

## Relação hipsométrica em um fragmento de floresta periurbana na fazenda experimental de Igarapé Açu, Pará

Hypsometric relationship in a fragment of periurban forest in the experimental farm of Igarapé Açu, Pará

Diancarlos Sergio Pereira de Oliveira<sup>1</sup>  ; Rafael Teles Caldeira<sup>2</sup>  ; Lena Monteiro Costa<sup>3</sup>  ; Fabiano Emmert<sup>4</sup>  ; Rodrigo Geroni Mendes Nascimento<sup>5</sup> 

<sup>1</sup> Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA), pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Av. Barão do Rio Branco, 1617-1851 - Igarapé-Açu, PA, 68725-000. <sup>2</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, Av. Presidente Tancredo Neves, 2501, 66.077-830, Belém, Pará, Brasil. \*corresponding author: [hdiancarlosp@gmail.com](mailto:hdiancarlosp@gmail.com)

Recebido:10/09/24

Aceito:07/10/24

Publicado:07/11/24

### Resumo:

A Relação Hipsométrica (RH) é de fundamental uso em inventários florestais porque reduz o tempo na coleta de dados e o seu custo. Embora seja muito estudada em plantios florestais, a relação hipsométrica ainda carece de estudos em florestas nativas da Amazônia, principalmente, em como construí-la. Por isso o presente trabalho teve como objetivo testar e selecionar modelos para ajuste da relação hipsométrica em uma floresta secundária de terra firme em processo de regeneração natural na Amazônia. Os dados foram obtidos de um fragmento de floresta nativa periurbana situada no município de Igarapé Açu, nordeste paraense, com área de 44 hectares, inserida no Projeto de Manejo Florestal do Laboratório de Mensuração Florestal da UFRA-Belém. Foram testados dez modelos, incluindo Linear Simples, Assmann, Trorey, Parábola incompleta, Polinômio, Exponencial-Curtis, Henricksen, Potência-Stofells, e modelos Hiperbólicos. Utilizou-se como critério de seleção do ajuste dos modelos, parâmetros estatísticos, como o coeficiente de determinação ajustado ( $RA^2_{aj.}$ ), o erro padrão da estimativa ( $Syx\%$ ). As melhores estatísticas foram para os modelos Exponencial-Curtis, Potência Stofell e a equação de hiperbólico, obtiveram os melhores ajustamentos, fato este observado pelo valor de erro padrão da estimativa que ficou na faixa de 18,37 % a 18,79 % sendo muito elevado em comparação aos valores que podem ser encontrados na literatura.

**Palavras-chave:** Relação Hipsométrica, Fragmento florestal, Mensuração florestal.

### Abstract:

The hypsometric relationship (RH) is of fundamental use in forest inventories because it reduces data collection time and costs. Although it is widely studied in forest plantations, the hypsometric relationship still lacks studies in native forests of the Amazon, mainly on how to build it. Therefore, the present work aimed to test and select models to adjust the hypsometric relationship in a secondary forest in the Amazon. Data were obtained from a fragment of native periurban forest located in the

municipality of Igarapé Açu, northeast of Pará, with an area of 44 hectares, included in the Forest Management Project of the Laboratory of Forest Measurement of UFRA-Belém. Ten models were tested, including Simple Linear, Assmann, Trorey, Incomplete Parabola, Polynomial, Exponential-Curtis, Henricksen, Potencia-Stofells, and Hyperbolic models. Statistical parameters such as the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj}$ ), the standard error of the estimate ( $Sy_x\%$ ). The best statistics were for the Exponential-Curtis, Power Stofell and the hyperbolic equation, they obtained the best adjustments, a fact observed by the standard error value of the estimate, which was in the range of 18.37% to 18.79%, being very high compared to the values that can be found in the literature.

**Keywords:** Hypsometric Relationship, Forest Fragment, Forest Measurement.

## 1. Introdução

Na Amazônia a altura das árvores ajuda a compreender a estrutura vertical da comunidade ou ainda qual a espécie que poderá compor o povoamento futuro, tendo importante significado ecológico, além de ser fundamental para fins de manejo florestal (Silva *et al.*, 2012).

A importância da cobertura vegetal, como a de fragmento florestal presente na região entre área urbana e rural, está na manutenção e no equilíbrio do ambiente como perspectiva ecológica para a questão de serviços ecossistêmicos com referência a seres humanos, enfatizando os benefícios sociais e de saúde humana (Solomou *et al.*, 2019).

A importância da cobertura vegetal presente em fragmentos florestais em região de transição entre áreas urbanas e áreas rurais, é essencial para manutenção do equilíbrio ambiental. Esse equilíbrio possui uma perspectiva ecológica que engloba serviços ecossistêmicos de grande importância para os seres humanos, trazendo muitos benefícios sociais e para a saúde local (Solomou *et al.* 2019).

Em florestas nativas, algumas alturas de árvores são mensuradas e, a partir destas, são realizadas estimativas das demais alturas por meio de equações hipsométricas (Thiersch *et al.*, 2013; Curto *et al.*, 2014).

A metodologia determinada das alturas em função do diâmetro é a mais eficaz para determinar as relações hipsométricas, entretanto existem outras medidas de cálculo mais precisas, mas que torna a operação mais demorada, trabalhosa e onerosa, devido ao uso de instrumentos, como réguas ou varas telescópicas, hipsômetros ópticos e aparelhos de ondas de ultrassom, como o Forestor Vertex (Silva *et al.*, 2012).

A relação hipsométrica estabelece a relação entre a altura e o diâmetro da árvore, sendo uma ferramenta muito utilizada nos inventários florestais, visando promover a redução de custo e tempo do inventário, além de possíveis erros de mensuração (Scolforo, 2005). Relações hipsométricas, são aplicadas para estabelecer a correlação entre a altura e o diâmetro das árvores, é amplamente utilizada em inventários florestais. Sua aplicação visa reduzir custos, tempo de execução e minimizar erros de mensuração (Scolforo, 2005).

A relação entre a altura e o diâmetro das árvores são afetadas pelos seguintes aspectos: posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio, práticas silviculturais, espécie e ou floresta estudada (Machado *et al.*, 2008). A relação hipsométrica entre a altura e o diâmetro das árvores sofre influência de diversos fatores ambientais, como posição sociológica, idade dos indivíduos, tamanho da copa das arvores, densidade, qualidade do sítio, práticas silviculturais aplicadas nas áreas amostradas e as espécies florestais que serão estudadas devido muitas espécies apresentarem maior irregularidade no fuste (Machado *et al.*, 2008). Mas, a densidade é a que promove significativa influência, a qual é dependente do estrato florestal e da competição das árvores pelos fatores de crescimento, como luz, água e nutrientes do solo (Araújo *et al.*, 2012).

Para Thiersch *et al.* (2006), a relação hipsométrica de povoamentos não é muito forte, pois geralmente não apresenta forte correlação. Dessa forma, com a tentativa de aumentar sua precisão o

objetivo deste trabalho foi ajustar e avaliar modelos tradicionais de relação hipsométrica entre espécies que compõem fragmento de floresta nativa periurbano, no intuito de estimar altura das árvores no município de Igarapé Açu.

## 2. Material e Métodos

A pesquisa foi realizada na Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA), pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), que está localizada no município de Igarapé-Açu, nordeste do estado do Pará, conforme (Figura 1). O solo é classificado como Latossolo Amarelo e textura média, distrófico e bem drenado (Cordeiro *et al.*, 2017). Clima local é classificado de acordo com Koppen como Am, possuindo uma precipitação média anual de 2000 a 3000 mm, com clima tropical quente e úmido, chuvoso. Caracterizada por possuir um período chuvoso (janeiro a julho), e estação seca entre setembro e dezembro, possuindo uma variação média anual de 24 °C a 34 °C e cerca de 80% a 90% de umidade relativa (Kato *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2012).

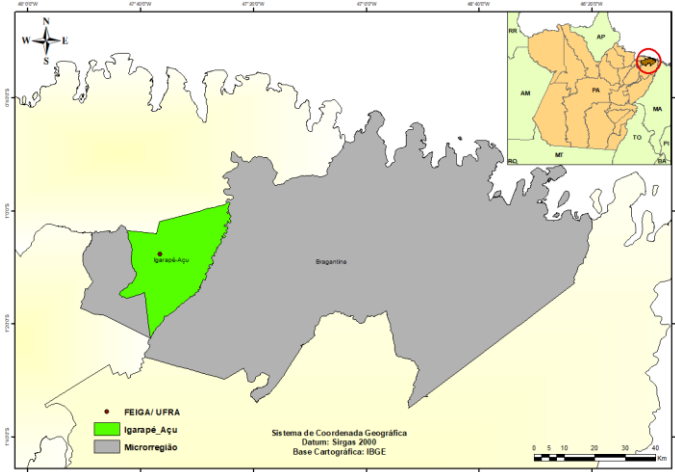
Foram utilizados dados de inventário florestal feito em um fragmento de floresta secundária periurbana composto por trinta (30) parcelas permanentes retangulares de 20x50m (1000 m<sup>2</sup>) cada, distribuídas em seis faixas, sistematicamente na área inventariada, com uma distância de 50 m entre parcelas na linha e 60 m entre linhas, totalizando cinco (5) parcelas por faixa, cada parcela subdividida em dez (10) sub-parcelas de 10x10 m (100m<sup>2</sup>) numa área amostrada de três (3) hectares. Dentre as parcelas instaladas no fragmento florestal, foram coletadas amostras de dados de quatro parcelas (parcela, 11, 12, 13 e 14) alocada na faixa três (3), nas quais o primeiro indivíduo por cada sub parcela foram selecionados, perfazendo uma amostragem de 36 indivíduos, distribuídos em 19 espécies (Tabela 1), na qual, quatro árvores foram classificadas como mortas.

### Localização e Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada na fazenda escola de Igarapé-Açu (FEIGA), pertencente a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), e que está localizada no município de Igarapé-Açu, na microrregião Bragantina do estado do Pará, conforme (Figura1). O clima é do tipo Am segundo a classificação climática de Köppen, precipitação anual média de 2000 a 3000 mm e o solo é classificado como Latossolo Amarelo e textura média, distrófico e bem drenado (Cordeiro *et al.*, 2017).

**Figura 1.** Localização da Microrregião de Fernandópolis, estado do Pará, Brasil

**Figure 1.** Location of the Fernandópolis Microregion, State of Pará, Brazil

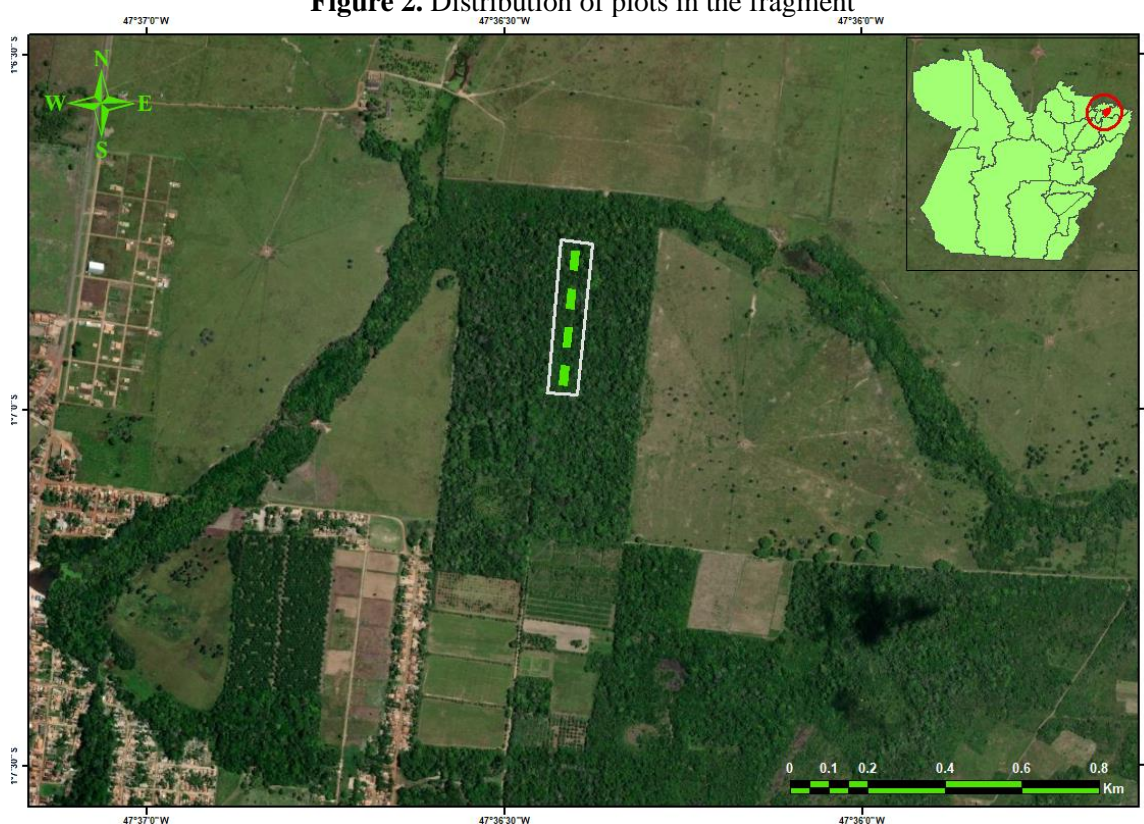


Fonte: os autores

O levantamento de campo foi realizado em um fragmento de floresta periurbano com cerca de 24 hectares, constituído de uma vegetação em processo de regeneração em estágio médio (Amorim *et al.*, 2019; CONAMA, 1994). De acordo com levantamento histórico feito da área, concluiu-se que antigamente o local era de pastagens para atividade de pecuária. E visto que a floresta é um sistema aberto, que está sujeita a influência do entorno, (inventário florestal contínuo) como forma de monitorar o ritmo de crescimento da floresta frente as possíveis influências do desmatamento ocasionado pela implantação de atividades agrícola e pecuária no seu entorno.

Diante da necessidade e por ser considerado a porção do fragmento de maior vulnerabilidade ao controle humano, foi iniciada a instalação das 30 parcelas no formato retangular de 20x50m (1.000 m<sup>2</sup>), equidistante entre si, entre faixas (60 m) e entre parcelas nas faixas (50 m), concentrando 52% em hectares da área (do Norte em direção ao Sul) (Figura 2).

**Figura 2.** Distribuição das parcelas no fragmento  
**Figure 2.** Distribution of plots in the fragment



Fonte: os autores

A coleta dos dados de altura total e circunferência à altura do peito (CAP), foi composto por amostragem onde foram delimitadas sistematicamente 4 parcelas, divididas em 10 subparcelas de 10x10m (100 m<sup>2</sup>) cada, com área total amostral de 0,4 há, na qual foram registrados 36 indivíduos, distribuídos por espécies, e com quatro árvores sendo classificadas como mortas (Tabela 1).

**Tabela 1** - Espécies florestais encontradas na vegetação secundária do fragmento florestal periurbana no município de Igarapé-Açu, apresentando por ordem alfabética as famílias e gêneros, acompanhadas dos respectivos grupos ecológicos (GE), em que NI = Número de Indivíduos, PI = Espécie pioneira, SI = espécie secundária inicial, ST = espécie secundária tardia, IM = indivíduos mortos

**Table 1** - Forest species found in the secondary vegetation of the peri-urban forest fragment in the municipality of Igarapé-Açu, presenting the families and genera in alphabetical order, accompanied by the respective ecological groups (GE), where NI = Number of Individuals, PI = Pioneer species, SI = early secondary species, ST = late secondary species, IM = dead individuals

<b>Espécies</b>	<b>Família</b>	<b>GE</b>	<b>NI</b>
<i>Acacia mangium</i> (Duke).	leguminoseae	PI	1
<i>Bowdichia virgilioides</i> (Kunth).	Fabaceae	SI	3
<i>Byrsonima crispa</i> (A.) Juss.	Malpighiaceae	SI	3
<i>Casearia arbórea</i> (Rich.) Urb.	Salicaceae	PI	2
<i>Duquetia marcgraviana</i> Mart.	Annonaceae	ST	4
<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith.	Lecythidaceae	PI	1
<i>Hevea guianensis</i> (Aubl).	Euphorbiaceae	PI	1
<i>Inga paraensis</i> Ducke	Fabaceae	PI	3
<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	Lacistemataceae	SI	1
<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack.	Rutaceae	PI	3
<i>Neea theifera</i> (Oerst).	Nyctaginaceae	SI	1
<i>Ocotea spixiana</i> (Nees).	Lauraceae	SI	1
<i>Ormosia excelsa</i> (Benth).	Fabaceae	PI	1
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart).	Mimosaceae	PI	1
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	SI	1
<i>Swartzia laurifolia</i> (Benth).	Fabaceae	SI	1
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	PI	8
<b>IM</b>			<b>4</b>
<b>Total</b>			<b>36</b>

Na medição das variáveis de diâmetro e altura total, utilizou-se de fita métrica para mensurar o CAP que posteriormente foi transformado para diâmetro, e a vara hipsométrica de 12m de altura, respectivamente. Em campo, as árvores incluídas apresentam o CAP igual ou superior a 30,99 cm. E para as árvores com alturas maiores do que 12m, foi utilizada uma escada de alumínio em que o medidor do último degrau impulsionava a vara até o limite da altura da copa, e quando após todos esses mecanismos não se conseguia obter a altura total com precisão, um auxiliar localizado em solo, de modo visual, estimava o complemento à leitura total da altura das árvores.

As árvores selecionadas foram identificadas botanicamente, a nível de espécies, família e grupo ecológico por identificador botânico da Universidade Federal Rural da Amazônia, posteriormente tiveram seus nomes comparados com os encontrados em literaturas e ainda com lista de espécies inventariadas em momentos anteriores na área de estudo.

Para cada modelo hipsométrico os dados foram ajustados, utilizando dez (10) modelos estatísticos tradicionais e genéricos (Tabela 2). Observando um critério de seleção da equação mais

precisa que foi o conjunto das medidas de precisão: maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e menor erro-padrão residual ( $S_{yx}$ ).

**Tabela 2.** Modelos hipsométricos utilizados para estimar altura em função do diâmetro no fragmento de floresta periurbana

**Table 2.** Hypsometric models used to estimate height as a function of diameter in the peri-urban forest fragment

Número	Modelos Matemáticos	Autores
1	$h = \beta_0 + \beta_1.d$	Linear Simples
2	$h = \beta_0 + \beta_1.d^1$	Assmann
3	$h = \beta_0 + \beta_1.d + \beta_2.d^2$	Trorey
4	$h = \beta_0 + \beta_1.d^2$	Parábola incompleta
5	$h = \beta_0 + \beta_1.d + \beta_2.d^2$	Polinômio
6	$h = \beta_0 + \beta_1.d + \beta_2.d^2 + \beta_3.d^3$	Polinômio -2
7	$h = \beta_0 + \beta_1.lnd$	Henricksen
8	$lnh = \beta_0 + \beta_1$	Exponencial-Curtis
9	$lnh = \beta_0 + \beta_1.lnd$	Potência-Stofells
10	$\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1.d$	Hiperbólico

**Nota:** h= altura do fuste em (m); d= diâmetro à altura do peito em cm; ln= logaritmo neperiano;  $\beta_0$ ;  $\beta_1$ ;  $\beta_2$  e  $\beta_3$ = coeficientes dos modelos.

Foi utilizado 36 pares de dados de diâmetro à altura do peito (DAP) e de altura total (ht) das espécies citados anteriormente. Com o objetivo de selecionar o melhor modelo de regressão, analisou-se a significância do ajuste dos modelos, pelo teste F da análise de variância com 95% de probabilidade. A possível presença de tendências das estimativas foi validada por meio da análise gráfica dos resíduos relativos em função do DAP e, através da análise gráfica que dispõe as alturas estimadas (Y) em função das alturas observadas (X), além dos valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), e erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ).

Os modelos foram ajustados aos dados e a curva ajustada foi comparada com a tendência observada nos dados. Todos os critérios de estabilidade foram baseados na diferença entre a altura observada e altura predita pelos modelos. A estabilidade dos modelos de relação hipsométrica é, portanto, crítica para a qualidade das estimativas de altura. O termo “estabilidade” deve ser entendido como a qualidade de um modelo produzir estimativas confiáveis, sem viés e com variância pequena, ao ser aplicado a um conjunto de dados que não é idêntico ao utilizado para ajustá-lo, mas provém da mesma população (Batista *et al.*, 2001).

A análise gráfica dos resíduos em um ajuste de regressão é determinante como critério de escolha de um modelo, mesmo que as estimativas de ajuste de precisão estejam apresentando valores aceitáveis. A dispersão dos pontos ao longo do eixo da variável independente indica de forma clara se o ajuste subestima ou superestima a variável dependente (Machado *et al.*, 2008).

E ainda segundo o mesmo autor, o erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) informa a qualidade do ajuste e o quanto, relativamente, o modelo erra em média ao estimar a variável dependente.

### 3. Resultados e Discussão

De acordo com Levine *et al.* (2017) e Curto *et al.* (2018) para modelos de regressão, os parâmetros estatísticos associados das variáveis são independentes para cada uma variação ( $\beta_1 \dots \beta_n$ ), apresentam a inclinação da variável dependente ( $\beta_1$ ) em relação à independente ( $\beta_0$ ). Portanto os coeficientes das variáveis independentes são utilizados para explicar a os coeficientes variáveis dependentes, quanto ao crescimento de um povoamento ou uma população nos termos de diâmetro e altura.

Para selecionar um melhor desempenho estatístico na média de todas as análises, adotou-se um ordenamento entre esses modelos. Cada equação foi calculada a altura em função do diâmetro, sendo que o menor valor corresponde ao melhor modelo (tabela 3), conseqüentemente, o menor somatório foi considerado como o modelo mais adequado para estimar a altura.

**Tabela 3.** Coeficientes e parâmetros estatísticos das equações ajustadas

**Table 3.** Coefficients and statistical parameters of the adjusted equations

Modelo	Coeficientes				Parâmetros estatísticos		
	Nº	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	Syx(%)
1		8,72357	0,21277			26,37	19,22
2		11,1035	0,004039			22,32	19,74
3		-1,15538	4,82418			29,64	18,79
4		18,35934	-95,3497			31,76	18,5
5		15,90858	-841,204			32,67	18,38
6		7,05853	0,39878	-0,00421		32,73	18,37
7		6,58526	0,50684	-0,01049	9,94899	30,92	18,62
8		2,99322	-8,06494			32,01	1,56
9		1,35504	0,40373			29,19	1,59
10		1,09309	0,22139			91,78	3,72

**Nota:** b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes do modelo; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; Syx (%) = erro padrão da estimativa em %.

Os modelos testados apresentam variação em seus parâmetros estatísticos, com valores de coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>), variando entre 22,31 (modelo 2) a 91,77 (modelo 10). O erro variou de 1,56 % (Potência-Stofells) para o 19,74% (Assmann). Para três modelos testados, apresentou diferença com baixa variação de 1,56 % (modelo 8) a 1,59 % (modelo 9) e 3,73% (modelos 10), nove dos modelos apresentaram valores baixos de R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>, por conseguinte, baixa correlação entre as variáveis diâmetro e altura do total de indivíduos coletados. Portanto, os valores apresentados de Syx%, em função aos valores de R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> não qualificam os modelos para explicar a variável dependente em função das variáveis independentes. A relação hipsométrica que tiveram os melhores parâmetros estatísticos foram no modelo 10 (Hiperbólico) que apresentou coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>) de 91,78 variação e o erro padrão da estimativa (Syx%) de 3,72%, demonstrando que se explica melhor as variáveis dependentes e independente neste modelo em relação aos outros modelos matemáticos. Barros *et al.*, (2002) e Machado *et al.*, (2008) concluíram quanto mais velho é o povoamento e com inúmeras perdas de indivíduos por desbastes seletivos, apresentarão valores muito baixo para R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>

Os valores estimados do erro padrão (Syx %) são relativamente maiores que os encontrados na relação altura e diâmetro dos indivíduos observados. Isto devido ao maior coeficiente de variação da altura de fuste em florestas secundárias (Tabela 3), demonstrando entre os fatores variável altura é sensivelmente afetada na interação das espécies em questão. Souza *et al.*, (2020) propõem que em

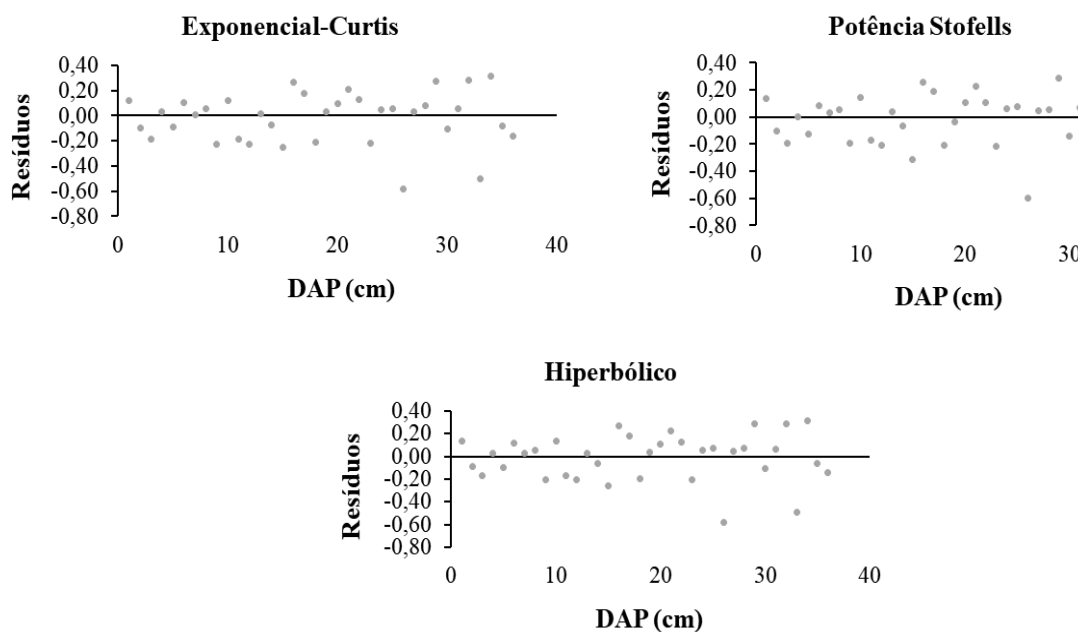
outros casos altura muito elevada e diâmetro menores, diminui essa relação, gerando elevada discrepância e baixa correlação das duas variáveis

Azevedo *et al.* (1999) e Hess *et al.* (2014) ao analisarem a relação hipsométrica para espécies da Amazônia ocidental, em quatro diferentes idades, concluíram que a relação altura diâmetro varia de acordo com a idade do povoamento, não podendo ser utilizada uma equação comum para povoamentos com idades diferentes.

Hess *et al.* (2014) ao analisarem a distribuição gráfica dos resíduos do projeto de manejo florestal seringal Iracema II, destacou a superestimativa e subestimativas dos valores de altura na floresta amazônica por conta da baixa relação de altura e diâmetro. Assim a distribuições gráficas de resíduos tiveram comportamento semelhantes em todos os modelos, com valores residuais enquadrando-se entre 0,40 e -0,80%, que demonstraram tendências de superestimativa e subestimativa, com a maior parte dos pontos concentrando-se entre 0,15 a -0,18% na linha base de estimativa, não diferenciando o gráfico dos parâmetros estatísticos dos três melhores resultados (Figura 3), em relação aos resultados, independente do modelo matemático usado, todos os modelos tiveram tendenciosidade semelhantes. Observa-se que os modelos tendem a subestimar a altura do fuste, devido aos pontos representativos de resíduos estarem em sua maioria acima da linha central de estimativa, principalmente para os maiores diâmetros variando entre 38 a 40 cm, entretanto esses modelos também demonstram superestimativa em menor quantidade dos pontos destacados nos diâmetros que variam entre 28 a 35 cm.

**Figura 3.** Gráficos dos resíduos em função do diâmetro com melhores ajustes

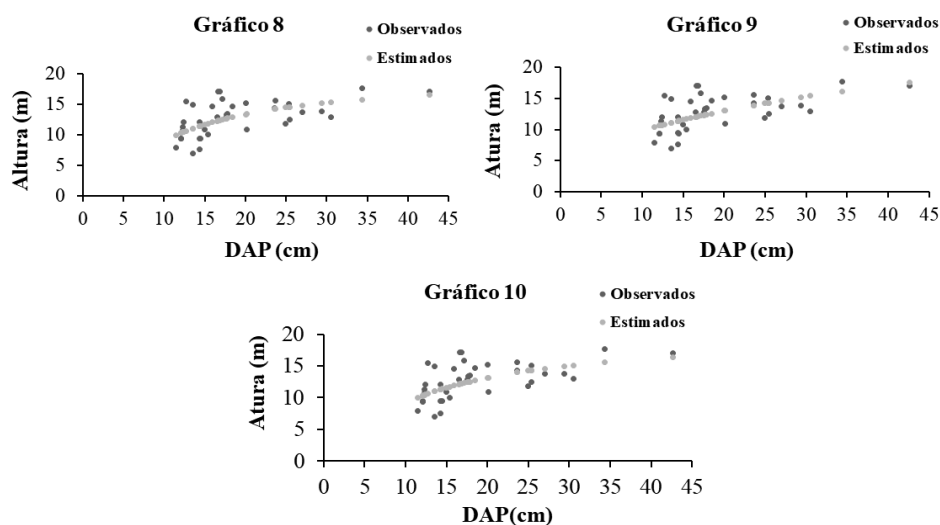
**Figure 3.** Graphs of residues as a function of diameter with best fits



Outras observações dos modelos calculados, foi referente ao gráfico das linhas das estimativas da variável altura (m) pelo DAP (cm) com dados calculados para todos os modelos, houve variação semelhante para todos os modelos, com melhor ajuste no gráfico de resíduo para três melhores equações ajustadas (figura 4), apresentando menor variação no Exponencial-Curtis, Potência-Stofells e modelo 10 Hiperbólico.



**Figura 4.** Gráficos em função da altura e diâmetro que apresentaram os melhores ajustes  
**Figure 4.** Graphs depending on height and diameter that presented the best fits



A linha de estimativa da regressão é similar em todos os modelos testados, com comportamento análogo aos dados dos indivíduos observados na distribuição diamétrica dos modelos com discrepância acentuada dos valores que foram estimados através de equações hipsométrias demonstrando uma baixa relação dos modelos propostos em relação a curva base dos indivíduos observados (valor real) que se manteve entre 5 a 10 m de altura. Devido a isso, percebe-se nos modelos testados a tendenciosidade está evidente na altura ao demonstrar que foi superestimado variando altura real até 18 metros de altura. Machado *et al.* (2008) e Hess *et al.* (2014) notaram, ainda, que as curvas hipsométricas são pouco íngremes para povoamentos com idades já avançadas, ou então, crescendo em sítios de qualidade média ou baixa, assim observados em florestas secundárias.

Observa-se neste estudo a variação do erro padrão da estimativa entre 1,56% e 19,74% muito elevada, e o valor de  $R^2$  ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) apresentando baixos valores para a área mencionada neste trabalho, identificou-se que a tendência a superestimar e subestimar a altura em função do DAP dos indivíduos são muito elevadas para floresta nativa, devido estarem diretamente relacionadas à natureza dos dados calculados e apresentados para esta área, com grande discrepância, devido ao baixo aproveitamento do fuste, com o ajustamento da regressão todos os dados medidos na mesma proporcionalidade (DAP 1,30 m a nível do solo) causou tendenciosidade devido a diferença entre os fustes apresentados, com indivíduos de grandes DAP e outros com DAP muito menores a altura se apresentando na mesma proporcionalidade. Em florestas nativas, a competição por nutriente, luz e espaçamento dos indivíduos florestais faz com que surjam novos extratos em diferentes locais, ocorrendo novas posições sociológicas com variação diferente para variáveis diâmetros, que ao longo dos anos se desenvolvem e apresentam um fuste com altura semelhante (Machado *et al.*, 2008).

#### 4. Conclusão

As análises do desempenho dos modelos para os dados coletados do fragmento de floresta nativa periurbana em estudo indicam o que o ajuste das equações e a estimativa gerada pelos modelos testados, tende a superestimar e subestimar os valores de altura e diâmetro, necessitando ter mais cuidado no ajuste das equações do volume, precisando de uma maior quantidade de modelos hipsométricos para serem ajustados que se adequem as florestas nativas para obter melhores resultados.

Os modelos Exponencial-Curtis, Potência-Stofells e o modelo hiperbólico foram o que apresentaram a melhor estatística para explicar a relação hipsométria entre o diâmetro e a altura, entretanto se esperava que os modelos lineares tivessem melhor correlação, no entanto a relação não

foi satisfatória devido à dificuldade de mensurar os dados da equação, onde nenhum dos dez modelos analisados foram suficientes para demonstrar estabilidade para mensuração de altura em função de diâmetro.

### Referências

- AMORIM, A. T., SOUSA, J. A. P., LOURENÇO, R. W. Indicador dos Estágios de Sucessão de Fragmentos Florestais do Bioma Mata Atlântica. *Revista Brasileira de Cartografia* 71, 756 -780, 2019.
- ARAÚJO, E.; KER, J.; NEVES, J.; LANI, J. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Applied Research & Agrotechnology*, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.
- AZEVEDO, C. P.; MUROYA, K.; GARCIA, L. C.; LIMA, R. M. B.; MOURA, J. B.; NEVES, E. J. M. Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 5-29, 1999.
- BARROS, D. A. de *et al.* Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de Pinus em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 03-28, jul./dez. 2002.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; MARQUESINI, M. Desempenho de modelos de relações hipsométrias: estudo em três tipos de floresta. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, 2001, n. 60, p. 149-163. Artigo, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, São Paulo: Piracicaba, 2001.
- CORDEIRO, I. M. C. C.; RANGEL-VASCONCELOS, L. G. T.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (Org.). Nordeste Paraense: **panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém, PA: EDUFRA, 2017. 323 p.
- CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R.O.V.; NETTO, S. P.; SILVA, G. F. Relação hipsométrica em floresta estacional decidual. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n.1, p. 57-66, 2014.
- CURTO, R. A.; MÔRA, R.; ARAÚJO, E. J. G.; SILVA, G. F. Treinamento na estimativa da altura de árvores de grande porte em floresta inequiânea. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 2, p. 170-176, 2018.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 1, de 31 de janeiro de 1994. Define vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro, inicial e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado de São Paulo. Brasília, **Diário Oficial da União**, 31 de janeiro de 1994.
- HESS, F. A.; BRAZ, M. E.; THAINES, F.; MATTOS, P. P. Ajuste de relação hipsométrica para espécies da Floresta Amazônica. **Ambiência Guarapuava**, 2014, v.10 n.1 p. 21 - 29.
- KATO, O.R. *et al.* R. Produção de raízes de mandioca em sistemas agroflorestais sequenciais submetidos a diferentes manejos de adubações verde e fertilizantes no nordeste paraense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. **Anais**. Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011.
- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. **Estatística: Teoria e Aplicações**. 7ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2017. 760 p

MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, 2008. 5 -16 p.

PEREIRA, M. E. M.; VASCONCELOS, S. S.; SILVA, A. K. L.; SOUZA, C. M. A. Estoque de carbono do solo em sistema agroflorestal sequencial no nordeste Paraense. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS,4. **Anais**. 2012.

SOLOMOU, A; SKOUFOGIANNI, E.; MYLONAS, C.; GERMANI, R.; DANALATOS, N.G.; Cultivation and utilization of "Greek mountain tea" (*Sideritis* spp.): current knowledge and future challenges. **Asian J. Agric. Biol.** 7(2):289-299. 2019.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: parte I: modelos de regressão linear e não linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.

SILVA, G. F. et al. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 341-348. 2012.

SOUZA, C. M. A.; FREITAS, F. S.; CARVALHO, C. J. R.; VASCONCELOS, S. S.; KATO, O. R. Atributos físicos do solo em sistemas agroflorestais sequenciais no município de Igarapé Açu-, Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8. **Anais**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2011.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MAESTRI, R.; DEHON, G. Acurácia dos Métodos para Estimativa do Volume Comercial de Clones de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, v. 12, n. 2, p. 167-181, 2006.

THIERSCH, C. R.; ANDRADE, M. G.; MOREIRA, M. F. B.; LOIBEL, S. Estimativa da relação hipsométrica em clones de *Eucalyptus* sp. com o modelo de Curtis ajustado por métodos bayesianos empíricos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, p. 1-8, 2013.

---

#### Author contribution:

Diancarlos de Oliveira: Conceptualization, Analysis and calculations, result First, Writing; Rafael Caldeira Visualization, Writing, Calculations; Lena Costa: Oversight, Project Management and Resources.

#### Acknowledgment

To the Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, for the institutional support and for the opportunity to expand my knowledge;

Igarapé-Açu School Farm (FEIGA). the availability of the study area, facilities, logistical support in data collection; to the tenth semester 2022 undergraduate students who helped with the field collection.

The Postgraduate Coordination in Forest Sciences – UFRA.

To professors Dr. Rodrigo Geroni Mendes responsible for the forest measurement discipline.

#### Financing Sources

To the Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, which provided financial support for traveling to, staying and coming to the Fazenda Escola de Igarapé-Açu (FEIGA).

#### Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Associate Editor

Luciana da Silva Borges

---

#### ORIGINAL ARTICLE

