chapman-Richards				Modelo Logístico			
$R^2_{aj}\%$		86,75		$R^2_{aj}\%$		86,86	
$S_{yx}$		3,14		$S_{yx}$		3,13	
$S_{yx}\%$		17,24		$S_{yx}\%$		16,92	
AIC		803,06		AIC		801,10	
BIC		852,51		BIC		850,56	
Parâmetros da Regressão não-linear				Parâmetros da Regressão não-linear			
Coeficientes	Valores	Erro-Padrão	p-valor	Coeficientes	Valores	Erro-Padrão	p-valor
$\beta_0$	31,8807	1,3735	<0,05	$\beta_0$	26,6239	0,4688	<0,05
$\beta_1$	-1,0500	0,0268	<0,05	$\beta_1$	8,4359	1,0928	<0,05
$\beta_2$	0,0354	0,0037	<0,05	$\beta_2$	0,1161	0,0077	<0,05

Também estudando altura dominante para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, Mendonça et. al. (2011), determinaram valores de  $S_{yx}\%$  muito próximos aos verificados no presente trabalho, pois de acordo com os autores o modelo logístico apresentou após regressão não linear, erro padrão relativo de 11,58%, que na ocasião, mostrou-se o mais eficiente na relação hipsométrica em um povoamento na região Sudeste do Brasil.

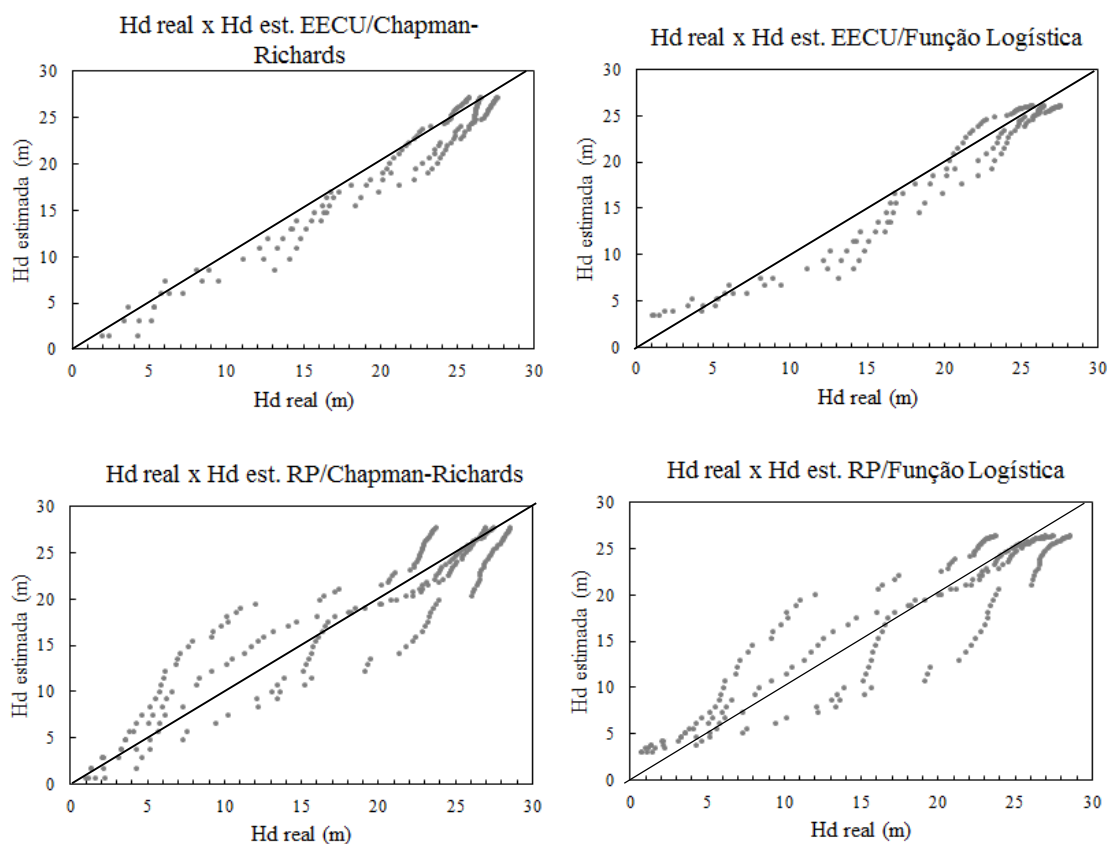
Diante desses resultados, corroboramos a aceitação do erro padrão percentual gerado na regressão para estudo de crescimento do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região amazônica.

Em nível de plantio, observando os valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão residual ( $S_{yx}$ ), critério de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), foi verificado que os modelos ajustados apresentaram extrema semelhança entre si para os dois sítios avaliados. Porém, quando comparado a eficiência dos ajustes, a modelagem na EECU foi superior, tanto para Função Logística quanto para o modelo de Chapman-Richards, apresentando  $R^2_{aj}$  em torno de 90%, enquanto que para o povoamento da Reserva do Palhão, os mesmos modelos apresentaram  $R^2_{aj}$  de 86,86 e 86,75%, respectivamente.

As estatísticas de AIC e BIC descritas na Tabela 2, só corroboram os parâmetros de  $R^2_{aj}$  obtidos na regressão, mostrando melhores valores para a modelagem na EECU, que apresentou menores AIC e BIC, comparado às modelagens na RP. No entanto, partindo desse critério, observa-se que o modelo Chapman-Richards mostrou maior parcimônia no plantio da EECU, enquanto que para o plantio da RP, destacou-se o modelo de crescimento Logístico.

A distinção entre as modelagens para altura dominante por plantio, ficou mais evidente comparando-se os gráficos de relação entre a altura observada e a estimada para cada povoamento pela regressão não linear (Figura 2). Nota-se que os modelos de Chapman-Richards e Função Logística distribuem as estimativas de forma mais homogênea no povoamento referente a EECU, verifica-se para essa mesma área, que a dispersão do crescimento na modelagem logística mostrou sutis tendências a superestimação e subestimação, o que indicou pouca correlação em determinadas classes de altura. Situação que destaca a modelagem com a função de Chapman-Richards como mais representativa para altura dominante no referido plantio, o que é

comprovado também em outros estudos com a mesma finalidade aplicando os mesmos critérios (Filho et al., 2012; Elesbão e Schineider, 2011).



**Figura 2.** Relação entre altura estimada e altura real entre os modelos ajustados e os povoamentos avaliados.

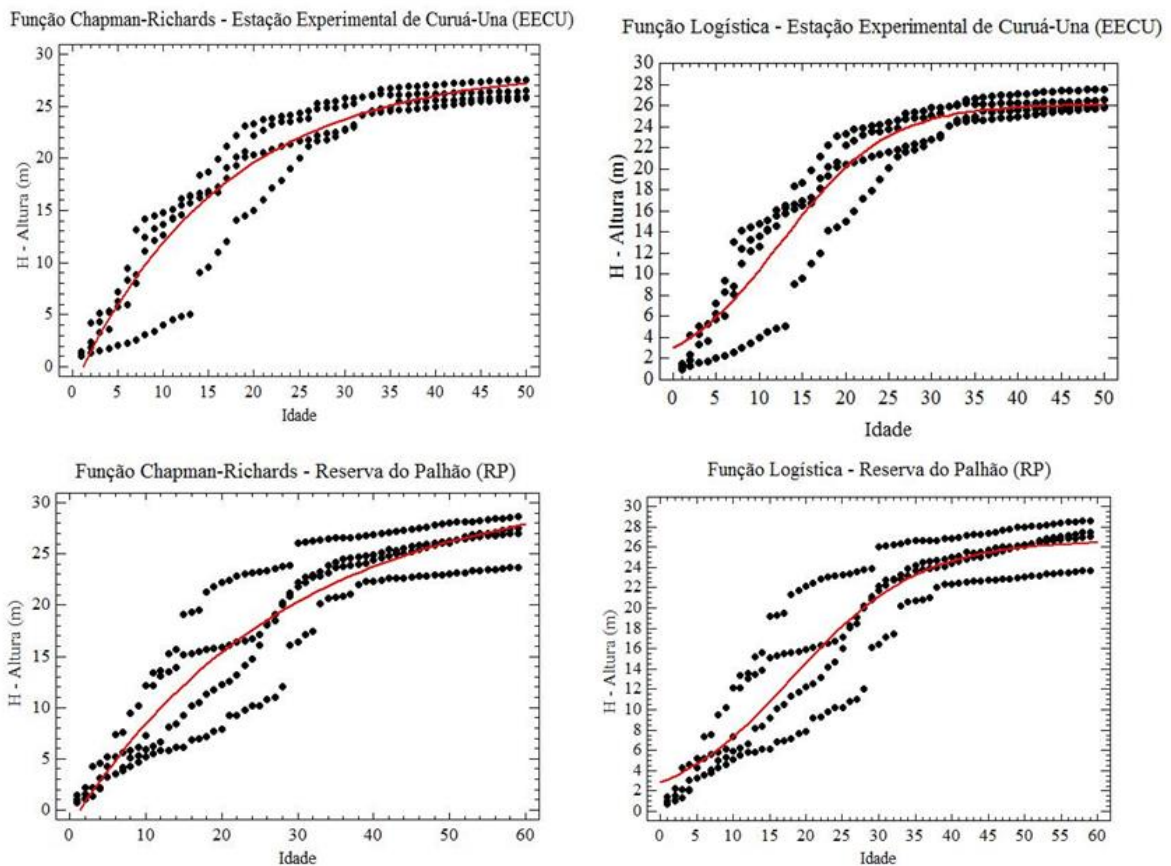
Mendonça et al. (2011), em estudo de modelagem da variável altura por regressão não linear, verificaram também que o modelo logístico não representou um variação real da relação hipsométrica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em plantio na região Sudeste, constatando tendência de subestimativa da altura nas árvores maiores que 20 m e de superestimativa de valores abaixo de 10 m. Resultados semelhantes aos visualizados no presente estudo para o plantio da EECU com a mesma espécie, que apresentou tendências a superestimação nos 4 metros iniciais e subestimação entre os 13 e 17 metros.

A relação entre a altura observada e altura estimada referentes aos modelos não lineares ajustados, esclarece o erro padrão apresentado nas modelagens, mostrando a conceitual variação de crescimento apresentada pelas amostras, remetendo à padrões diferentes de crescimento entre os plantios, indicando maior variação na produção em altura no plantio situado na Reserva do Palhão.

Essa determinante variação no crescimento entre as árvores amostradas possivelmente esteve relacionada ao manejo e contexto histórico dos plantios, tais como ocorrências de desbastes, incêndios e competição por regeneração natural. No entanto, informações referente a condução de desbastes e ocorrência de incêndios nas florestas avaliadas são pouco conhecidas, porém, há registros de incêndios nas idades 16, 21 e 32 anos para o plantio pertencente a Reservada Florestal do Palhão, eventos que promoveram significativa diminuição na densidade do plantio, reduzindo a competição e favorecendo o crescimento diamétrico das árvores remanescentes, respondendo em grandes variações de crescimento no plantio e entre as áreas estudadas.

O perfil de crescimento verificada no plantio de *P. caribaea var hondurensis* da Reserva Florestal do Palhão, é elucidada na Figura 3, onde observa-se o padrão de crescimento em altura por árvore-amostra, além das modelagens da curva de produção, verificando suas representações para os sítios avaliados. Verifica-se que o crescimento do plantio da EECU mostrou produção mais homogênea, onde as árvores-amostra apresentaram crescimentos com pouca variação, indicando relação altura x idade semelhantes, situação que respondeu à forma de condução do povoamento, que não passou por tratamentos silviculturais estando desde sua implantação sob elevadas condições de competição, o que pode ter influenciado na equidade verificada no crescimento em altura dominante do plantio.





**Figura 3.** Curvas de produção em altura dominante para os plantios de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* avaliados

Ressalta-se que mesmo sobre condições de crescimento distintas, os sítios estudados apresentaram classes médias de altura semelhantes, indicando aos 30 anos 24,30m e 21,60m em altura dominante para os povoamentos da EECU e RP, respectivamente. Sobretudo, Olivera et al. (2014), em seu estudo avaliando a modelagem de produção em diversos plantios de *P. caribaea* na região ocidental de Cuba, determinou uma produtividade local entre 14 m a 26 m, sob a idade de referência de 30 anos, resultados que assemelham-se às produções em altura dominante referente os plantios estudados na região Norte do Brasil com a mesma espécie, evidenciando capacidade produtiva aceitável para aplicação de *P. caribaea* var. *hondurensis* em povoamentos homogêneos na região amazônica.

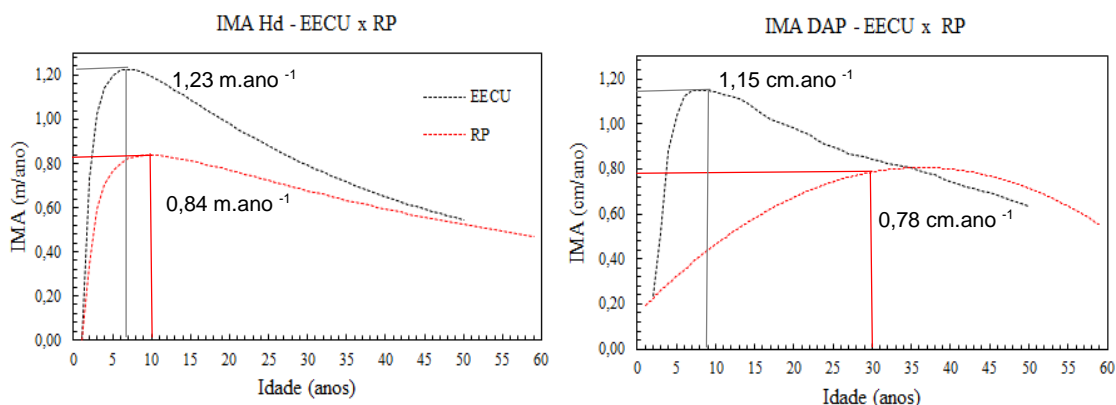
Na análise gráfica das curvas de crescimento na Figura 3, observa-se que o padrão da função biológica proposta por Chapman-Richards indicou melhor modelagem à variável estudada, mostrando representatividade nos dois plantios estudados para altura dominante em função da idade. Já o ajuste do modelo Logístico apresentou tendências a superestimativas nos primeiros anos de crescimento do povoamento, tanto na Reserva do Palhão como na EECU.

Mamoré (2016), conduzindo estudo com crescimento em povoamento de 35 anos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, verificou também tendências de superestimação nas alturas iniciais das árvores. Contudo, Campos e Leite (2017) afirma que com o avanço da idade essa diferença gradualmente tende a se estabilizar, corroborando aos resultados encontrados no estudo. Diante disso, diversos pesquisadores concluíram que as tendências de superestimação das alturas nas idades iniciais podem não ser prejudiciais em estudos de crescimento e produção, uma vez que para muitas ocasiões elas são desprezadas, podendo-se utilizar idade de referência superior a 8 anos (Drescher et al., 2016; Ziech et al., 2016; Chaves et al., 2016; Novaes et al., 2017).

Para complementar a análise do crescimento dos plantios avaliados, estimou-se o Incremento médio anual (IMA) da altura a partir das estimativas geradas pelo ajuste do modelo de Chapman-Richards, comparando-os com o IMA em DAP provenientes da modelagem da Função Logística para os dois plantios. Pela análise gráfica (Figura 4), observa-se uma maior produtividade no plantio da EECU, que mostrou valores de IMA máximo em altura na idade de 7 anos com incrementos de  $1,23 \text{ m.ano}^{-1}$ . Por outro lado, o IMA máximo do plantio da Reserva do Palhão apresentou-se apenas aos 10 anos, com taxas de  $0,84 \text{ m.ano}^{-1}$ .

No entanto, em estudos com *P. caribaea* na região Centro-Oeste do Brasil, foi verificado incremento médio anual máximo aos 5 anos, com taxas de  $1,5 \text{ m.ano}^{-1}$  (Mamoré, 2016). Já em plantios situados em diferentes regiões de Cuba, foi observado

por Sarria et al. (2012) e Serria et al. (2011) IMA máximo de  $1\text{m.ano}^{-1}$  entre as idades de 5 e 10 anos, portanto, pode-se inferir que a EECU corresponde ao sítio de melhor capacidade produtiva para *P. caribaea var hondurensis* na região, em comparação ao sítio da Reserva Florestal do Palhão.



**Figura 4.** Incrementos médios anuais para as variáveis altura dominante (Hd) e DAP.

Quanto ao IMA máximo em DAP, verificou-se que ocorreu aos 9 anos na EECU ( $1,15\text{ cm.ano}^{-1}$ ) e somente aos 30 anos na RP ( $0,78\text{ cm.ano}^{-1}$ ), o que determina um padrão diferenciado de crescimento para cada plantio, provavelmente por influência da baixa densidade do povoamento instalado na RP, sendo possível observar uma produção diamétrica crescente por maior tempo, diferente do plantio situado na EECU, que em resposta a constante competição e ausência de intervenções, como incêndios e desbastes, mostrou tendências decrescentes no incremento médio em diâmetro a partir do nono ano.

Diante disso, Bertoloti et al. (1983) concluiu que o *P. caribaea* apresenta tendências a declínio em diâmetro a partir dos 10 anos de idade, sugerindo desbastes em povoamentos com a espécie aos 11 e 12 anos. Por outro lado, Elesbão e Schneider (2011) mostraram em estudo com *Pinus taeda*, que plantios não desbastados de 17 anos apresentaram médias de DAP de 24,3 cm e H de 24 m, valores superiores aos dos plantios com *P. caribaea* estudados, pois na Reserva Florestal do Palhão, aos 17 anos as médias em DAP foram de 10,43 cm e H 13,54m e na EECU DAP 17,60cm e H 17,24m.

Portanto, diante das condições de cada sítio, foi observado que os plantios de *P. caribaea* var. *hondurensis* apresentaram incrementos médios em altura dominante e DAP diferentes, destacando, sobretudo, o plantio da EECU por apresentar incrementos maiores em menores idades, com taxas semelhantes à de outros empreendimentos com a espécie, resultados que destaca o potencial da região para instalação do gênero *Pinus* em plantios homogêneos.

#### **4. Conclusões**

A técnica de Análise de Tronco Completa mostrou-se eficiente para reconstrução do crescimento em altura e diâmetro de *P. caribaea* var. *hondurensis* na região amazônica. A modelagem não linear para estimativa de altura dominante apresentou bons parâmetros de ajustes aos povoamentos de *P. caribaea* var. *hondurensis* da Estação Experimental de Curuá-Una e Reserva Florestal do Palhão, destacando o modelo biológico de Chapman-Richards que indicou melhores estatísticas de regressão para os dois plantios, permitindo construir curvas de produção em altura para povoamentos com a espécie na região de estudo. O plantio localizado na Estação Experimental de Curuá-Una apresentou maior produtividade, com IMA máximo em altura aos 7 anos, além de incrementos médios maiores em comparação ao plantio da Reserva Florestal do Palhão, que obteve IMA máximo em altura apenas aos 10 anos. Verificou-se que a densidade e condução dos plantios refletiu em diferenças entre os incrementos em DAP, mostrando incremento máximo aos 9 anos ( $1,15 \text{ cm.ano}^{-1}$ ) para o plantio da Estação Experimental de Curuá-Una e apenas aos 30 anos ( $0,78 \text{ cm.ano}^{-1}$ ) para Reserva Florestal do Palhão, no entanto, sugere-se outros estudos com correlação dos incrementos anuais da espécie à dados climatológicos locais para cada sítio. Conclui-se, portanto, que a espécie estudada apresenta potencial silvicultural para ser instalado em escala comercial na Amazônia equiparando-se em produção com plantios em outras regiões.

## 5. Referências bibliográficas:

BARUSSO A. P. **A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco**. 1977.133f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1977.

CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C.L.L.; MAESTRI, R.; DANIELS, R.; NEIVA, R. Melhoria da qualidade do ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.69, p.38-50, 2005.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2017. 636 p.

CANCINO J, ACUÑA E, ESPINOSA M. Combining ring counting and ring width for estimating height in stem analysis. **Forest Science**, v.59, n.6, p.599-609, 2013.

CERQUEIRA, C. L., MÔRA, R., LENZI, I. L. C., DRESCHER, R., LIMA, E. M., LISBOA, G. D. S., & FRANÇA, L. C. D. J. Modelagem da altura de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em diferentes espaçamentos. **BIOFIX Scientific Journal**, v.2, n.2, p.93-99, 2017.

CHAVES A. G. S., DRESCHER R., CALDEIRA S. F., MARTINEZ D. T., VENDRUSCOLO D. G. S. Capacidade produtiva de *Tectona grandis* L.f no Sudoeste de Mato Grosso. **Scientia Forestalis**, v.44, n.104, p.415- 424, 2016.

CUSATIS, A. C. TRAZZI, A. P. DOBNER JR. M. HIGA, R. A. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 75, p. 287-297, 2013.

DONADONI, A. X.; PELISSARI, A. L.; DRESCHER, R.; ROSA, G. D. da. Relação hipsométrica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus tecunumanii* em povoamento homogêneo no Estado de Rondônia. **Ciência Rural**, v. 40, n. 12, p. 2499-2504, 2010.

DRESCHER R. N. G. M., MARTINEZ D. T., PELISSARI A. L. Capacidade produtiva do sítio em povoamentos jovens de *Tectona grandis* L. f. de duas regiões do estado de Mato Grosso - Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v.34, n.2, p.233-242, 2016.

DUBOIS. J.L.C. Avaliação de Parcelas Experimentais de Regeneração Natural e de Regeneração Artificial nas Reservas Florestais de Curuá-Una e do Palhão, Estado do Para. Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - OEA. 1987.

ELESBÃO, L. E. G.; SCHNEIDER, P. R. Produção do *Pinus taeda* L, em povoamento desbastado na região dos Campos de Cima da Serra, Rio Grande do Sul, **Ciência Florestal**, Santa Maria. v.21, n.1, p.119-124, 2011.

ENCINAS J. I., SILVA G. F., PINTO J. R. R., *Idade e crescimento das árvores*. Brasília: UnB, Departamento de Engenharia Florestal. 43 p. (Comunicações Técnicas Florestais, 7), 2005.

FERREIRA, A. T. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. por densitometria de raios X. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 83, p. 287-298, 2009.

FILHO, L. A. M. L., SILVA, A. A. J., CORDEIRO, M. G., FERREIRA, C. L. R. Modelagem do crescimento de clones de *Eucalyptus* usando o modelo de Chapman-Richards com diferentes distribuições simétricas dos erros. **Ciência Florestal**. v.22, n.4, p.777-785, 2012.

IBÁ - Indústria brasileira de árvores. **Anuário IBÁ 2018: ano base 2017**. Brasília: 2017. 100 p.

KARIUKI M. Height estimation in complete stem analysis using annual radial growth measurements. **Forestry**, v.75, n.1, p.63-74. 2002.

LENHART D. J. An alternative procedure for improving height/age data from stem analysis. **Forest Science**, v.18, n.4, p.332-332, 1972.

MACHADO, A. S., SILVA, R. C. JASKIU, E. CARVALHO, R. Comparação entre análise de tronco digital e convencional em árvores de *Mimosa scabrella* Bentham e *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**. v.37, n.2, p.329-337, 2018.

MAMORÉ, F. M. D. **Crescimento e produção de *Pinus caribaea* var *hondurensis* no Sudoeste mato-grossense**. Dissertação (Mestrado) (Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais) Universidade Federal do Mato-Grosso – UFMT, Cuiabá. 69.p, 2016.

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 381-388, 2013.

MENDONÇA, R. A., COLEGARIO, N., SILVA, F. G., BORGES, C. A. L., CHAVES, P. S., CARVALHO, C. P. S. Modelos hipsométricos e de crescimento em altura das árvores dominantes e codominantes para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Scientia Forestalis, Piracicaba**. v.39, n.90, p.151-160, 2011.

NEWBERRY, J. D. A note on Carmean's estimate of height from stem analysis data. **Forest Science**, v.37, n.1, p.368-369, 1991.

NOVAES, D. M.; SANTOS, A. C. A.; SOARES, C. P. B.; PAIVA, H. N.; REIS, G. G.; MONTE, M. A.; DAVILA, F. S.; LEITE, H. G. Modeling *Tectona grandis* tree and stand growth using stem analysis and permanent plot data. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, p.410-503, 2017.

OLIVERA, P. A. A.; CORONA, I. M. G.; REYES, Y. M.; Determinación del sistema de raleos por índices de sítios para plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari. **Revista Cubana de Ciencias Forestales**. v.2, n.1, 2014.

PRIYA, P. B.; BHAT, K. M. False ring formation in teak (*Tectona grandis* L.) and the influence of environmental factors. **Forest Ecology and Management**, v. 108, n. 3, p. 215-222, 1998.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San José, C. R: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA). 586p, 1997.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 393 p. 2006.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista da madeira**, v. 16, n. 99, p.4-14, 2010.

SILVA, M. N. J., Manejo de florestas tropicais: O caso da Amazônia brasileira. **In: 1º Simpósio Latino-Americano sobre manejo florestal**. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. p.15-28. 2000.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Estudo de viabilidade técnico-econômica da exploração mecanizada em floresta de terra firme na região de Curuá-Una**. Belém. SUDAM," IBDF: PRODEPEF. 146p. 1978.

THOMAS C., ANDRADE C. M., SCHNEIDER P. R., FINGER C. A. G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v.16, n.3, p.319-327, 2006.

VENDRUSCULO, D. G. S., DRECHER, R. CARVALHO, S. P. C., MEDEIROS, R. A., CORREIO, R. S. S., Acurácia da análise de tronco para obtenção da altura de *Tectona grandis*. **Advance in Forestry Science**. v.5, n.2, p. 345-350, 2018.

WEBER, K. S. **Manejo do crescimento diamétrico de bracatinga (*Mimosa scabrella Benth.*) baseado em árvores individuais**. 2007. 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ZIECH BG, SILVA VS DE M E, DRESCHER R, VENDRUSCOLO DGS. Modelos de crescimento em altura dominante e índice de sítio para teca em Glória D'Oeste-MT. **Revista Brasileira de Biometria**, v.34, n.4, p.533-542, 2016.