



## MODELO DE REGRESSÃO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES DA ESPÉCIE *Julbernardia paniculata* Benth (ONDUCO) NA LOCALIDADE DE LOMANDA, COMUNA DO QUIPEIO, MUNICÍPIO DA EKUNHA

### REGRESSION MODEL TO ESTIMATE TREES VOLUES OF SPECIE JULBERNARDIA PANICULATA BENTH (ONDUCO) IN LOMANDA TOWN, QUIPEIO, MUNICIPALITY OF EKUNHA

André Kapiñgala Imbo Ndjamba <sup>1\*</sup> ; Joelvis Osório Osorio <sup>2</sup> ; Benedita Capomo Canganjo Sandambongo <sup>3</sup> ; Franklim Lukibo Bivingo <sup>4</sup> ; Verena Torres Cárdenas <sup>5</sup> 

1 Instituto Politécnico da Universidade Cuito Cuanavale; 2 Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos, Huambo-Angola. 3 Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade José Eduardo dos Santos, Huambo-Angola. 4 Instituto Politécnico da Universidade Cuito Cuanavale. 3 Instituto de Ciências Animal, Mayabeque -Cuba.

\* Email para correspondência: [ndjamba72@hotmail.com](mailto:ndjamba72@hotmail.com)

#### RESUMO

O presente estudo teve como objectivo testar modelos estatísticos visando estimar, com maior precisão, o volume da espécie florestal *J. paniculata* Benth, da floresta do miombo na localidade de Lomanda, comuna do Quipeio, município do Ekunha. Nesta floresta foram levantadas 38 parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> com um raio de 12,62 m, de forma aleatória, no interior das quais foram inventariados e cortados todos os indivíduos da espécie *J. Paniculata* com  $d_{1.30} \geq 5$  cm, medidos os diâmetros a diferentes secções da longitude de árvores derrubadas, utilizando 52 árvores para o cálculo do volume pelos métodos de cubicação de Smalian, Newton e Huber. Mediu-se a variável diâmetro à base do fuste das árvores a 0,30 m, a 0,50 m, a 1,30 m, a 1,50 m e desta ao extremo a cada 0,50 m, com o fim de ajustar o modelo de regressão para a estimativa do volume desta espécie e seleccionar o modelo de melhor ajuste e precisão. A selecção do melhor modelo teve como referência o valor da estatística F, o mais alto coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), o menor erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%) e a análise de resíduos, por meio do

#### ABSTRACT

The objective of the present work was to test statistical models aiming at estimating, with greater precision, the volume of the forest species *J. paniculata* Benth, from the miombo forest in the town of Lomanda, commune of Quipeio, municipality of Ekunha. In this forest, 38 circular plots of 500 m<sup>2</sup> with a radius of 12.62 m were randomly collected, inside which all individuals of the species *J. Paniculata* with  $d_{1.30} \geq 5$  cm were harvested and cut, the diameters to different sections of the length of felled trees, using 52 trees to calculate the volume by the cubing methods of Smalian, Newton and Huber. The diameter variable was measured at the base of the shaft at 0.30 m, at 0.50 m, at 1.30 m, at 1.50 m and at the extreme at each 0.50 m, in order to adjust the regression model for estimating the volume of this species and select the model of best fit and precision. The selection of the best model had as reference the value of the statistic F, the highest coefficient of determination (R<sup>2</sup>), the lowest standard error of the percentage estimate (Syx%) and the residue analysis,



Desvio Médio Percentual (DMP). Com base nas estatísticas mencionadas, concluiu-se que o melhor entre os modelos, a ser empregado na área, foi para Smalian (Potência), Newton (Potência e Lineal) e por Huber (Linear). Para o cálculo do volume o melhor método de cubicação foi o de Huber.

**Palavras-chave:** Equações de volume, regressão, Miombo, Ekunha, *J. paniculata*.

Percentage (DMP). Based on the mentioned statistics, it was concluded that the best among the models, to be employed in the area, was for Smalian (Power), Newton (Power and Linear) and Huber (Linear). For the calculation of the volume it was obtained that the best cuber method was Huber.

**Keywords:** volume equations, regression, Miombo, Ekunha, *J. paniculata*.

## 1. Introdução

As florestas são um recurso fundamental para a sobrevivência e bem-estar das populações rurais africanas. Além de fornecerem lenha, carvão vegetal, madeiras e outros bens valorizados pelo mercado, as florestas proporcionam importantes benefícios indirectos se forem manejadas racionalmente (Mafuca, 2001).

Segundo a FAO (2007) as florestas funcionam como reservatório da diversidade genética e podem fornecer suprimento constante de bens e serviços desde que geridas de forma sustentável, ajudam a regenerar os solos e defende-o das erosões, protegendo as áreas jusantes dos rios, das inundações e assoreamento, mitigam as variações climáticas e são um espaço para o recreio e o turismo.

O manejo de florestas naturais e sua conservação demandam conhecimentos sobre sua estrutura e estoques correntes, bem como sobre os factores que determinam sua evolução ao longo dos anos. Para tal, é necessária a execução de inventários florestais, os quais, frequentemente, utilizam métodos e processos de amostragem com a finalidade de gerar informações sobre uma floresta natural ou plantada (Burkhart et al., 1976).

Os inventários florestais são instrumentos básicos, utilizados para se avaliar estatisticamente as reais potencialidades e capacidades produtivas dos recursos florestais de determinada área. São importantes ferramentas utilizadas no diagnóstico do potencial produtivo de florestas. É por meio dos resultados dos inventários florestais que se apoiam decisões acerca da viabilidade de empreendimentos florestais que exigem grandes investimentos (Cunha, 2004).



De acordo com Arce et al. (2008) nesse contexto, as equações de volume e funções de afilamento são importantes ferramentas para a estimativa do volume individual. A primeira pela facilidade do ajuste e obtenção do volume com base em variáveis de fácil mensuração. A segunda por tratar-se de uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco, sendo possível a obtenção de seu volume por meio da integração desta função.

Por outro lado, apesar de modelos consagrados na literatura e prática de empresas florestais, as equações de volume e funções de afilamento são modelos rígidos, sem flexibilidade e comportamento previamente definido. Nesse sentido, técnicas matemáticas alternativas como redes naturais, artificiais vêm ganhando notoriedade no campo das estimativas, dada a facilidade de aplicação e facilidade no tratamento dos dados (Baldwin et al., 2001). Sendo potencialmente úteis na ciência florestal como uma alternativa à análise de regressão convencionalmente aplicada, dada à possibilidade de maior flexibilidade e modelagem de relações complexas entre variáveis (Binoti et al., 2014).

O volume de madeira de um povoamento é a variável de maior interesse para o mercado e para o planejamento florestal. As estimativas do volume de madeira nos inventários florestais envolvem, sobretudo, a utilização de equações volumétricas (Chang et al., 2009). Segundo Filho & Scolforo (1993) o volume das árvores tem sido estimado com facilidade e precisão empregando equações de volume ajustadas a partir de medições do diâmetro a altura do peito e da altura total.

O volume das árvores pode ser obtido por meio de métodos que necessitam do abate das árvores, de forma indirecta com o uso de instrumentos óptico e estimativo por meio de equações do volume ou factor de forma. Os métodos mais usuais são as estimativas com equação de volume e o factor de forma (Gouveia et al., 2015).

As equações de volume são fundamentais na tomada de decisão de povoamentos florestais. Por isso, várias equações matemáticas foram desenvolvidas para se estimar o volume de povoamentos florestais, porém, apesar da eficiência de alguns modelos, que nem sempre se ajustam às espécies e condições de interesse, são recomendadas testar vários modelos volumétricos, por meio de análises estatísticas, escolher o que melhor se identifica para cada caso (Corte et al., 2011).

Esses modelos volumétricos utilizam uma variável dependente que é o volume, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura (Miguel, 2009). Através dessas equações matemáticas pode-se estimar

volumes individuais de árvores, com base num procedimento de amostragem realizado em campo, utilizando unidades amostrais (parcelas), chega-se a estimativas do volume por parcelas, podendo em seguida ser extrapolado para o hectare e, por fim, para toda a população em estudo (Netto, 1980).

De acordo com Campos (2014) a cubagem de árvores implica na divisão do tronco da árvore em secções com a medição de diâmetros sucessivos ao longo do tronco em alturas pré-estabelecidas. Assim, com os diâmetros e o comprimento das toras, determinam-se os volumes das várias secções usando os métodos de cubagem. Entre os vários métodos de se obter o volume dos fustes das árvores, o método de cubagem através do Xilómetro é o único que fornece o valor verdadeiro do volume. Os demais métodos de cubicagem na literatura resultam do uso de expressões matemáticas que estimam com certa acuracidade o valor paramétrico do volume do fuste da árvore ou parte dele (Conceição et al., 2004).

Levando-se em consideração que tais métodos ainda carecem de estudos e fundamentações de base para a área florestal, se faz necessária a análise destes, para que se saiba assim melhorar a eficiência no campo de modelagem florestal. Essa melhora incide directamente no aumento da confiabilidade dos estimadores populacionais, como volume total por hectare, acarretando em maior segurança na tomada de decisões acerca de grandes empreendimentos florestais.

### **Problema científico**

As estimativas de volume de madeira existente nas florestas do miombo ao nível do Quipeio são feitas utilizando critérios visuais, não obedecendo a uma investigação científica prévia, o que pode sub-estimar ou sobre-estimar o volume real existente.

### **Hipótese**

Se se utilizarem métodos cientificamente aceites para estimar o volume de madeira existente no miombo Quipeio, haverá um melhor aproveitamento dos produtos maderáveis da espécie investigada, reduzindo o impacto negativo sobre o meio ambiente.

### **Objecto de estudo**

Modelos de regressão do volume para o fuste da espécie *Julbernardia paniculata* Benth.

### **Objectivo geral**

Testar modelos estatísticos visando estimar, com maior precisão, o volume de madeira de árvores da espécie florestal *Julbernardia paniculata* Benth, da floresta do miombo na localidade de Lomanda, comuna do Quipeio, município do Ekunha.



## Objectivos específicos

- Determinar o modelo de melhor ajuste para equação de volume do fuste na espécie *Julbernardia paniculata* Benth, na localidade de Lomanda.
- Comparar métodos de cubicagem (Huber, Smalian e Newton), para a espécie *Julbernardia paniculata* Benth, na localidade de Lomanda.

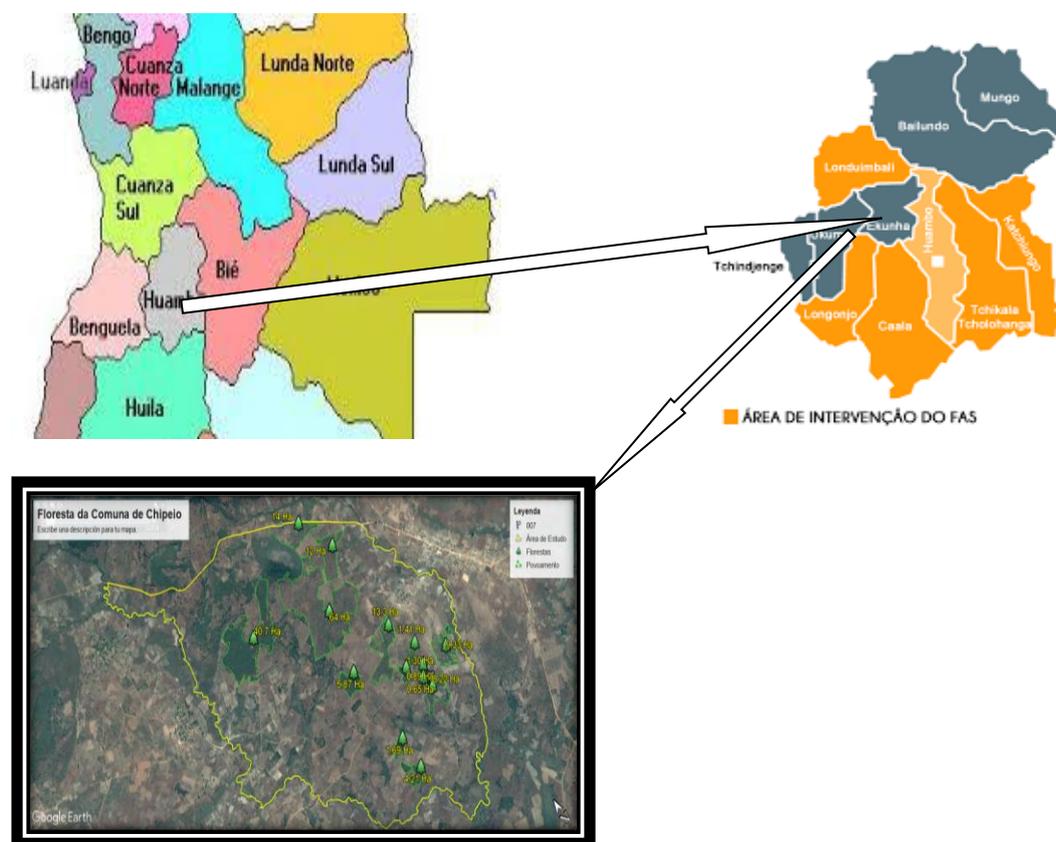
## 2. Material e Métodos

### 2.1 Caracterização da área de estudo.

O Município da Ekunha pertence à província de Huambo (Angola) que encontra-se localizado na zona de climas alternadamente húmido: o clima é temperado (temperado quente inferior a 20 °C e só raramente abaixo dos 10 °C). O mês mais quente é o de Junho e o mês mais frio é normalmente o de Junho e o de Setembro, nas maiores altitudes (Sardinha, 2008).



regiões intertropicais. Devido à altitude, a temperatura média anual normalmente é inferior a 20 °C e só raramente abaixo dos 10 °C. O mês mais quente é normalmente o de Junho e o mês mais frio é normalmente o de Junho e o de Setembro, nas maiores altitudes (Sardinha, 2008).



A localidade da Lomanda está situada na Comuna do Quipeio no município da Ekunha província do Huambo, limitado a Norte e Oeste pelo rio Sandive e a Sul pelo rio Cuito e pelo Leste pelo rio Cussese. Suas coordenadas geográficas são: 12° 26' 57,8'' de latitude Sul e os 15° 29' 35,4'' de longitude Este.

### 2.1.1. Vegetação, solos e clima da área de estudo

No aspecto florestal é de referir que a mata natural de Miombo na localidade da Lomanda, que primitivamente ocupava toda a sua extensão territorial, cedeu lugar em grande parte, a comunidades vegetais savanizadas por práticas de agricultura de subsistência e abastecimento de lenha e carvão (Ndjamba *et al.*, 2021).

O autor acima mencionado que a floresta aberta de Miombo ocupa cerca de 45,2% da superfície florestal total, dispersando-se por vastas zonas do país, incluindo as províncias da Huila, do Cuando Cubango, Moxico, Bié, Huambo, Malanje, Benguela e Kwanza-Sul. Apresenta inúmeras associações dominantes, onde a mais frequente é constituída pelos géneros *Isoberlína*, *Brachystegia* e *Julbernardia*.

As espécies foram identificadas pelo seu nome local em língua Umbundo. Foi possível obter a identificação botânica a partir de trabalhos realizados por Diniz (2006), Wyk & Wyk (2007), Sardinha (2008), Sanfilippo (2014), Baptista (2014), Miápia (2014), Malengue (2014), Hossi (2014), (Ndjamba *et. al.*, 2021).

### 2.2. Metodologia utilizada.

Para avaliar as características dendrométricas e da sométricas, bem como o grau de ocupação e a produtividade da espécie foram levantadas, primeiramente, 22 parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> (0,05 hectare) com raio de 12,62 m, conforme mostra a figura 2. Para que a área da parcela corresponda-se aos 500 m<sup>2</sup> num terreno com declive, corrigiu-se o raio da mesma para o valor que corresponde à sua medida num plano horizontal. Para isto foi utilizada a fórmula:

$$R_h = R_i \cos \alpha$$

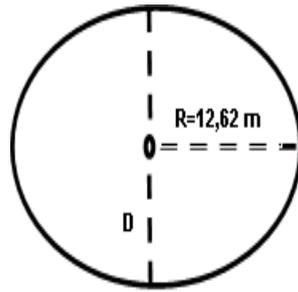
Onde:

$R_h$  = Raio na linha horizontal;

$R_i$  = Raio na linha em declive;

$\alpha$  = Valor da pendente medida em grau;





**Figura 2.** Forma e dimensão da parcela de amostragem (Ndjamba *et. al.*, 2021).

### 2.3 Cálculo do tamanho da amostra

O tamanho da amostra nas manchas florestais da localidade da Lomanda foi determinado tal como exposto acima, tendo-se realizado uma amostragem prévia com 22 parcelas circulares, com as quais foram determinadas as principais variáveis de interesse para o cálculo do tamanho da amostra e determinou-se também se a população era finita ou infinita, mediante o cumprimento das seguintes hipóteses: se  $1 - f \geq 0,98$  a população é infinita e se  $1 - f < 0,98$  a população é finita.

Onde:

$$f = \frac{na}{A} = \frac{1.1}{176} \text{ ou também } = \frac{n}{N} = \frac{22}{3520} = 0,00625$$

$A = 176 \text{ hectares} = \text{Área total da população}$

$a = 0,05 \text{ hectare} = \text{area da parcela de amostragem}$

$$N = \frac{A}{a} = \frac{176}{0,05} = 3520 \text{ Número total de parcelas de } 0,05 \text{ hectare na população}$$

$n = 22 = \text{número total de parcelas previamente amostradas.}$

Sendo que  $1 - f = 0,99375 \geq 0,98$  a população será então infinita.

Segundo Pellico & Brena (1997) foi empregada a seguinte fórmula:

$$n = \frac{t^2(CV\%)^2}{(LE)^2} \text{ Numa amostragem aleatória simples também para uma população infinita.}$$

Em que:

$n$  = Número de unidades a amostrar da população para certo limite de erro e uma probabilidade de 95%.

LE% = limite de erro, ou seja:  $\pm 10$

$$E^2 = \text{limite de erro de amostragem absoluto desejado, ou seja: } E^2 = \left( \frac{LE\%}{100} * \bar{x} \right)^2.$$

$$\bar{X}_h = \text{média aritmética, ou seja: } \bar{X}_h = \frac{\sum X_{ih}}{n_h}$$

$s_h^2$  = Variância da variável a pesquisar para o estrato, ou seja:  $s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}$ .

$S_x$  = Desvio padrão, ou seja:  $S_x = \sqrt{S_x^2}$

$CV\%$  = Coeficiente de variação, ou seja:  $CV\% = \frac{S_x}{\bar{x}_h} * 100\%$

$t$  = Nível de confiança para uma dada probabilidade, neste caso 95% de probabilidade.

### 2.3.1 Procedimento subsequente para cálculo do tamanho da amostra

Portanto, com as 22 parcelas levantadas de forma arbitrária através de uma amostragem aleatória simples com o objectivo de obter uma amostra que seja representativa para a população estudada. A variável de interesse escolhida foi o volume por hectare.

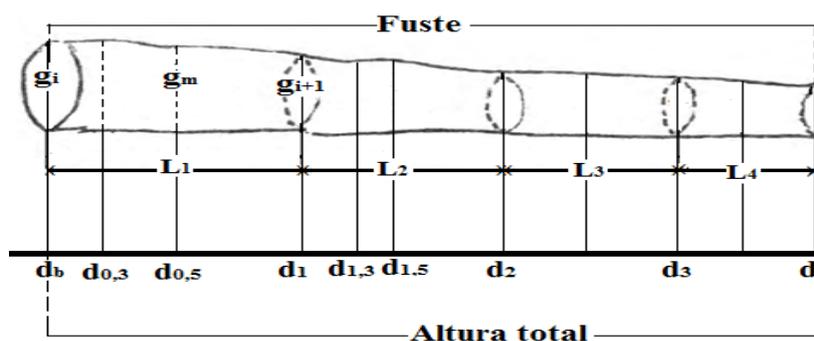
**Tabela 1.** Principais valores estatísticos para o cálculo do tamanho da amostra

$\bar{x}$	Média aritmética ou volume médio	0,2388 (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
$S_x^2$	Variância	0,0053 (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
$S_x$	Desvio Padrão	±0,0725 (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
$CV\%$	Coeficiente de Variação	30,38
$LE\%$	Limite de erro proposto	±10%
$E$	Erro de confiança amostral	2.38%

Aplicou-se a amostragem aleatória simples, tendo em consideração que a mancha florestal de Miombo da localidade da Lomanda é muito variável quanto ao volume, que foi a variável de interesse escolhida para o cálculo do tamanho da amostra.

### 2.4. Colecta de dados de árvores derrubadas

Foram medidos os diâmetros de diferentes secções da longitude de árvores derrubadas, utilizando 52 árvores para o cálculo dos factores e quocientes de forma e para ajustar equações de perfil do fuste. A variável diâmetro foi medida na base do fuste das árvores a 0,30 m, a 0,50 m, a 1,30 m, a 1.50 m e desta ao extremo a cada 0,50 m. Além disso também foi medido o diâmetro à metade do comprimento total do ramo. Na figura 3 é apresentado um esquema mostrando o procedimento de medição.



**Figura 3.** Esquema do procedimento de medição dos diâmetros na árvore derrubada (Fonte: Aldana, 2010)

Para a **cubicação** foram usadas as fórmulas do SMALIAN, HUBER, NEWTON.

## 2.5 Processamento Estatístico

Para o processamento matemático-estatístico dos resultados utilizou-se o programa estadístico SPSS versão 23,0 mediante a qual se realizou uma análise de variância simples para determinar se existem diferenças significativas entre os métodos de cubicagem de Huber, Smalian e Newton respectivamente.

Para a selecção de modelo de maior ajuste, obteve-se primeiramente uma matriz de correlação de variabilidade para o volume do fuste e se identificaram como variáveis independentes a área basal ( $g$ ), longitude ( $L$ ), diâmetro médio de cada secção e o diâmetro em cada um dos extremos da secção ( $d_{icc}$ ).

## 2.6. Desenho amostral

Para definir as árvores-tipo, levantaram-se 22 parcelas circulares de 500 m<sup>2</sup> onde permitiu identificar 52 árvores tipos de *Julbernardia paniculata* Benth (Onduco), os que foram apanhados e medidos cada 0,50 metros de longitude do fuste total e cubicagem posteriormente.

Tudo isso permitiu obter uma base de dados de variáveis dendrométricas tais, como: diâmetro a 1.30 m do solo ( $d_{1,30}$ ), diâmetro a metade da altura total ( $d_{1/2ht}$ ), altura total ( $h_t$ ), altura do fuste ( $h_f$ ), diâmetro em cada uma das secções.

Para avaliar o modelo de maior ajuste com vista a estimar o volume do fuste, testou-se 4 modelos de regressão: modelos logarítmicos, exponenciais, linear e potencial. Em todos os casos um mesmo modelo foi ensaiado com diferentes variáveis independentes.

### 3. Resultados e discussão.

#### 3.1. Determinação do volume pelos diferentes métodos de cubicagem (Smalian, Huber e Newton).

**Tabela 2.** Cálculo do volume médio pelos métodos de Smalian, Huber, Newton.

CÁLCULO DO VOLUME DAS ÁRVORES DERRUBADAS										
	Diâmetros (m)			Área Basal (m <sup>2</sup> )			L	Volume		
# árvores 52	d <sub>b</sub>	d <sub>1,3</sub>	d <sub>1/2h</sub>	g <sub>i+1</sub>	g <sub>m</sub>	g <sub>i</sub>		Huber	Smalian	Newton
<b>Media</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	<b>0,06</b>	<b>0,0110</b>	<b>0,0077</b>	<b>0,003</b>	<b>6,69</b>	<b>0,0606</b>	<b>0,0568</b>	<b>0,0593</b>

Como se pode observar a tabela 2 onde se mostra os valores médios do volume estimado pelos três métodos de cubicagem do fuste nas árvores derrubadas da espécie *Julbernardia paniculata* Benth (ONDUCO) demonstrando que o maior volume se obteve pelo método de Huber, significa que é o método mais preciso para determinar o volume desta espécie sob a qualidade de sítio na área de estudo. Os métodos do Smalian e Newton obtiveram volumes iguais com menor precisão já que os mesmos têm em conta o diâmetro da base, diâmetro no extremo mais fino e do meio de tora.

Andrade *et al.* (2006) verificaram que quando a árvore é dividida em cinco secções, a fórmula de Newton foi mais ajustada do que as de Huber e Smalian, apresentando valores menos discrepantes em relação ao volume real do fuste obtido pelo método gráfico, sendo a melhor fórmula para cálculo do volume, mas quando dividido em dez secções, a fórmula de Huber mostra-se melhor que as demais.

Do ponto de vista prático, pode-se constatar que o método de Huber é o mais rápido para mensuração, pois necessita de apenas uma medição no meio da tora, aumentando desta forma o rendimento do trabalho e reduzindo os custos com a medição, porém, se as toras estiverem empilhadas, este método se torna mais trabalhoso e muitas vezes impraticável, nestes casos, o método mais indicado seria Smalian com medições apenas nas extremidades das toras (Gouveia *et al.*, 2015).

Os trabalhos apresentados Machado *et al.* (2008) e Patterson *et al.* (1993) recomendaram o uso da fórmula de Huber pela facilidade de sua aplicação sem perdas de precisão.



Na figura 7 faz-se uma comparação dos diferentes métodos de cubicação de árvores derrubadas (Huber, Smalian, Newton), analisando como variável dependente o volume e variável independente a área basal em diferentes métodos de cubicagem. Observa-se que o método de Huber foi o que melhor calculou o volume em metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

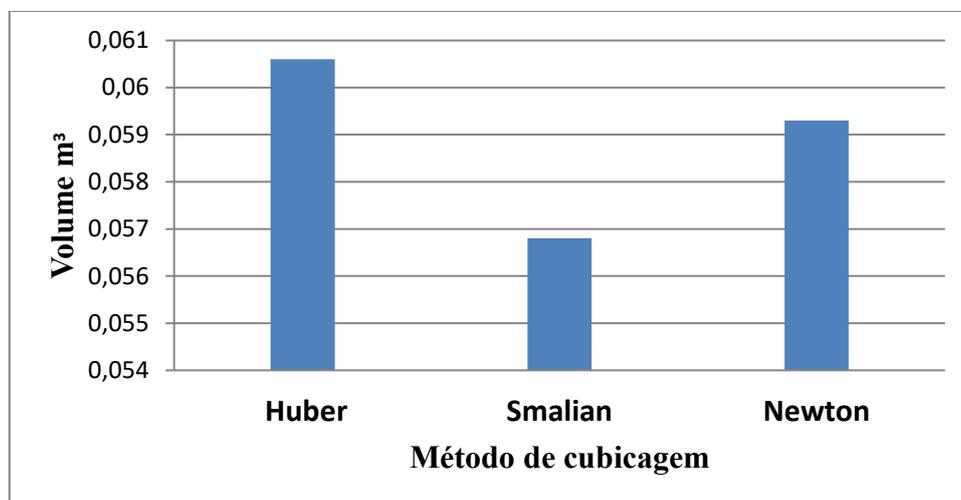


Figura 7. Volume médio para a espécie *Julbernardia paniculata* Benth.

Conceição *et al.* (2004), compararam os volumes dos fustes de *Pinus oocarpa* obtidos pelos métodos de Smalian, factor de forma, equações de volume e função de afilamento. Concluíram que não existe diferença significativa entre estes métodos e Newton em estimativa de volume para o povoamento estudado.

**Tabela 3.** Análise de variação para o cálculo de volume pelos métodos do Smalian, Newton e Huber (prova de ANOVA).

Fonte	Somas de cuadrado	GI quadrado Médio	Coefficiente-F	P-Valor
Entre grupos	0,000311763	20,00015588	0,20	0,8191
Intra grupos	0,0701309	900,0007792		
Total (Corr.)	0,0704427	92		

A tabela 3 mostra a ANOVA e a mesma decompõe a variação de Volume em dois componentes: um componente entre grupos e um componente dentro dos grupos. O coeficiente-F, que neste caso é igual a 0,200045, é o quociente da estimativa entre grupos e a estimativa dentro dos grupos. Visto que o p-valor do teste F é superior a 0,05, não há diferença estatisticamente significativa entre os volumes médios de um método de cubicagem e outro para 95,0%.

Conforme a Tabela 3, não houve diferença significativa entre os métodos de cubicagem para a obtenção do volume das árvores, portanto, do ponto de vista estatístico poderia se optar por

qualquer um dos métodos testados. Entretanto, no trabalho realizado por Arce *et al.* (2006) com a espécie *Mimosa scabrella* B., onde foram testados os métodos de cubicagem de Smalian, Huber, Newton e Centróide para comprimentos de toras diferentes, os autores encontraram diferença estatística significativa com relação ao Xilômetro. Dessa forma, percebe-se que a diferença na determinação do volume de toras pode ser afectada pela forma geométrica atribuída a tora da espécie ou ainda pelo método de cubicagem (Costa *et al.*, 2014).

Batista (2011) concluiu que a diferença entre as médias dos volumes calculados com as fórmulas de Huber e Smalian relativos a um mesmo grupo de troncos, não diferem significativamente, sendo, portanto, o uso de um ou de outro método ligado somente ao hábito do mensurador. Chang *et al.* (2011) ao avaliar a acurácia do método de Pressler na estimativa do volume, verificou similaridade entre os volumes determinados a partir do método de cubicagem tradicional de Smalian e o método de Pressler.

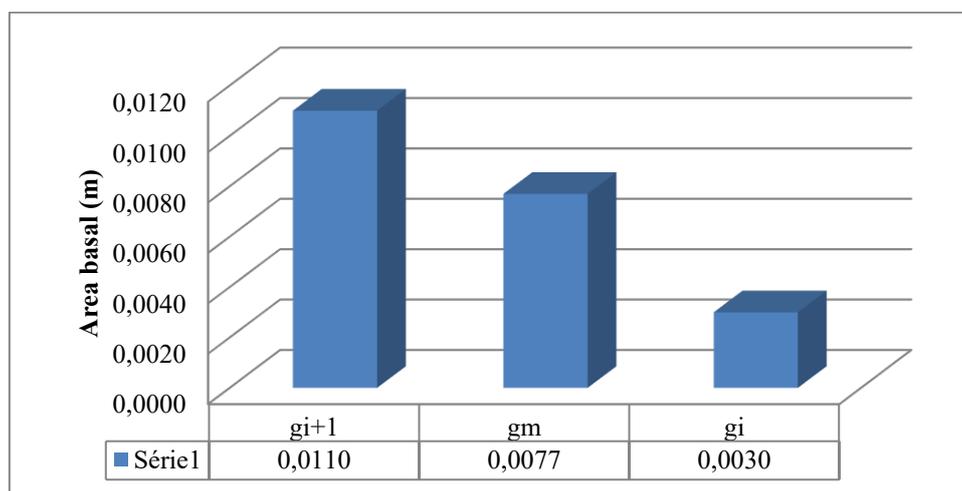


Figura 8. Área basal média para a espécie *Julbernardia paniculata* Benth.

Como se pode observar na figura 8 a área basal do extremo mais grosso da tora (*gi+1*) foi a que maior incidência teve no incremento do volume pelos métodos do Newton e Smalian.

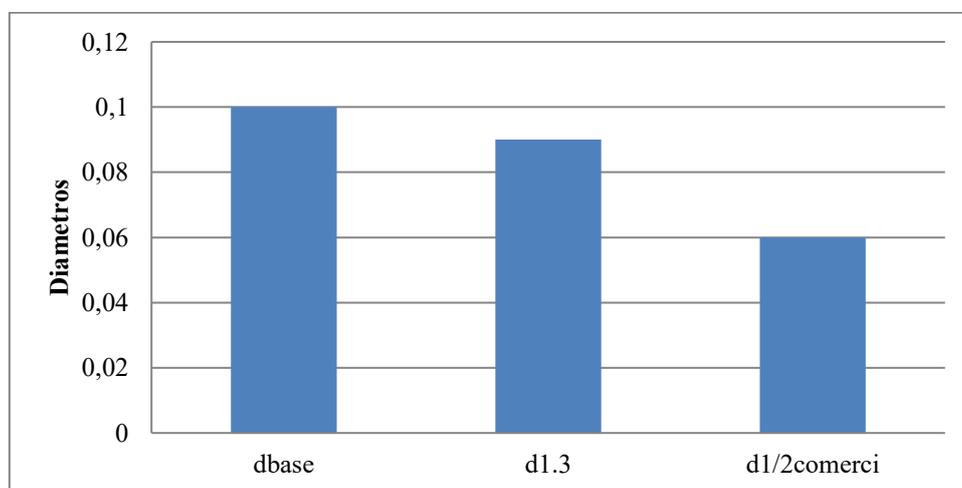


Figura 9. Diâmetro médio para a espécie *Julbernardia paniculata* Benth.



A figura 9 representa o diâmetro médio para cada uma das secções do fuste observando-se que para a espécie *Julbernardia paniculata* Benth (ONDUCO) nas condições do sítio da área de estudo apresentou maior diâmetro médio na base seguido pelo diâmetro na metade da tora.

### 3.2. Estimativa do volume pelo método de cubicação (Smalian)

Como se pode apreciar na figura 10. A análise de regressão realizada determinou que o modelo de melhor ajuste é o potencial com um valor crítico significativo de 0,001 e um coeficiente de correlação de 0,98.

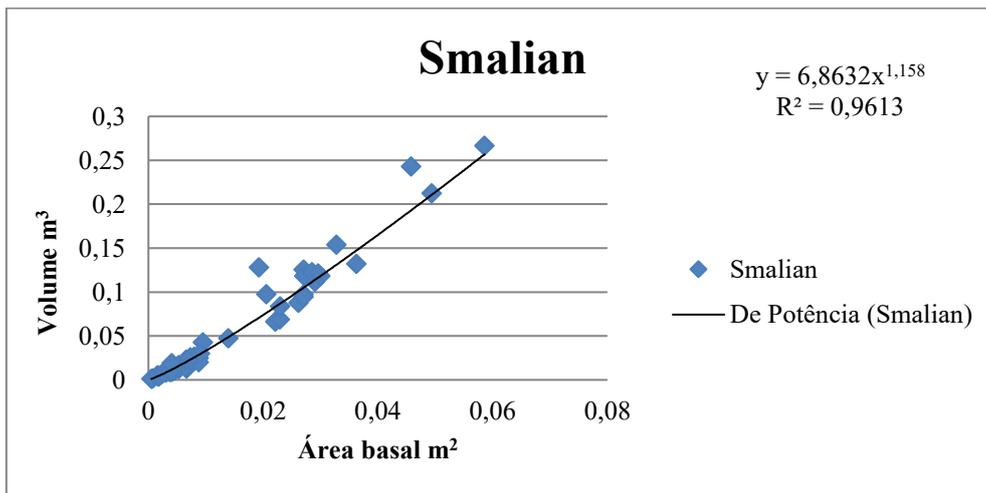
Na figura 10 observa-se que a relação entre as variáveis é potência com tendência crescente muito forte, com o coeficiente de determinação 0,97 como se expressa na tabela 3 onde se mostra a estimativa curvilínea para estimar o modelo de melhor ajuste para o volume pelo Smalian. Este coeficiente explica que a tendência da variabilidade é de 97 % entre as variáveis; quer dizer, o volume varia 6.86 % (pendente da reta) por cada unidade de variação do area basal (g). Dado que a probabilidade calculada na prova do ANOVA é inferior à significação aos 5%, pode-se afirmar que existe relação estatística significativa entre as variáveis em estudo.

Do ponto de vista qualitativo este comportamento dos valores constitui um bom indicador desde o ponto de vista qualitativo este comportamento dos valores constitui um bom indicador para descrever as condições biológicas, relacionado com o diâmetro da base, diâmetro do extremo mais fino e a longitude.

Na tabela 4 é apresentada a equação funcional resultante para cada modelo em uma área de amostragem que constituem um modelo empírico que permitem aos investigadores e produtores prever o volume de madeira em um ciclo produtivo. Se destacam em todos os modelos que a relação entre as variáveis do volume por Smalian e área basal é alta com coeficiente de determinação entre 0,71 a 0,97. O nível de probabilidade inferior ao prefixado na investigação e um engano padrão de estimativa relativamente baixa; todos os coeficientes de regressão resultaram altamente significativos, demonstrou-se que as variáveis independentes descrevem adequadamente o processo pelo que se considera como o de melhor ajuste para determinar o volume por Smalian o Potencial com um coeficiente de determinação de 0.97 por encima de outros modelos testados.

**Tabela 4.** Estimação curvilínea para determinar o modelo que mais se ajusta para o volume pelo método de Smalian.

Variável independente: Área basal (g) m <sup>2</sup>								
Dependente Volume por Smalian (m <sup>3</sup> )	Modelo	de	de	F	Error estándar	da	da	p-valor ANOVA
		Coefficiente	Coefficiente			Ordenada da	Pendente da	
							(bx)	
								Aldana, P. E. (2010) Medición Foresta
								Aldana, P. E. (2008). Medición Flores
								36-99.
						Y= a +bx		
	Lineal	0.97	0.96	1105.25	0.014	0.9567	4,5141x	0,001
	Logarítmica	0.84	0.71	122.232	0.035	0.7097	0,0476ln	0,001
	Potencial	0.988	0.987	2139.863	0.025	6.8632x <sup>1.158</sup>		0,001
	Exponencial	0.889	0.880	200.862	0.066	0.0078e <sup>85.534x</sup>		0,001



**Figura 10.** Análise de regressão potencial entre as variáveis: volume pelo Smalian e Área basal. Fonte: Elaboração própria

Como se pode apreciar na figura 10 a análise de regressão realizada determinou que o modelo de melhor ajuste é o potencial com um valor crítico significativo de 0,001 e um coeficiente de determinação de 0.97.

Este resultado concorda com Encinas *et al.* (2009), encontraram valores de ( $R^2$  aj) para área do povoamento *sensu stricto* variando de 83 a 99% em ajuste para 18 equações volumétricas e um Syx entre 10,22 a 25,68%. Felfili *et al.* (2006) afirmam que erros entre 2 e 12 % são considerados aceitáveis no ajuste de dados de diâmetros e altura dos indivíduos arbóreos para estimativa de volume. Porém com os ajustes deste trabalho nota-se que os melhores modelos apresentaram erros entre 2 a 6 %, corroborando aos valores encontrados por Encinas *et al.* (2009).

### **3.3. Estimativa do volume pelo método de cubicagem (Newton) na unidade experimental.**

Nas figuras 11 e 12 observa-se que a relação entre as variáveis é linear e potencial com tendência crescente muito forte, com o coeficiente de determinação 0,93 para ambos os modelos como se expressa na tabela 6 onde se mostra a estimativa curvilínea para estimar o modelo de melhor ajuste para o volume por Newton. Este coeficiente explica que a tendência da variabilidade é de 93 % entre as variáveis; quer dizer, o volume varia 3.0741 m<sup>3</sup> (pendente da recta) por cada unidade de variação da área basal (g) quer dizer 0.02 m<sup>2</sup>. Dado que a probabilidade calculada na prova do ANOVA é inferior à significação aos 5%, pode-se afirmar que existe relação estatística significativa entre as variáveis em estudo.

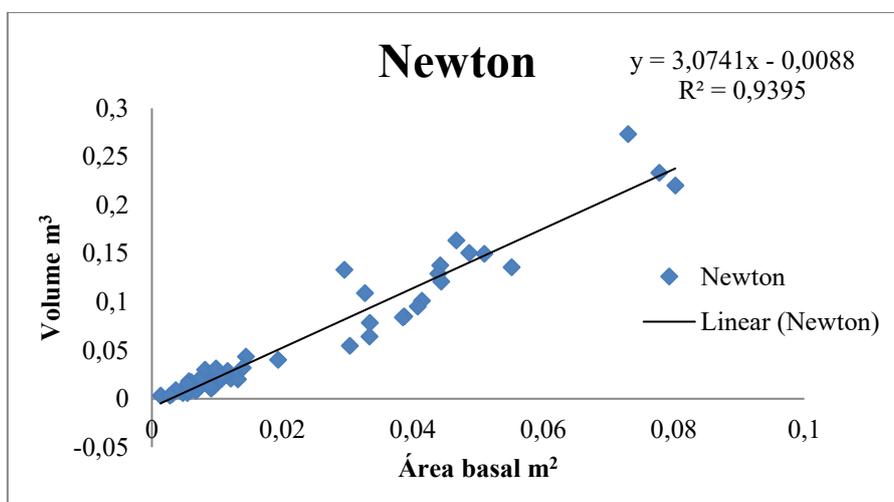
Esta ligeira superioridade do modelo foi vista em trabalhos realizados por Miguel (2009), ao ajustar modelos de simples entrada para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás (Brasil).

Conforme visto na literatura o presente trabalho teve resultados semelhantes aos obtidos por Corte *et al.* (2011), onde os modelos Logarítmico e Exponencial obtiveram o coeficiente de determinação ajustado inferior aos outros modelos. Embora o modelo Linear e potência apresentaram maior coeficiente de determinação ajustado, observa-se que juntamente com o modelo Linear e Potência, a sua forma normal apresentaram um erro padrão da estimativa (Syx%) ligeiramente superior aos demais modelos, resultados que foram semelhantes aos obtidos por Miguel (2009). Já os modelos de Stoate e Meyer mostraram uma semelhança tanto no erro padrão da estimativa (Syx%) quanto no coeficiente de determinação ajustado. No entanto o modelo de Takata apresentou uma superioridade aos demais modelos tendo o menor erro padrão da estimativa (Syx%), mas apresentou um coeficiente de

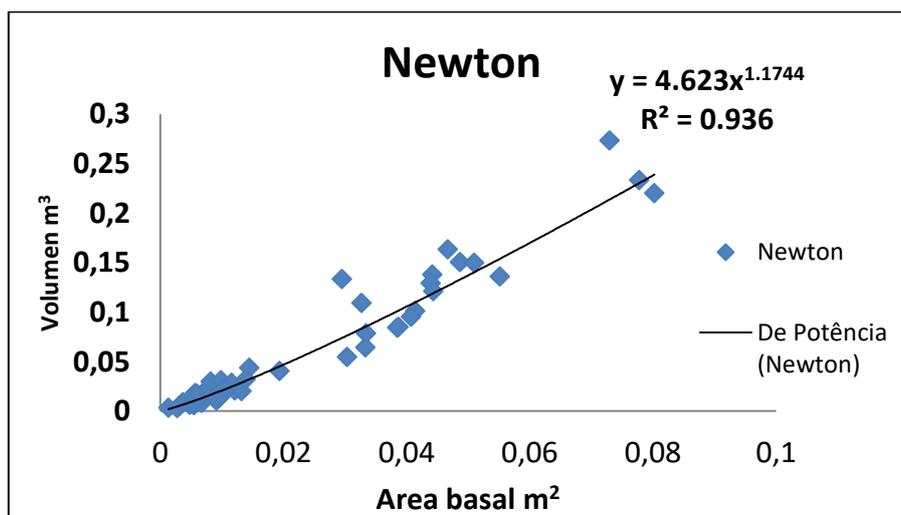
determinação ligeiramente inferior. As Figura 11, 12 e 13 mostram a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total, para os quatro modelos ajustados, como critério decisivo, na escolha do melhor ajuste.

Da análise das regressões deduz-se que é possível estimar o volume do fuste com alto grau de exatidão ( $R^2$  em torno de 0,98). Essa situação é explicável uma vez que as secções dos fustes apresentam normalmente formas geométricas próximas ao cilindro.

Deve-se levar em conta que as diferenças dependem em grande parte da classe diamétrica do fuste. Quanto maior forem os diâmetros tanto maior serão as diferenças absolutas correspondentes.



**Figura 11.** Análise de regressão entre as variáveis: volume pelo Newton e Área basal. Fonte: Elaboração própria.



**Figura 12.** Análise de regressão entre as variáveis: volume pelo Newton e área basal. Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 7 é apresentada a equação funcional resultante para cada modelo em área da mostragem que se constituem, um modelo empírico que permitem aos investigadores e



produtores predizer o volume de madeira. Destacam-se em todos os modelos que a relação entre o variável volume por Smalian e área basal é alta com coeficiente de determinação entre 0,76 a 0,93. O nível de probabilidade inferior ao prefixado na investigação e um erro padrão de estimativa relativamente baixo; todos os coeficientes de regressão resultaram altamente significativos, demonstrou-se que as variáveis independentes descrevem adequadamente, razão pela qual se considera como modelo de melhor ajuste para determinar o volume por hectare pelo método de Newton (Potencial e Linear), com um coeficiente de determinação de 0,93 acima de outros modelos testados.

**Tabela 7.** Estimativa curvilínea para determinar o modelo que mais se ajusta para o volume pelo método Newton.

Variável independente: Area basal da base (g) m <sup>2</sup>								
Dependente Volume por Newton (m <sup>3</sup> )	Modelo	de	de	F	Error estándar	da	da	p-valor ANOVA
		Coeficiente de correlación (r)	Coeficiente de determinación (R <sup>2</sup> )			Ordenada origen (a)	Pendiente recta (bx)	
	<b>Y= a +bx</b>							
	<b>Lineal</b>	<b>0.96</b>	<b>0.93</b>	776.483	0.016	0.9395	3,0741x	0,001
	Logarítmica	0.87	0.76	159.924	0.033	0.7618	0,0583ln	0,001
<b>Potencial</b>	0.96	<b>0.93</b>	737.164	0.309	4.623x <sup>1.1744</sup>		0,001	
Exponencial	0.90	0.81	223.843	0.521	0.0097e <sup>52.136x</sup>		0,001	

### 3.4 Estimativa do volume pelo método de cubicação de Huber.

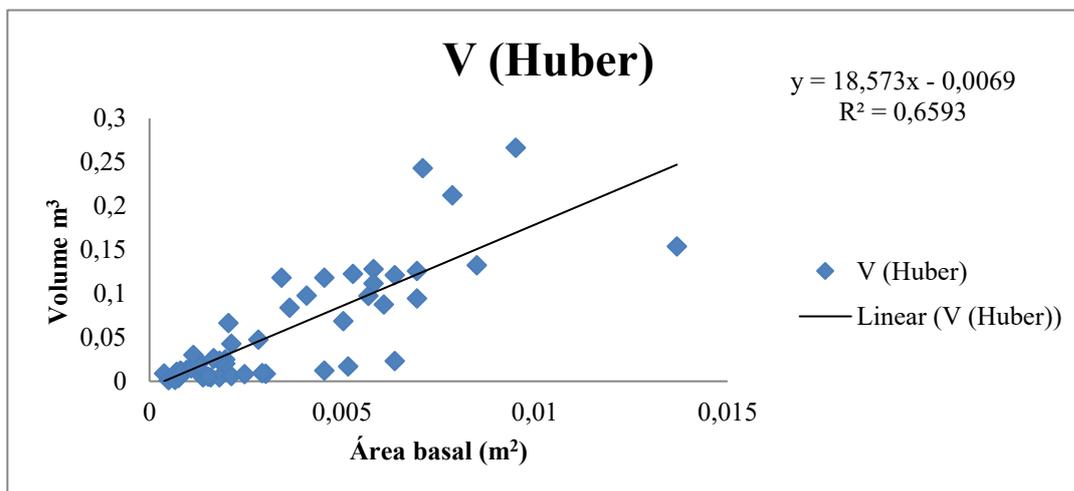
Como se pode apreciar na figura 13, a análise de regressão realizada determinou que o modelo de melhor ajuste é o Linear com um valor crítico significativo de 0,001 e um coeficiente de correlação de 0.81 para o modelo.

Nesta figura observa-se que a relação entre as variáveis é linear com tendência crescente não muito forte, com o coeficiente de determinação 0,65 para o modelo; o que indica que a estimativa do volume pelo método do Huber não é a melhor método tendo em conta que para que uma estimativa se considere boa, o coeficiente de determinação tem que estar acima de 0.75.

**Tabela 8.** Estimativa curvilínea para determinar o modelo que mais se ajusta para o volume pelo método de Huber

Dependente Volume por Huber (m <sup>3</sup> )	Modelo	Coeficiente de correlação (r)	Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> )	F	Error estándar	Ordenada da origen	Pendente da recta (bx)	p-valor ANOVA
						Y= a +bx		
	<b>Lineal</b>	<b>0.81</b>	<b>0.65</b>	96.769	0.038		18,573x	0,001
	Logarítmica	0.75	0.57	67.187	0.043		0,0558ln	0,001
	Potencial	0.79	0.63	87.434	0.819	41.282x <sup>1.2174</sup>		0,001
	Exponencial	0.75	0.57	67.782	0.885	0.0078e <sup>359.39x</sup>		0,001

Na tabela 8 apresenta-se a estimativa curvilínea do modelo de melhor ajuste para o volume pelo método de Huber. Este coeficiente explica que a tendência da variabilidade é de 81 % entre as variáveis; quer dizer, o volume varia 0.0069 m<sup>3</sup> (pendente da recta) por cada unidade de variação da área basal (g) quer dizer 0.005 m<sup>2</sup>. Dado que a probabilidade calculada na prova do ANOVA é inferior à significação aos 5%, pode-se afirmar que existe relação estatística significativa entre as variáveis em estudo.



**Figura 13.** Análise de regressão entre as variáveis: volume pelo Huber e área basal. Fonte: Elaboração própria.

Na tabela 8 é apresentada a equação funcional resultante para cada modelo na área de amostragem que constituem um modelo empírico que permite aos investigadores e produtores prever o volume de madeira. Destacam-se em todos os modelos que a relação entre o variável volume pelo método de Huber e área basal é baixa, com coeficiente de determinação entre 0,57 a 0,65 estando por debaixo de 0.75. O nível de probabilidade inferior ao prefixado na investigação e um erro padrão da estimativa relativamente baixo; todos os coeficientes de regressão resultaram com uma baixa significação, demonstrou-se que a variável independente (área basal) não descreve adequadamente o processo não obstante se considera como modelo de melhor ajuste para determinar o volume pelo método de Huber é o Linear com um coeficiente de determinação de 0.65, acima de outros modelos testados.

Paula *et al.* (2011) destacam que a análise gráfica dos resíduos é bastante relevante, pois permite a identificação de problemas de heterocedasticidade mesmo que o modelo demonstre ser preciso. Além disso, os gráficos de resíduos permitem detectar tendências, sejam elas positivas ou negativas resultantes do uso da equação.

A utilidade das funções de regressão para a estimativa e, conseqüentemente para a pré-determinação paramétrica poderá ser comparável entre os valores reais e estimados pela regressão. No presente estudo os valores reais foram obtidos directamente pelas medições e pelo cálculo do volume e, o foi volume estimado pela função de regressão.

Para o cálculo do volume dos fustes foi necessário analisar somente uma variável combinada (diâmetro e Longitude) por ter proporcionado uma ponderação aceitável através de área basal no modelo.

Os resultados confirmam as valorizações realizadas por Zöhner & Haller (1973) citados por Lores (2012), que asseguram que as tabelas de volume em função do diâmetro e a longitude produzem estimações mais exactas.

Assim se define como as variáveis predictoras dos modelos, aquelas fortemente correlacionadas com o volume e cuja obtenção seja da forma mais prática de obter em correspondência com os reportado na literatura por Peñalver (1991) para o *Eucalyptus sp*, para o *Pinus tropicalis* por Padilla (1999) e para o *Hibiscus elatus* por Zaldívar (2001).

## Conclusões

- Os modelos de melhor ajuste para a equação de volume de fuste de Smalian (potência), Newton (linear e potência) e Huber (linear), em geral, apresentaram melhores ajustes que os demais modelos testados.
- Comparando os métodos de cubicagem para espécie *Julbernardia paniculata* Benth na localidade de Lomanda constatou-se que os melhores métodos foram os de Newton e Huber.

## Referências Bibliográfica

- Aldana, P. E. (2010) *Medición Forestal*. Editorial: Félix Varela. La Habana. p. 265.
- Aldana, P. E. (2008). *Medición Florestal: Texto para la Carrera Ingeniería Florestal*. p. 36-99.
- Andrade, C.M., Thomas, C., Schneider, P.R. & Finger, C.A.G. (2006). *Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco*. *Ciência Florestal*.
- Arce, J.E., Queiroz, D., Machado, S. A., Filho, A.f., Koehler, H.S. (2006). *Avaliação e validação de funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos na região metropolitana de Curitiba/PR*. *Floresta*, Curitiba, PR, 36 (2), p.183-199.
- Arce, J. E., Queiroz, D., Machado, S. A., Filho, A. F. & Koehler, H. S. (2008). *Identidade de modelos em funções de afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR*. *Floresta*, Curitiba, 38 (2), p. 339-349. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v38i2.11629>
- Batista, J. L. F. (2011). *Mensuração de árvores: uma introdução à dendrometria*. ESALQ/USP, 205f.
- Binoti, D. H. B; Binoti, M. L. M. S.; Leite, H. G. (2014). *Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores*. *Ciência da Madeira*, Pelotas, 5 (1), p. 58-67, <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830>.
- Baldwin, V. C., Leduc, D. J., Matney, T. G. & Belli, K. L. (2001). *Predicting diameter distributions of longleaf pine plantations: a comparison between artificial neural networks and other accepted methodologies*. Research Paper SRS – 25, Southern Research Station, USA Department of Agriculture, Forest Service, Disponível em <[http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp\\_srs025.pdf](http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/rp/rp_srs025.pdf)> Acesso em 11 de Agosto de 2024.



- Baptista, N. (2014). *Literature study of the woody Miombo vegetation And forest management in southeastern Angola With focus on data from the colonial era*. June. Vera De Cauwer
- Burkhardt, H. E. & Max, T. A. (1976). *Segmented polynomial regression applied to taper equations*. Forest Science, 22 (3), p.283-289.
- Campos, O.J. (2014). *Cubagem de árvores*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Matemática) – Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. p. 87.
- Cunha, U. S. D. (2004). *Dendrometria e inventário florestal: série técnica adaptada para atender ao módulo de Dendrometria e inventário no curso técnico em manejo florestal*. Manaus: Escola Agrotécnica Federal de Manaus. p. 61.
- Conceição, M. B., Machado, S. A., Urbano, E., Filho, A.F. & Figueiredo, D. J. (2004). *Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbastes em plantações de Pinus oocarpa Schiede*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, (48), p.41-64,
- Costa, G. R., Miranda, D. L. C. & Paro, B. A. V. (2014). *Estimativa do Volume em Árvores de Hymenaea coubaril L. e Trattinnickia burserifolia Mart. no Norte de Mato Grosso*. Nativa, 2, p.119-123.
- Chang, M., Oliveira, E. B., Nakajima, N. Y. & Haliski, M. (2011). *Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal*, Embrapa Florestas, Documentos. p. 39,
- Corte, A. P. D., Silva, F. & Sanquetta, C. R. (2011). *Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de Pinus caribaea var. hondurensis na região do Triângulo Mineiro*. Scientia Forestalis, Piracicaba, 39 (91), p. 367-376.
- Diniz, A. C. (2006). *Características mesológicas de Angola*. 2ª Ed. Lisboa: Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento. ISBN 972-8975-02-3.
- Encinas, J.I., Santana, O.A., Paula, J.E. & Imana, C. (2009). *Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás*. Floresta (UFPR. Impresso), 39, p.107-116.
- FAO. (2007). *Female entrepreneurs in the NWFP world: shea butter sales change African women's plight*. Non-Wood News, 15: 18 (disponível em [www.fao.org/docrep/010/a1189e/a1189e00.htm](http://www.fao.org/docrep/010/a1189e/a1189e00.htm)).

- Felfili, J. M., Rezende, A.V., Vale, A.T., Sanquetta, C.R. & Filho, A.F. (2006). *Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF*. Scientia Forestalis, Piracicaba, (71), p. 65-76.
- Filho, A.F. & Scolforo, J.R. (1993). *Mensuração florestal, Módulo 2: volumetria*. Lavras: ESAL/FAEPE, p. 126.
- Gouveia, D. M., Miranda, D. L. C. & Junior, V.B. (2015). *Fator de forma e equações de volume para estimativa volumétrica de árvores em plantio de Eucalyptus urograndis*. Scientia Plena, Aracaju, 11 (03).
- Hossi, F. E. (2014). *Determinação da capacidade produtiva de uma floresta de Miombo da Estação Florestal da Chianga, Província do Huambo*. Trabalho de Fim de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias, junto ao Departamento de Engenharia Florestal, para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Florestal. 74 p.
- Lores, Y. (2012). *Tablas dendrométricas y dasométricas de Calophyllum antillanum Britton, Carapa guianensis Aubl. y Andira inermis Sw. en bosques pluvisilvas de montaña de Baracoa, provincia Guantánamo*. 99 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 79p.
- Machado, S. A., et al. (2008). *Modelagem volumétrica para bragatinga (Mimosa scabrella) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba*. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, (56), p. 17-29.
- Malengue, A. S. (2014). *Identificação e caracterização de algumas espécies do Miombo, na reserva florestal J. Brito Teixeira, Chianga Província de Huambo*. Agosto Científico 2014, Faculdade de Ciências Agrária.
- Mafuca, S. B. (2013). *Identificação do potencial florestal na reserva Florestal de Zomba*. Chimoio: IAC-DF, 23p.
- Miapia, J. M. (2014) *Caracterización de los sistemas agroforestales de los pequeños campesinos de la comuna de calenga, municipio de Caála, provincia de Huambo, república de Angola*. Presentado en SINFOR-2014, Pinar del Río, CUBA.
- Miguel, E. P. (2009). *Avaliação biométrica e prognose da produção de Eucalyptus urophylla (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 161.



- Ndjamba, A. K. I; Pérez, Y., Cárdenas, V., Luamba, C.; Malengue, A. (2021)- *Modelos de Regressão para Estimativa do Volume de Fuste e Ramos da Espécie Brachystegia gossweileri Hutch. & Burt Davy, na Floresta do Miombo da Comuna do Cuima (Huambo-Angola)*. Revista Silva Lusitana, 29(1): 53-71, 2021 © INIAV, Oeiras, Portugal.
- Netto, S. P. (1980). *Estimativas volumétricas de árvores individuais*. Floresta, Curitiba, 11(2), p. 63-73.
- Padilla, G., (1999). *Tablas dasométricas para plantaciones de Pinus tropicalis Morelet*. 90 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río. 49p.
- Paula F.N.O., Soares C.P.B. & Souza A.L. (2011). *Dendrometria e inventário florestal*. Viçosa: UFV, 2. ed, p. 272.
- Peñalver, A., (1991). *Estudio de crecimiento y rendimiento de las plantaciones de Eucalyptus sp de la provincia de Pinar del Río*. 101 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). UPR. “Hermanos Saiz Montes de Oca”.
- Patterson, D. W; H. V. Wiant, Jr. And G. B. Wood. (1993): *Comparison of the centroid method and taper systems for estimating volumes*. North. J. Appl.For.10(1): 8-9.
- Sanfilippo M., (2014) *Trinta árvores do Miombo Angolano*. Guia de campo para a identificação. GOSPE Firenze. pp 40-42.
- Sardinha, R. M. A. (2008). *Estado, dinâmica e instrumentos de política para o desenvolvimento dos recursos lenhosos no município da Ecuinha, Angola*. (PROJECTO CE – FOOD/2006/130444). IMVF - Instituto Marquês de Valle Flôr.
- Wyk, B. V. & Wyk, P. V. (2007). *Fied guide to trees of Southern Africa*. Struik. Pretória.
- Zaldívar, A., (2001). *Tablas dasométricas para plantaciones de Hibiscus elatus en la provincia de pinar del Río*. 100 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales). Universidad de Pinar del Río.