

# Capacidade produtiva de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. em um sistema de produção de pecuária integrada no Baixo Amazonas, Brasil

## Productive capacity of *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. in an integrated livestock production system in the Lower Amazon, Brazil

Mahyanny Karoline da Silva Lameira<sup>1</sup>  • Hanna Kassia Machado da Silva<sup>2</sup>  • Karla Mayara Almada Gomes<sup>3</sup>   
 • Aureane Cristina Teixeira Ferreira Cândido<sup>4</sup>  • Lucieta Guerreiro Martorano<sup>5</sup>  • Renato Bezerra da Silva Ribeiro<sup>4</sup>   
 • Arystides Resende Silva<sup>6</sup>  • João Ricardo Vasconcellos Gama<sup>4</sup> 

Recibido: 11/6/2021

Aceptado: 2/12/2021

### Abstract

The forest component's growth and production are important to assess the technical feasibility of an integrated livestock production system (iLPF) with native species from the Amazon. The objective of this work was to analyze and select hypsometric and volumetric equations for *Dipteryx odorata* and analyze its silvicultural development in an iLPF system in the Lower Amazon. Data were collected in the municipality of Mojuí dos Campos, Pará, using dendrometric and qualitative variables from 240 cumaru trees in a 1ha plantation with 9 years of implantation, in a spacing of 5 m x 7 m. Six hypsometric models and nine volumetric models were adjusted. To select each equation, the following criteria were observed: adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ) standard error of the estimate in percentage ( $S_{xy}\%$ ) mean percentage deviation (DMP), the significance of the parameters by the t-test, normality of the residuals by the Kolmogorov- Test Smirnov and graphical analysis of percentage residuals. The simple linear model was the most suitable for estimating the volume's total height and the Husch model.

**Key words:** Reforestation, silviculture, forestry management, Amazon.

1. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas; Manaus, Brasil; [mahya.karoline@gmail.com](mailto:mahya.karoline@gmail.com)
2. Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; Manaus, Brasil; [hanna\\_ptr@hotmail.com](mailto:hanna_ptr@hotmail.com)
3. Instituto de Biodiversidade e Florestas, Universidade Federal do Oeste do Pará; Santarém, Brasil; [karamayaralmada@gmail.com](mailto:karamayaralmada@gmail.com)
4. Programa de Pós-Graduação em Sociedade Natureza e Desenvolvimento, Universidade Federal do Oeste do Pará; Santarém, Brasil; [aurianeferreira@hotmail.com](mailto:aurianeferreira@hotmail.com), [florestalrenatoribeiro@gmail.com](mailto:florestalrenatoribeiro@gmail.com), [jvrgama@gmail.com](mailto:jvrgama@gmail.com)
5. Pesquisadora A (Agrometeorologia), Embrapa Amazônia Oriental; Santarém, Brasil; [martorano.lucietta@gmail.com](mailto:martorano.lucietta@gmail.com)
6. Engenheiro Florestal, Embrapa Amazônia Oriental; Belém, Brasil; [arystides.silva@embrapa.br](mailto:arystides.silva@embrapa.br)

## Resumo

O crescimento e a produção do componente florestal são importantes para a avaliação da viabilidade técnica em sistema de produção de pecuária integrada (iLPF) com espécies nativas da Amazônia. O objetivo do trabalho foi analisar e selecionar equações hipsométricas e volumétricas para *Dipteryx odorata* e analisar seu desenvolvimento silvicultural em sistema iLPF no Baixo Amazonas. Os dados foram coletados no município de Mojuí dos Campos, Pará, usando variáveis dendrométricas e qualitativas de 240 árvores de cumaru em um plantio de 1ha com 9 anos de implantação, em um espaçamento de 5 m x 7 m. Foram ajustados seis modelos hipsométricos e nove modelos volumétricos. Para selecionar cada equação foram observados os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{xy}$  %) desvio médio percentual (DMP), significância dos parâmetros pelo Teste t, normalidade dos resíduos por meio do Teste Kolmogorov-Smirnov e análise gráfica dos resíduos percentuais. O modelo linear simples foi o mais adequado para estimar a altura total e o modelo de Husch para o volume.

**Palavras-chave:** Reflorestamento, silvicultura, manejo florestal, Amazônia.

## Introdução

*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd., popularmente conhecida como cumaru, é uma espécie arbórea de grande porte com ampla distribuição pelos países da bacia amazônica [1]. Apresenta madeira de alta densidade e das suas sementes é extraído a cumarina [2], amplamente utilizado em diversas indústrias, a saber: farmacêuticas, cosméticos, herbicidas, fungicidas, bebidas, cigarros entre outras, o que justifica sua alta demanda no comércio nacional e internacional [3].

O Baixo Amazonas é a principal região brasileira produtora de sementes de cumaru, sendo os municípios de Alenquer, Altamira, Curuá, Óbidos, Oriximiná e Santarém os maiores produtores [4]. Nota-se, ainda, a importância da participação econômica da semente nos municípios que em 2012, era pago ao produtor até R\$ 20,97/kg [4] e dados mais recente, apontam que a semente seca tem custado em torno de R\$ 45,00/kg [5], servindo, dessa forma, como incentivo para o plantio da espécie.

A maior parte da produção de sementes de cumaru é oriunda de floresta nativa, contudo nos municípios do Oeste do Pará, plantios agroflorestais (SAFs) destinados à coleta de amêndoas apresenta-se como opção de

investimento para diversificar a produção e aumentar a renda dos agricultores da região [6].

Um tipo de SAF de uso sustentável do solo são os de iLPF (integração Lavoura-Pecuária-Floresta). Nesses sistemas o componente florestal proporciona a melhoria na ciclagem de nutrientes, suprimento de madeira, e de produtos não madeireiros para uso na propriedade e/ou para comercialização, além de conforto térmico aos animais [7].

Áreas de plantio necessitam de monitoramento constantes por meio de inventários florestais contínuos para avaliação de sua capacidade produtiva [8]. Durante essa atividade são coletadas variáveis dendrométricas, assim como outras informações para a qualificação dos plantios florestais. Contudo, a coleta da variável altura é a operação mais onerosa e sujeita a erros de medição, sendo comum medir a altura de algumas árvores e utilizar as técnicas de modelagem para a estimativa dessa variável [9].

O conhecimento da altura das árvores subsidia as avaliações de povoamentos florestais para estimava do volume e qualificação da produtividade em determinado local [10]. Entre as possibilidades de avaliações utiliza-se, por exemplo, a relação entre o diâmetro e altura, denominada de relação hipsométrica.

Considerando a importância dessas estimativas em avaliações de viabilidade técnica dos sistemas iLPF, objetivou-se com este trabalho, analisar e selecionar equações hipsométricas e volumétricas para a espécie *Dipteryx odorata*.

## Material e métodos

### Área de estudo

O trabalho foi conduzido com a espécie *Dipteryx odorata*, na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, localizada no município de Mojuí dos Campos (2°38'11" S e 54°56'13" O), região Oeste do Pará (Figura 1). O subtipo climático da região é classificado como Am3, com volume de chuva inferior a 60 mm no mês menos pluvioso. A temperatura anual média é de 25,6 °C, a umidade relativa varia entre 84 a 86 % [11].

O experimento foi instalado em fevereiro de 2010 em um sistema iLPF (18 ha), composto por três talhões de plantio de espécies arbóreas: mogno africano (*Khaya ivorensis*), castanha do Pará (*Bertholletia excelsa*) e cumaru (*Dipteryx odorata*). As árvores de cada talhão estão dispostas em oito linhas, com espaçamento 5 m x 7 m, totalizando uma área de um hectare, sendo intercalados por espaçamento de 166 m com o cultivo de culturas

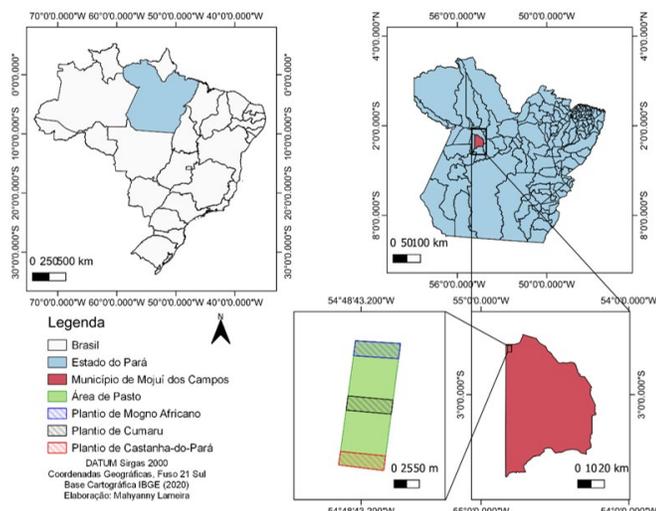


Figura 1. Fazenda Nossa Senhora Aparecida com *Dipteryx odorata* em iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil.

Figure 1. Fazenda Nossa Senhora Aparecida with *Dipteryx odorata* in a 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil.

anuais e forrageiras. Anteriormente a implantação do sistema, a área era mantida sob pastagem cultivada para gado de corte em sistema semi-extensivo; com a implantação do iLPF foi necessário realizar preparo, correção e adubação do solo nos dois primeiros anos [12].

Foram realizados, nos primeiros quatro anos, tratos culturais e desrama das árvores, quando necessário, após esse período não houve outro tipo de trato silvicultural, ocorrendo adensamento das copas, dificultado a entrada de luz no plantio e, portanto, o desenvolvimento da forragem para o gado, mantendo o sistema com características típicas de um plantio puro.

Coleta e análise de dados. Para o presente trabalho, foi realizado, aos nove anos de idade, um censo de todas as árvores de *D. odorata*, onde foi coletado: circunferência do fuste com casca medida à 1,30 m do solo (cap em cm); diâmetro de copa (m), considerando duas medidas, uma no sentido Norte-Sul e outra no sentido Leste-Oeste [13]; altura total (m), compreendida entre o solo e o ramo mais elevado, estimada com uma régua telescópica, coletada de maneira sistemática a cada três árvores; altura comercial (m) compreendida entre o solo e o aparecimento da primeira ramificação.

Foram coletados ainda, dados referentes à qualidade de fuste (reto, levemente tortuoso e tortuoso); estado fitossanitário, determinado de forma visual, observando se havia ataque de insetos à planta e/ou injúrias por

doenças, se a copa era normal (aparentemente sadia, com folhas vigorosas) ou estressada (com sinais de clorose das folhas), e se a desrama natural era perfeita (fuste sem galhos), satisfatória ou nula.

Para o ajuste de modelos volumétricos, 68 árvores foram cubadas em pé com auxílio do “Criterion RD 1 000”, e tiveram as medidas de diâmetros estimadas nas seguintes alturas: 1 %, 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, ..., 100 % da altura comercial. As árvores foram selecionadas aleatoriamente e abrangeram toda a amplitude diamétrica (7,00 cm ≤ dap < 19,00 cm). Com a medida dos diâmetros e o comprimento de cada seção estimou-se o volume comercial de madeira de cada árvore pelo método de Smalian.

Os modelos para altura e volume foram selecionados pela literatura e pelo “software CurveExpert Professional” que relaciona modelos não lineares por meio de um “score” [14].

Para o ajuste de modelos hipsométricos foram utilizados os dados de altura total e de dap. Os modelos testados estão relacionados na Tabela 1.

Para estimar os volumes individuais com casca, foram ajustados 9 modelos matemáticos (3 lineares e 6 não

Tabela 1. Modelos hipsométricos testados para estimativa da altura total de *Dipteryx odorata* em iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil

Table 1. Hypsometric models tested to estimate the total height of *Dipteryx odorata* in 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil

| No. | Modelos   | Autor(es)             |
|-----|---|-----------------------|
| 1   | $h = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \epsilon$                                     | Campos e Leite (2002) |
| 2   | $h = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2 + \epsilon$              | Trorey (1932)         |
| 3   | $h = \beta_0 \text{dap}^{\beta_1} + \epsilon$                                     | Stofells              |
| 4   | $h = e^{(\beta_0 + (\beta_1/\text{dap}))} + \epsilon$                             | Curtis                |
| 5   | $h = (\text{dap}/\beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 \text{dap}^2) + \epsilon$ | Reciprocal            |
| 6   | $h = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + (\beta_2/\text{dap}^2) + \epsilon$            | Heat                  |

Em que: h = altura total da árvore (m); dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm);  $e^{\epsilon}$  = exponencial;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes do modelo;  $\epsilon$  = erro aleatório.

Where: h = Total height (m); dap = diameter of 1.30 m above the ground (cm);  $e^{\epsilon}$  = exponential;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = model coefficients; and  $\epsilon$  = random error

**Tabela 2.** Modelos volumétricos testados para estimativa do volume comercial de *Dipteryx odorata* em iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil.

**Table 2.** Tested volumetric models to estimate the commercial volume of *Dipteryx odorata* in 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil.

| No. | Modelos  | Autor(es)       |
|-----|--|-----------------|
| 1   | $v_{com} = \beta_0 + \beta_1 dap^2 h + \epsilon$   | Spurr           |
| 2   | $v_{com} = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \epsilon$                               | Hohenadl-Krenn  |
| 3   | $v_{com} = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 h + \beta_3 dap^2 h + \epsilon$         | Stotate         |
| 4   | $v_{com} = \beta_0 dap^{\beta_1} + \epsilon$   | Husch           |
| 5   | $v_{com} = \beta_0 + \beta_1 (1/dap) + \beta_2 dap + \epsilon$                             | Brenac          |
| 6   | $v_{com} = \beta_0 + dap^{2\beta_1} + h^{\beta_2} + \epsilon$                              | Schumacher-Hall |
| 7   | $v_{com} = h dap / (\beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 dap) + \epsilon$                         | Reciprocal      |
| 8   | $v_{com} = (\beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 dap) / (1 + \beta_3 h + \beta_4 dap) + \epsilon$ | Rational        |
| 9   | $v_{com} = (dap^2 h) / (\beta_0 + \beta_1 dap) + \epsilon$                                 | Takata          |

Em que: vcom = volume comercial com casca (m³); dap = diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm); h = altura total (m);  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  = coeficientes do modelo;  $\epsilon$  = erro aleatório.

lineares), de forma a obter a variável dependente volume comercial (vcom) com casca em m³ (Tabela 2).

A seleção do modelo foi realizada observando os seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}$  %), Desvio Médio Percentual (DMP %), significância dos parâmetros pelo Teste t a 95 % de probabilidade, normalidade dos resíduos por meio do Teste Kolmogorov-Smirnov a 95 % de probabilidade e análise gráfica dos resíduos percentuais.

O desvio médio DMP (%) representa em média o quanto um modelo está superestimando ou subestimando a população, havendo menor tendência quanto mais próximo de zero for o resultado [15], conforme a equação 1.

$$DMP = \frac{\sum \left( \frac{h_i - \hat{h}_i}{h_i} \right)}{n} \times 100 \quad (1)$$

Em que: DMP = Desvio Médio Percentual;  $h_i$  = altura total observada;  $\hat{h}_i$  = altura total estimada; n = nº de observações.

A análise gráfica dos resíduos indica se o ajuste foi acurado ao longo da linha de regressão e permite avaliar a tendenciosidade dos valores estimados, onde valores positivos de resíduos indicam que a variável dependente foi superestimada e negativos subestimada.

Para o cálculo dos resíduos foi utilizada a equação 2.

$$Res\% = \frac{\hat{y}_i - y_i}{\hat{y}_i} * 100 \quad (2)$$

Em que:  $\hat{y}_i$  = valor estimado pela equação;  $y_i$  = valor observado.

Para a validação foram utilizadas 14 árvores de uma amostra independente da base de dados empregada para os ajustes, correspondendo a aproximadamente 20 % do número de árvores, comparando as variáveis observadas com as variáveis estimadas por meio do teste qui-quadrado ( $\chi^2$ ), a partir da equação 3.

$$\chi^2_{calculado} = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i} \quad (3)$$

A partir dos dados das variáveis dendrométricas (dap, h e vcom), foi determinado o incremento médio anual de cada uma dessas variáveis, a partir da equação 4.

$$IMA = \frac{Y}{T} \quad (4)$$

Em que: Y = valor da variável considerada; T = tempo (em anos).

Foi calculado, ainda, a média, os valores mínimo, máximo e o coeficiente de variação (CV %). Além disso, foi realizada a distribuição diamétrica das árvores do sistema com amplitude de 2 cm entre as classes.

A qualidade do fuste, a desrama natural e o estado de fitossanidade do povoamento amostrado foram avaliados de acordo com observações visuais em termos de porcentagem. Além disso, foi obtida a área da copa conforme Silva et al., [5] usando a fórmula da área da elipse que utiliza a maior medida longitudinal e perpendicular da copa, conforme a equação 5.

**Tabela 3.** Parâmetros e medidas de precisão dos modelos hipsométricos ajustados para *Dipteryx odorata* em iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil**Table 3.** Parameters and precision measures of the hypsometric models adjusted for *Dipteryx odorata* in 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil

| No. | Coeficientes         |                      |                         | $R^2_{aj}$ | $S_{yx}\%$ | DMP %   |
|-----|----------------------|----------------------|-------------------------|------------|------------|---------|
|     | $\beta_0$            | $\beta_1$            | $\beta_2$               |            |            |         |
| 1   | 4,1784*              | 0,3529*              | -                       | 0,61183    | 8,8582     | 0,78904 |
| 2   | 4,1369*              | 0,3600 <sup>ns</sup> | - 0,0003 <sup>ns</sup>  | 0,60548    | 8,9304     | 0,7882  |
| 3   | 2,6097*              | - 5,5058*            | -                       | 0,58842    | 9,1248     | 0,72375 |
| 4   | 2,4605*              | 0,4975*              | -                       | 0,61133    | 8,8672     | 0,75835 |
| 5   | 0,3273 <sup>ns</sup> | 0,1220*              | - 0,0025 <sup>ns</sup>  | 0,61125    | 8,8715     | 0,77516 |
| 6   | 4,9306*              | 0,3103*              | - 28,5236 <sup>ns</sup> | 0,60944    | 8,8921     | 0,75976 |

Em que:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes de regressão;  $R^2_{aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}\%$  = erro padrão da estimativa em porcentagem; DMP % = Desvio médio percentual; \* = significância a 5 % de acordo com o teste t; ns = não significativo.

Where:  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = regression coefficients;  $R^2_{aj}$  = adjusted coefficient of determination;  $S_{yx}\%$  = standard error of the percentage estimate; DMP % = Average percent deviation; \* = significance at 5 % according to the t test; ns = not significant.

$$A_{copa} = \pi \left\{ \frac{[L_1 + L_2]^2}{4} \right\} \quad (5)$$

Em que:  $L_1$  = comprimento no sentido norte-sul;  $L_2$  = comprimento da copa no sentido Leste-Oeste;  $A_{copa}$  = área da copa individual ( $m^2$ ).

Os testes aplicados e os modelos lineares foram calculados usando planilha eletrônica do “Microsoft Excel 2016” e os modelos não lineares foram ajustados no “Statistica 7”.

## Resultados e discussão

**Equações hipsométrica.** Dos seis modelos hipsométricos testados, todos apresentaram normalidade dos dados, no entanto, três deles não foram significativos em, pelo menos, um dos seus coeficientes de regressão (modelos 2, 5 e 6), sendo excluído das análises posteriores. Os modelos 1, 3 e 4, apresentaram bons ajustes, com  $R^2_{aj}$  variando de 0,59 a 0,61 (Tabela 3), o que é comum para relações hipsométricas, uma vez que a correlação altura/diâmetro não é tão forte quanto à altura/volume [16].

Entretanto, em um trabalho realizado no Sudoeste do Pará, avaliando 400 árvores de teca, com idades entre 4 e 5 anos, o  $R^2_{aj}$  variou de 0,81 a 0,89 [10]. No município de Cárceres/MT, trabalhando com 451 árvores de eucalipto aos 4 anos de idade em iLPF, o  $R^2_{aj}$  foi maior que 0,80 para 9 de 10 modelos hipsométricos testados [17]. Essa relação pode ser mais evidente em plantios jovens

(idade < 5 anos), em espaçamentos inferiores a 4 m x 4 m, devido, provavelmente, a maior homogeneidade de crescimento na fase inicial do povoamento, considerando a menor competição por luz e nutrientes.

Na análise gráfica de resíduos o modelo 4 foi o que apresentou o melhor desempenho, com o resíduo variando de -19,09 % a +16,83 % (Figura 2). Entretanto, foi selecionado o modelo 1 por apresentar os melhores valores de  $R^2_{aj}$  e  $S_{yx}\%$ , além de ser um modelo mais simples de ser utilizado.

Desta forma, a equação obtida para estimativa da altura total das árvores no plantio, foi:  $h = 4,178407 + 0,352894 \cdot dap$  constatou-se na validação não haver diferença significativa entre os valores observados e estimados da altura, a um nível de 95 % de probabilidade.

**Equações volumétricas.** Assim como na relação hipsométrica, equações para estimativa de volume de *D. odorata* são escassas, o que dificulta o planejamento da produção em plantios dessa espécie. Em geral, todos os modelos apresentaram alto coeficiente de determinação ( $R^2_{aj}$ ), com valores superiores a 0,87, o que é comum para plantios equiâneos, uma vez que o coeficiente de determinação quase sempre fica próximo de 0,9 [18]. No entanto, apenas os modelos 1, 4, 5, 7, 8, e 9 apresentaram significância ( $P \leq 0,05$ ) dos coeficientes de regressão, de acordo com o teste t (Tabela 4).

Dos seis modelos em que seguiram nos critérios de avaliação, dois deles foram modelos de simples entrada (modelos 4 e 5), ou seja, tinham apenas o dap como variável independente, e os demais eram de dupla entrada, necessitando do dap e da altura para

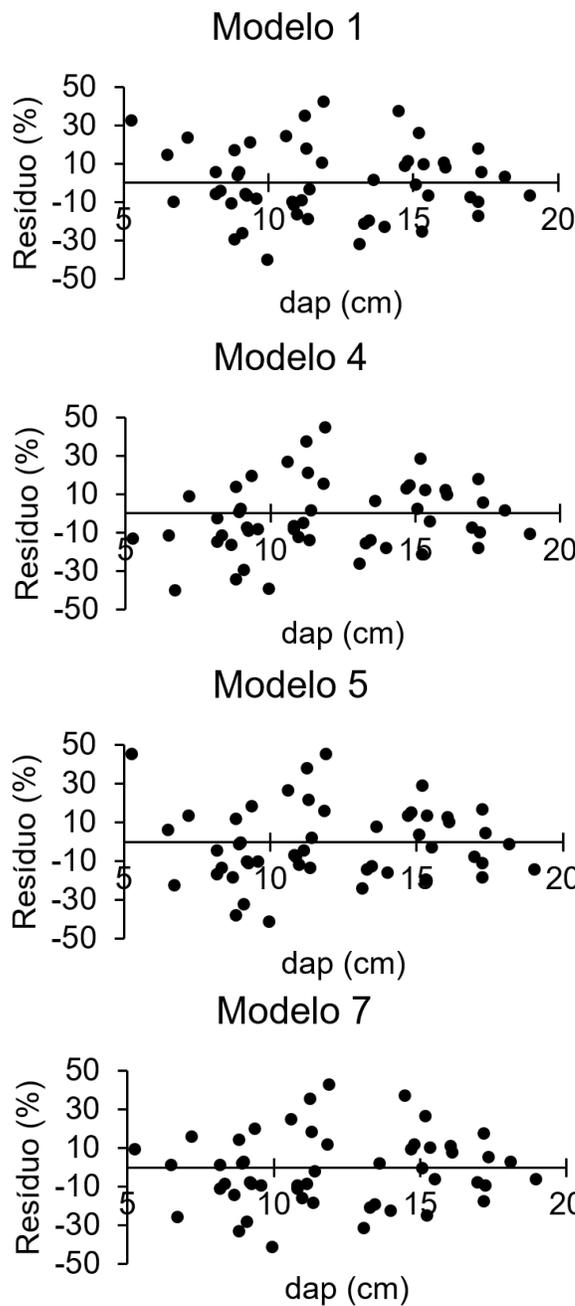
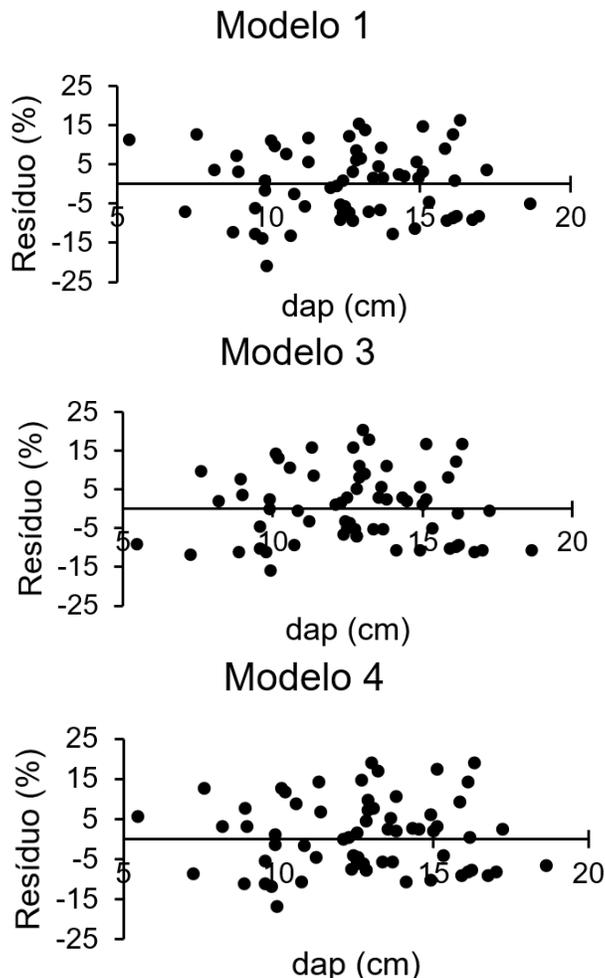


Figura 2. Distribuição dos resíduos para altura dos melhores modelos hipsométricos ajustados para *Dipteryx odorata* em iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil.

Figure 2. Residue distribution for height of the best adjusted hypsometric models for *Dipteryx odorata* in a 9 years old iLPF system, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil.

estimativa do volume. Os modelos de simples entrada tiveram os melhores resultados. Esse tipo de modelo, sem a altura, torna a etapa do inventário menos onerosa, diminuindo o tempo de trabalho em campo e, os erros sistemáticos inerentes à mensuração dessa variável [19], [20], portanto, esses modelos tornam a execução dessa atividade mais econômica.

A análise gráfica dos resíduos foi realizada apenas para os quatro melhores modelos, de acordo com os coeficientes avaliados. Assim, foi possível verificar a distribuição dos resíduos em função do volume para os modelos 1, 4, 5 e 7 (Figura 3). Todas tiveram tendência a superestimativa dos dados, sendo que o modelo 1 apresentou menor variação dos resíduos (-40,56 % a +42,47 %) no entanto, não apresentou bons valores de "DMP %".

Figura 3. Distribuição dos resíduos para os melhores modelos volumétricos ajustados para *Dipteryx odorata* em sistema iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil.

Figure 3. Residue distribution for the best adjusted volumetric models for *Dipteryx odorata* in a 9 years old iLPF system, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil.

Apesar da distribuição dos resíduos semelhante para todos os modelos, o modelo de Husch foi escolhido por ter apresentado as melhores medidas de precisão e menor desvio percentuais. Este modelo também apresentou boa precisão para espécies de interesse comercial, incluindo a *D. odorata*, em uma área de floresta nativa no município de Anapu, Pará [19].

**Tabela 4.** Parâmetros e medidas de precisão dos modelos volumétricos ajustados para *Dipteryx odorata* em sistema iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil**Table 4.** Parameters and precision measures of volumetric models adjusted for *Dipteryx odorata* in 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil

| No. | Coeficientes           |                        |                        |                       |                | R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> | S <sub>yx</sub> % | DMP % |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------|-------------------|-------|
|     | β <sub>0</sub>         | β <sub>1</sub>         | β <sub>2</sub>         | β <sub>3</sub>        | β <sub>4</sub> |                              |                   |       |
| 1   | 0,009440*              | 0,0000241*             | -                      | -                     | -              | 0,891                        | 18,55             | 4,187 |
| 2   | 0,020346 <sup>ns</sup> | -0,00323 <sup>ns</sup> | 0,000397*              | -                     | -              | 0,887                        | 18,91             | 4,219 |
| 3   | -0,30133 <sup>ns</sup> | -0,002455*             | 0,000173*              | 0,05749 <sup>ns</sup> | -              | 0,874                        | 20,78             | 3,653 |
| 4   | -0,000306*             | 1,967373*              | -                      | -                     | -              | 0,901                        | 17,73             | 1,359 |
| 5   | -0,106733*             | 0,380067*              | 0,009676*              | -                     | -              | 0,893                        | 18,46             | 3,689 |
| 6   | -0,00003 <sup>ns</sup> | 0,554560 <sup>ns</sup> | 2,712335 <sup>ns</sup> | -                     | -              | 0,887                        | 18,87             | 2,369 |
| 7   | -77622,9*              | 19442,4*               | -6947,2*               | -                     | -              | 0,889                        | 18,73             | 2,329 |
| 8   | -8625,70*              | 2065,06*               | -727,27*               | 245,72*               | -126,88*       | 0,871                        | 21,04             | 4,573 |
| 9   | 1420,79*               | 1332,68*               | -                      | -                     | -              | 0,884                        | 19,30             | 1,377 |

Em que: β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub>, β<sub>4</sub> = coeficientes de regressão; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> % = erro padrão da estimativa em porcentagem; DMP % = desvio médio percentual; \* = significativo pelo teste t (P ≤ 0,05); ns = não significativo.

Where: β<sub>0</sub>, β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub>, β<sub>4</sub> = regression coefficients; R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = adjusted coefficient of determination; S<sub>yx</sub> % = standard error of the percentage estimate; DMP % = Average percent deviation; \* = significance at 5 % according to the t test (P ≤ 0,05); ns = not significant.

Após a seleção da equação de Husch, aplicou-se o teste qui-quadrado (x<sup>2</sup>), onde não houve diferença significativa entre os valores observados e estimados, a um nível de 95 % de probabilidade, indicando que a equação pode ser utilizada para as estimativas volumétricas da espécie. Assim, a equação obtida para estimativa do volume comercial das árvores, foi:  $Ln_{(vcom)} = -7,646243 + 1,780958 * Ln(dap)$ .

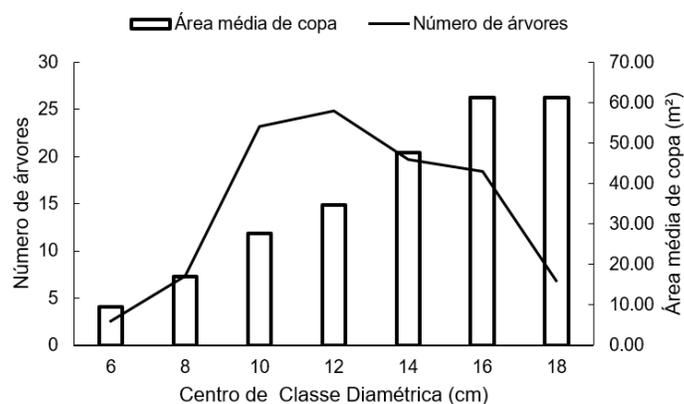
Crescimento. Os valores médios relacionados ao diâmetro à altura do peito, altura total das árvores, ao volume comercial e seus incrementos médios anuais, além da área de copa e área basal, estão listados na Tabela 5. A altura e o dap máximo atingido no iLPF foram de 10,88 m e 19,00 cm, respectivamente, enquanto que o volume médio por árvore foi de 0,0457 m<sup>3</sup> com um total de 10,98 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, na área.

Souza et al. [21] avaliando espécies florestais nativas e exóticas em plantio a pleno sol com 12 anos de idade e espaçamento de 3 m x 3 m, no município de Manaus – AM, Brasil, encontraram, para *D. odorata*, valores médios de dap igual a 9,6 cm e IMAdap igual a 0,8 cm, valores inferiores aos encontrados nesse trabalho, o que pode estar relacionado com o maior adensamento do plantio, visto que o crescimento em diâmetro está condicionado ao aumento nos espaçamentos de plantio, como ocorre no iLPF [22].

Em um sistema silvipastoril com plantio misto aos sete anos de idade, no município de Santarém, PA, Brasil, em [5] encontraram, para *D. odorata*, valores de dap de

7,60 cm e altura igual a 6,31 m com seus respectivos IMAs de 1,09 cm e 0,90 m, valores estes próximos aos encontrados no presente trabalho, no entanto inferiores, sugerindo que o plantio puro dessa espécie favorece tanto o incremento médio anual em dap quanto em altura.

Parâmetros qualitativos e área de copa. Ao separar as árvores em classes de diâmetro, 46,67 % estavam nos centros de classe 10 cm e 12 cm. Tanto o aumento



**Figura 4.** Número de árvores e área média de copa por classe diamétrica de *Dipteryx odorata* em sistema iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil.

**Figure 4.** Number of trees and average canopy area per diameter class of *Dipteryx odorata* in a 9 years old iLPF system, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil.

Tabela 5. Crescimento de *Dipteryx odorata* em sistema iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, BrasilTable 5. Growth of *Dipteryx odorata* in 9 years old iLPF, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil

| Variável                        | Média  | Valor  |        | CV %  |
|---------------------------------|--------|--------|--------|-------|
|                                 |        | Mínimo | Máximo |       |
| dap (cm)                        | 12,70  | 5,25   | 19,00  | 22,50 |
| h (m)                           | 8,66   | 6,03   | 10,88  | 11,65 |
| G (m <sup>2</sup> )             | 0,0133 | 0,0022 | 0,0284 | 42,73 |
| vcom (m <sup>3</sup> )          | 0,0457 | 0,0092 | 0,0905 | 38,43 |
| IMAdap (cm.ano-1)               | 1,41   | 0,58   | 2,11   | 22,50 |
| IMAh (m.ano-1)                  | 0,96   | 0,67   | 1,21   | 11,65 |
| IMAvcom (m <sup>3</sup> .ano-1) | 0,0051 | 0,0010 | 0,0101 | 38,43 |
| Diâmetro de copa (m)            | 4,53   | 1,55   | 7,75   | 26,57 |
| Área de copa (m <sup>2</sup> )  | 17,24  | 1,89   | 47,17  | 50,40 |

Em que: dap = diâmetro medido à 1,30 m do solo; h = altura total; G = área basal; vcom = volume comercial com casca; IMA = Incremento médio anual.

Where: dap = diameter measured at 1.30 m from the ground; h = total height; G = basal area; vcom = commercial volume with husk; IMA = average annual incremente.

do número de árvores quanto o da área de copa foi inicialmente positivo quando comparado ao aumento do centro de classe de diâmetro. No entanto, a partir do centro de classe 14 houve um declínio no número de árvores, enquanto a área de copa permaneceu positiva, demonstrando a correlação negativa entre esses dois parâmetros com o aumento do diâmetro das árvores. Na maior classe diamétrica foram encontradas 16 árvores, e nenhuma delas atingiu diâmetro superior a 19 cm (Figura 4).

A área média da copa, característica determinante da porcentagem de sombreamento em uma área [23], aumentou conforme o centro de classe de diâmetro. Por ser um plantio originado de semente a variância é alta, tanto dos diâmetros como da área de copa. Foi observado que os maiores centros de classe de diâmetro detêm a maior área de copa das árvores, sendo uma medida útil para se estimar o porte da árvore [24].

Além disso, o diâmetro médio de copa pode ter sofrido influência do espaçamento em que as árvores foram implantadas, gerando competição por espaço entre as linhas do plantio, conforme encontrado por [13], em 2 plantios de cumaru na região Oeste do Pará, Brasil, com valores de 4,8 m (8 x 6 m) e 4,1 m (6 x 6 m) para árvores com 7 e 10 anos de idade respectivamente.

As árvores mais altas ( $h > x$ ), consideradas dominantes apresentaram desrama natural perfeita (19,17 %), as demais satisfatória (80,42 %) e, apenas uma árvore estava com galhos no fuste (Figura 5). Isso pode ser explicado pela intensa competição entre as copas das árvores por luz solar implicando em desrama natural dos galhos mais baixos com objetivo de acelerar o

crescimento vertical das árvores [25], como também pela autoecologia da espécie, visto que a área sombreada pelas copas correspondeu a 41,38 % da área total do plantio.

Em relação a qualidade de fuste, 56,7 % das árvores apresentaram fuste reto, 32,5 % levemente tortuoso e 10,8 % fuste tortuoso. A desrama natural, atrelada a

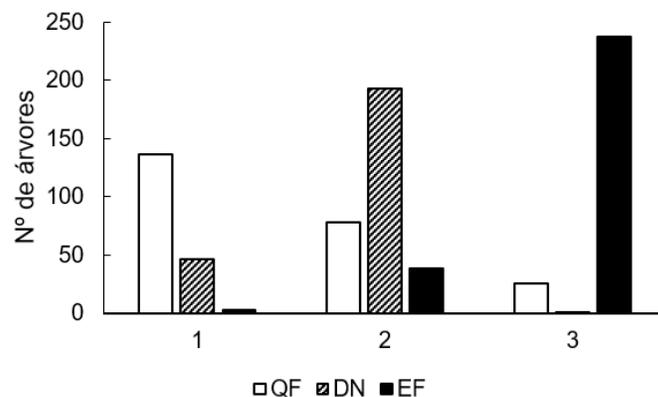


Figura 5. Dados silviculturais das árvores de *Dipteryx odorata* avaliados em sistema iLPF aos 9 anos de idade, município de Mojuí dos Campos, Pará, Brasil. Em que: QF – Qualidade de Fuste (1 = reto; 2 = levemente tortuoso; 3 = tortuoso); DN – Desrama Natural (1 = perfeita; 2 = satisfatória; 3 = nula); EF – Estado de Fitossanidade (1 = folhas vigorosas; 2 = clorose; 3 = insetos).

Figure 5. Silvicultural data of *Dipteryx odorata* trees evaluated in a 9 years old iLPF system, municipality of Mojuí dos Campos, Pará, Brazil. Where: QF – Shaft Quality (1 = straight; 2 = slightly crooked; 3 = crooked); DN – Natural pruning (1 = perfect; 2 = satisfactory; 3 = null); EF – Plant health status (1 = vigorous leaves; 2 = chlorosis; 3 = insects).

densidade do povoamento, pode ter contribuído para que mais da metade das árvores apresentassem fuste reto a levemente tortuoso, sugerindo que a espécie em plantio possui potencial para produção de madeira serrada. Os 10,8 % das árvores com fuste tortuoso podem ser causadas pela baixa incidência de luz por falta de manejo - desrama e desbaste [26].

Apenas três árvores (1,25 %) apresentaram folhas vigorosas e, apesar de as 237 (98,75 %) restante ter sido atacadas por insetos, incluindo as 38 árvores que estavam com clorose nas folhas, eles não apresentaram maiores severidades quanto à ocorrência de pragas e doenças (Figura 4). Os altos índices de herbivoria nas folhas está relacionado ao ataque de insetos, que acaba sendo mais intenso em monocultivos. Além disso, as condições ambientais podem intensificar esse ataque, ocasionando maiores porcentagens de herbivoria nos períodos chuvosos [27], atestado no presente trabalho.

## Conclusões

Em um plantio de cumaru aos nove anos de idade e nas condições edafoclimáticas desse estudo, o modelo linear simples é o mais adequado para estimar a altura total e o modelo de Husch para estimar o volume comercial. O plantio não recebeu tratamentos silviculturais, mas as árvores apresentaram bom crescimento em diâmetro e altura, como também fuste reto, boa desrama natural e condições fitossanitárias que não afetaram a estrutura do povoamento.

## Referências

[1] F. G. Fábio, I. A. P. Câncio, “Manejo florestal do cumaru: um experimento rentável e sustentável em Óbidos, Estado do Pará”, em *Ensaio nas Ciências Agrárias e Ambientais*, vol. 8, Ponta Grossa, ed. Atena Editora, pp. 38-50, 2019.

[2] B. C. M. Sousa, L. E. S. Barata, C. G. Macêdo, S. S. Fraga; A. A. M. Kasper, K. A. Lourido, G. S. Paulino, E. C. Almeida, A. Sartoratto, D. C. Lustosa, “Avaliação do teor de Cumarina e atividade antifúngica de frações de Óleo de Cumaru”, *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, vol. 9, no. 6, ago, pp. 63-69, 2018.

[3] T. M. Silva, F. C. S. Jardim, M. S. Silva, P. Shanley, “O mercado das amêndoas de *Dipteryx odorata* (cumaru) no estado do Pará”, *Floresta*, Curitiba, PR, vol. 40, no. 3, ago-fev, pp. 603-614, 2010.

[4] L. J. S. Rêgo, M. L. Silva, L. F. Silva, J. R. V. Gama, L. P. Reis, “Comercialização da amêndoa de cumaru nos municípios de Santarém e Alenquer, leste da Amazônia”, *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, vol. 8, no. 3, mar-nov, pp. 338-361, 2016.

[5] E. C. Silva, J. R. V. Gama, R. Rode, A. L. M. Coelho, “Tree species growth in a silvopastoral system in Amazon”, *African Journal of Agricultural Research*, vol. 13, no. 3, jan, pp. 95-103, 2018.

[6] L. J. S. Rêgo, J. G. S. Magalhães, L. F. Silva, M. L. Silva, J. R. V. Gama, “Economic analysis of the cumaru almond production in agroforestry systems in Alenquer, Pará state”, *Reflexões Econômicas*, vol. 3, no. 1, out-mar, pp. 38-56, 2017.

[7] L. C. Balbino, A. N. Kichel, D. J. Bungenstab, R. G. Almeida, “Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios”, em *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*, Brasília, DF: EMBRAPA, 2019, pp. 31-48.

[8] E. J. G. Araújo, A. L. Pelissari, H. C. David, J. R. S. Scolforo, S. P. Netto, V. A. Morais, “Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil”, *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 32, no. 71, jul-out, pp. 257, 2012.

[9] E. A. Melo, N. Calegario, A. R. Mendonça, E. L. Possato, J. A. Alves, M. A. Isaac Júnior, “Modelagem não linear da relação hipsométrica e do crescimento das árvores dominantes e codominantes de *Eucalyptus* sp”, *Ciência Florestal*, vol. 27, no. 4, out-dez, pp. 1325-1338, 2017.

[10] M. N. I. Sanquetta, C. R. Sanquetta, F. Mognon, A. P. D. Corte, A. L. Rodrigues, G. C. B. Maas, “Ajuste de equações hipsométricas para a estimação da altura total de indivíduos jovens de teca”, *Científica*, vol. 43, no. 4, dez-mai, pp. 400-406, 2015.

[11] L. G. Martorano, M. I. Vitorino, B. P. P. C. Da Silva, J. R. S. C. De Moraes, L. S. Lisboa, E. D. Sotta, K. Reichardt, “Climate conditions in the eastern amazon: Rainfall variability in Belem and indicative of soil water deficit”, *African Journal of Agricultural Research*, vol. 12, no. 21, abr-mai, pp. 1801-1810, 2017.

[12] A. R. Silva, A. Sales, C. A. C. Veloso, E. J. M. Carvalho, “Avaliação das propriedades físicas de um latossolo amarelo em um cultivo de cumaru em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta”, *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, vol. 26, no. 1, ago, pp. 11-18, 2015.

[13] J. A. G. Silva, D. Pauletto, A. F. Silva, C. S. S. Carvalho, H. G. G. Nascimento, “Morfometria de plantios de *Dipteryx odorata* Aubl Willd (Cumaru) no Oeste do Pará”, *Advances in Forestry Science*, vol. 7, no. 3, ago-nov, pp. 1171-1180, 2020.

[14] Hyams Development, CurveExpert Professional 10.13, [https://www.curveexpert.net/download/] Daniel G. Hyams, 2020.

[15] K. D. Pereira, M. V. C. Paixão, C. W. B. Monteiro, F. T. Laurido, P. S. T. Ferreira, “Ajuste de modelos hipsométricos para árvores de *Tectona grandis* L. f. no município de Mojú, Pará”, *Enciclopédia Biosfera*, vol. 10, no.18, abr-jul, pp. 181-189, 2014.

[16] Scolforo, J. R. S. *Biometria Florestal: Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e*

nativas. 1ª ed., Lavras: UFLA/FAEPE. 1998.

- [17] H. S. Souza, A. A. Tsukamoto Filho, D. G. S. Vendruscolo, A. G. S. Chaves, A. S. Motta, “Modelos hipsométricos para eucalipto em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta”, *Nativa*, vol. 4, no. 1, jan-fev, pp. 11-14, 2016.
- [18] T. L. Azevedo, A. A. Mello, R. A. Ferreira, C. R. Sanquetta, N. Y. Nakajima, “Equações hipsométricas e volumétricas para um povoamento de *Eucalyptus* sp. localizado na FLONA do Ibura, Sergipe”, *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)*, vol. 6, no.1, jan-mar, pp. 105-112, 2011.
- [19] W. F. Barreto, F. M. Leão, M. C. Menezes, D. V. Souza, “Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará”, *Pesquisa Florestal Brasileira*, vol. 34, no. 80, jun-dez, pp. 321-329, 2014.
- [20] F. M. Santos, G. Terra, G. M. Chaer, M. A. Monte, “Modeling the height–diameter relationship and volume of young African mahoganies established in successional agroforestry systems in northeastern Brazil”, *New forests*, vol. 50, no. 3, jan-jul, pp. 389-407, 2019.
- [21] C. R. Souza, R. M. B. Lima, C. P. Azevedo, L. M. B. Rossi, “Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia”, *Scientia Florestalis*, vol. 36, no. 77, mar, pp. 7-14, 2008.
- [22] F. L. R. Oliveira, C. D. Cabacinha, L. D. T. Santos, D. G. Barroso, A. Santos Júnior, M. C. Brant, R. A. Sampario, “Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta”, *Cerne*, v. 21, n. 2, abr-jun, pp. 227-233, 2015.
- [23] T. K. Oliveira, S. A. Luz, F. C. B. Santos, T. C. Oliveira, L. S. Lessa, “Experiências com implantação de unidades de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) no Acre”, *Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E)*, 2012.
- [24] E. M. Lima Neto, D. Biondi, H. Araki, R. Bobrowski, “Fotografias aéreas para mensuração da área de copa das árvores de ruas de Curitiba–PR”, *Floresta*, vol. 42, no. 3, set-mai, pp. 577-586, 2012.
- [25] B. R. M. Matos, A. C. L. Costa, “Efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na flona Caxiuanã-PA”, *Revista de Biologia Neotropical/Journal of Neotropical Biology*, vol. 9, no. 2, pp. 24-36, 2012.
- [26] A. D. Ferreira, A. P. Serra, A. M. Melotto, D. J. Bungenstab, V. A. Laura, “Manejo das árvores e propriedades da madeira em sistema de ILPF com eucalipto”, em *Inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*, Brasília: Embrapa, 2019. pp. 455-471.
- [27] A. A. Nascimento, A. F. Vieira, A. P. Silva, D. M. Villela, M. T. Nascimento, “Herbivoria foliar de *Xylopiia sericea* St. Hil. (Annonaceae) em sub-bosque de plantio de Eucalipto e de Mata Atlântica”, *Scientia Florestalis*, vol. 39, no. 89, mar, pp. 77-86, 2011.