



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ELDER FRANCIS TADEU RODRIGUES

**SORTIMENTO DE UM POVOAMENTO DE EUCALIPTO EM REGIME DE
TALHADIA, PARA PRODUÇÃO DE MOIRÕES, LOCALIZADO EM
SEROPÉDICA, RJ.**

Prof. HUGO BARBOSA AMORIM

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Novembro-2012



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ELDER FRANCIS TADEU RODRIGUES

**SORTIMENTO DE UM POVOAMENTO DE EUCALIPTO EM REGIME DE
TALHADIA, PARA PRODUÇÃO DE MOIRÕES, LOCALIZADO EM
SEROPÉDICA, RJ.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. HUGO BARBOSA AMORIM

Orientador

SEROPÉDICA, RJ

Novembro-2012

**SORTIMENTO DE UM POVOAMENTO DE EUCALIPTO EM REGIME DE
TALHADIA, PARA PRODUÇÃO DE MOIRÕES, LOCALIZADO EM
SEROPÉDICA, RJ.**

COMISSÃO EXAMINADORA

Monografia aprovada em 14/11/2012

Prof. Hugo Barbosa Amorim
UFRRJ/IF/DS
Orientador

Prof. Dr. Tokitika Morokawa
UFRRJ/IF/DS

Prof. Dr. Francisco de Barros Cavalcanti
UFRRJ/IF/DS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Ezelaine e meu pai Edson.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a DEUS, que sempre olhou por mim e nunca me abandonou.

Sou muito, muito grato mesmo aos meus pais, pelo apoio, pela paciência, por sempre acreditarem em meu potencial, amo vocês!!!!!!!

Sou grato aos meus irmãos Ederson, Edilaine, Edinho pelo amor, pela alegria de tê-los como irmãos, sou muito orgulhoso da família maravilhosa que tenho!!!!

Sou grato a minha namorada Ellen, por 8 anos de dedicação, no qual muito aprendi e evolui como pessoa e como namorado.

Agradeço infinitamente aos meus tios Frank e Adriano que confiaram no meu potencial e literalmente investiram em mim, me proporcionando suporte durante todo o tempo que estive como estudante.

Agradeço aos grandes amigos: Gabriel, Herbet, Daltinho, Irving, Rafa, Polyzinha, Doriz , grande amiga de sempre Danizinha, pelas muitas gargalhadas e inúmeros momentos felizes que passamos juntos.

Agradeço imensamente o meu orientador Hugão!!! Pela orientação, paciência e inúmeros ensinamentos que me proporcionou, e claro, pelas pizzas.

Agradeço a duas enormes figuras que estiveram sempre do meu lado nessa fase de monografia, grandes amigos Leandro Du Norte e Will, valeu pelas risadas nas madrugadas e mais madrugadas na salinha do Hugo. Chegou nossa hora valeu muito a pena!!!!!!!

Agradeço a galera do Sito Vinicius, Ana, Thales, Ramiro e Thiago, foi irado o tempo que eu morei nessa casa!!!!!!

Agradeço a Empresa Poranga, obrigado Clarice e Aline pela compressão nesse momento tão conturbado.

Agradeço muito a RURAL e ao Alojamento no qual foi muito importante ao moldar meu caráter como pessoa e como engenheiro florestal.

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo efetuar o sortimento de um povoamento de Eucalipto, em regime de talhadia, com a idade de 21 anos, tendo já sofrido dois cortes, sendo o último em meados de 2005. O produto a ser obtido a partir do sortimento são moirões com as seguintes bitolas e dimensões: 2,20 m de comprimento e 8 cm e 12 cm de diâmetro sem casca, nas extremidades. A partir dos dados de um inventário florestal realizado no povoamento, foram selecionadas 50 árvores para a cubagem rigorosa, base de dados para a determinação do modelo volumétrico e função de forma. O modelo volumétrico selecionado foi o de Schumacher & Hall e a função de forma ajustada para o sortimento foi a de Kozack, Munro & Smith. O resultado do sortimento mostrou que o povoamento inventariado pode fornecer moirões na razão de 15,92% do comprimento total das árvores e 22,86% do volume. A presente simulação mostrou que árvore com maior percentagem de aproveitamento como moirões, tem as seguintes dimensões: 12 cm de diâmetro e 16 m de altura.

ABSTRACT

The main objective of this study is to make the assortment of a eucalyptus sp stand, 21 years old, two clearcuts suffered. Being the last one mid 2005.the destiny would be fence posts with following dimensions: 2,2 m length 8cm and 12 cm diameter without bark. Using the data of a forest inventory made in the area, fifty trees were selected and rigorous scaled. Used as data basis for the determination of volumetric model and taper. The selected volumetric model is Schumacher &Hall and the adjusted taper for the assortment is Kozack, Munro & Smith. The results predicted that the stand can supply 15,92% of tree length, and, 22,86% of volume. The simulation also predicted that the highest percentage of use as fence post has the following dimensions 12 cm diameter 16m height.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	3
3.1 Cálculo do Volume Individual das Árvores.....	3
3.2 Função de Forma	3
3.3 Equações de Volume	4
4. MATERIAL E MÉTODOS	5
4.1 Localização e Características da Área de Estudo	5
4.2 Coleta dos Dados para o Sortimento.....	6
4.3 Seleção das Árvores para Compor a Amostra Destinada à Determinação da Equação Volumétrica e Função de sortimento	7
4.4 Coleta dos Dados no Campo.....	8
4.5 Cubagem Rigorosa das Árvores	9
4.6 Determinações da Equação Volumétrica	9
4.7 Determinação da Função de Forma	9
4.8 Calculo do Volume Individual das Árvores.....	10
4.9 Sortimento do Povoamento.....	10
5. RESULTADOS	11
5.1 Dados das Unidades Amostrais	11
5.2 Árvores Seleccionadas para Realização da Cubagem Rigorosa.....	12
5.3 Relação entre as Variáveis Dap, Ht e Volume das Árvores Amostra.....	13
5.4 Seleção da Equação Volumétrica	14
5.6 Avaliação do Modelo Seleccionado para Expressar a Forma	17
5.7 Sortimento do Povoamento.....	21
6. CONCLUSÕES.....	24
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Preço de Produtos - Mourão (Estaca para cerca) - Zona da Mata Mineira	2
Figura 2. Localização povoamento em estudo	6
Figura 3. Distribuição das unidades amostrais no povoamento.	7
Figura 4. Selção das árvores amostra a serem abatidas.....	8
Figura 5. Coleta dos dados da cubagem rigorosa.	8
Figura 6. Critérios do sortimento.....	11
Figura 7. Distribuição da frequência dos diâmetros em classes.....	12
Figura 8. Distribuição da frequência das alturas em classes.	12
Figura 9. Relação entre o Dap e a altura total.	13
Figura 10. Relação entre o Dap e a volume.....	14
Figura 11. Relação entre a altura total e o volume.	14
Figura 12. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 1.....	15
Figura 13. Distribuição dos resíduos na variável X2 do modelo 1.....	15
Figura 14. Distribuição dos resíduos na variável X3 do modelo 1.....	16
Figura 15. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 2.....	16
Figura 16. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 3.....	16
Figura 17. Distribuição dos resíduos na variável X2 do modelo 3.....	17
Figura 18. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 4.....	17
Figura 19. Relação entre variáveis x_1 e Y.	18
Figura 20. Relação entre as variáveis x_2 e Y.	18
Figura 21. Distribuição dos resíduos na variável X_1 da função de forma.	19
Figura 22. Distribuição dos resíduos na variável X_2 da função de forma.	19
Figura 23. Distribuição dos resíduos na variável X_1 da função de forma na 1° secção.	20
Figura 24. Distribuição dos resíduos na variável X_2 da função de forma na 1° secção.	21
Figura 25. Distribuição das toras em classes de diâmetro.	23
Figura 26. Distribuição das toras em classes de altura.....	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de equações volumétricas testados por Rolim <i>et al</i> ,(2006)	5
Tabela 3. Distribuição dos fustes da amostra em classes de diâmetro e altura.	13
Tabela 4. Estatísticas básicas dos modelos.....	15
Tabela 5. Resultados do sortimento nas unidades amostrais.....	21
Tabela 6. Percentagem de aproveitamento do sortimento.....	22

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o setor de florestas plantadas vem crescendo substancialmente em nosso país, gerando matéria prima para diversos produtos, e diminuindo assim a pressão sobre as florestas nativas. Neste contexto podemos enfatizar a relevância deste setor para a economia nacional e desenvolvimento do país. (ABRAF, 2012)

A implantação de povoamentos florestais equiâneos com espécies exóticas no Brasil tem se expandido substancialmente a partir da década de 70, devido aos incentivos fiscais para o reflorestamento, o plantio dessas espécies tornou-se alternativa viável para suprir a demanda de madeira. Dentre estas espécies cultivadas o Brasil se destaca por possuir as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto. (EMBRAPA, 2010)

Em 2011, a área de plantios de Eucalipto no Brasil totalizou 4.873.952 ha, representando crescimento de 2,5% (119.617 ha) frente ao ano de 2010. O principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de Papel e Celulose (ABRAF, 2012)

Não existem estatísticas que apontem o número de mourões de cerca utilizados no Brasil; contudo, se considerarmos que 65% do volume total de madeira tratada no País destinam-se à fabricação de mourões de eucalipto tratados, é possível estimar sua produção média anual na ordem de 40 milhões de unidades. (GERALDO, 2008).

Muitas empresas investem em medidas para melhorar a produção e aumentar os lucros, cabendo ao engenheiro florestal avaliar quais serão essas medidas.

Para isso a estimativa do volume produzido por estes povoamentos é fundamental para o manejo e comercialização dos mesmos.

A utilização de equações volumétricas em empresas do setor privado há muito tempo é prática usual. Em alguns casos são usadas funções de afilamento, adotando-se modelos polinomiais, como aqueles encontrados em Campos e Leite (2009).

Segundo Gomes e Garcia (1993), as equações para a determinação de volume sólido de essências florestais são de uso geral e indispensável na Silvicultura. Como todas elas são empíricas faz-se necessário ajustá-las com frequência para adaptá-las a diferentes espécies, idades, distribuição e regiões.

O procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura (MACHADO *et al.*, 2002).

Existe na literatura uma relação extensa de modelos que podem ser utilizados com essa finalidade, cabendo ao técnico selecionar o que melhor se adaptam ao povoamento que ele esta conduzindo e, dentre esses selecionar o de melhor desempenho.

Devido a grande diversidade de produtos que as florestas podem oferecer é possível, utilizando funções de forma, otimizar e quantificar os multiprodutos do povoamento, aumentando assim o valor econômico do mesmo. Através disso é possível valorar a floresta em pé, podendo assim planejar o melhor momento, e com base no mercado atual, o melhor produto a ser retirado deste povoamento. (ARCE, J. E, 2000)

Na engenharia florestal a seleção de um modelo que melhor se ajuste a forma das árvores de um determinado povoamento e o sortimento do mesmo, é procedimento usual e consagrado em suas diferentes fases: coleta dos dados, processamento, avaliação e seleção do

melhor modelo. A aplicação do modelo selecionado para a quantificação dos produtos oferecidos pelo povoamento constitui o principal motivo da presente monografia.

A Figura 1 mostra a evolução do preço do moirão na Zona da Mata Mineira, verificando-se que, nessa região, o preço desse produto (Eucalipto tratado com 7 a 10 cm de diâmetro e 2,20 m de comprimento) apresenta uma evolução positiva nos últimos quatro anos.

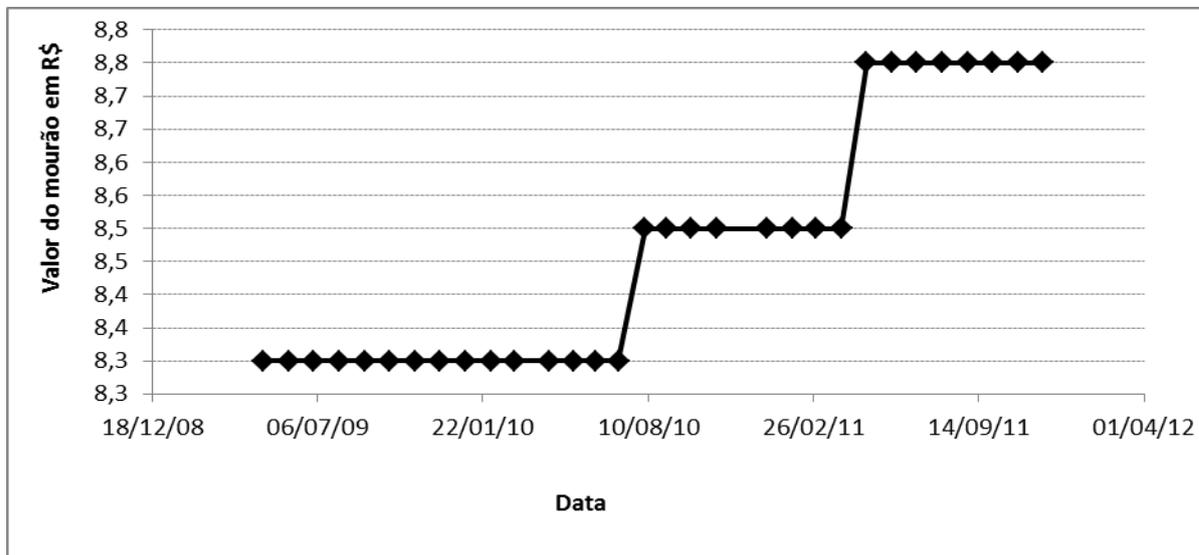


Figura 1. Preço de Produtos - Mourão (Estaca para cerca) - Zona da Mata Mineira

Fonte: SI-Florestas. Sistema de Informações Florestais – Tratalipto (2012)

2. OBJETIVO

Geral

Efetuar o sortimento de um povoamento de Eucalipto, implantado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, atualmente em regime de talhadia, visando seu aproveitamento preferencial como moirões.

Específico

- Selecionar uma equação para calcular o volume individual das árvores desse povoamento;
- Selecionar uma função de forma para efetuar o sortimento do povoamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1 Cálculo do Volume Individual das Árvores

O volume das árvores pode ser calculado com a árvore em pé ou abatida. Para o cálculo do volume da árvore em pé, normalmente se utilizam equações ou fatores que convertem o volume cilíndrico em volume real.

Quando a árvore é abatida para o cálculo de seu volume, a cubagem rigorosa é o método mais utilizado, consistindo na determinação do volume real de árvores através da divisão do fuste em n seções (toras) e do cálculo do volume de cada uma dessas toras. As fórmulas mais difundidas na literatura nesse procedimento são as fórmulas de Huber, Smalian, e Newton, sendo a de Smalian a mais utilizada, como pode ser verificado em Couto e Bastos (1987), Tomé *et al.* (2007), Cardoso (2008) e Machado e Filho (2003).

Esta cubagem, conforme FAO (1973), citada por Belchior (1996), é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções.

Assim, quando se usam seções com comprimentos menores, o volume calculado será mais acurado, seja qual for o método empregado. A cubagem rigorosa, usando essas fórmulas clássicas de volume, pode ser realizada tanto em árvores abatidas quanto em árvores em pé, mas, sempre que possível, a determinação do volume deve ser feita sobre árvores derrubadas (MACHADO e FILHO, 2003).

O emprego do xilômetro é um método de determinação de volume, que faz uso de um recipiente com água, no qual as toras de madeira são mergulhadas, onde o volume de água deslocado é igual ao volume das toras. Este método deve ser preferencialmente utilizado em toras de pequenas dimensões e em pequena escala comercial, devido ao tempo gasto para a realização da operação de manuseio das toras. (SOARES *et al.*, 2009)

Devido a incerteza da forma do fuste, uma alternativa para calcular o seu volume é o emprego do fator de forma, definido pela razão entre o volume do fuste e o volume de um cilindro de altura igual à altura da árvore e com diâmetro igual ao Dap da árvore (CAMPOS e LEITE, 2009).

3.2 Função de Forma

Segundo Campos e Leite (2009), função de forma é o termo aplicado ao decréscimo do diâmetro ao longo do fuste. Havendo uma definida regularidade na mudança desse diâmetro, o perfil do tronco pode ser expresso por funções denominadas funções de *taper*. A partir de uma função, ou equação, é possível estimar diretamente o diâmetro em qualquer altura do fuste. Por transformações algébricas na equação, estima-se também o volume total ou o volume de qualquer seção do fuste, além da altura total ou comercial até um diâmetro definido.

A avaliação prévia do sortimento por classes diamétricas nos plantios florestais permite, em determinadas circunstâncias, planejar os tipos de produtos a serem obtidos de maneira a otimizar o valor econômico da madeira em pé (ARCE, J. E., 2000).

Segundo Prodan *et al.* (1997), modelos de afilamento constituem uma importante ferramenta estatística de uso corrente na determinação dos perfis de troncos, pois permitem ao

usuário estimar três características básicas das árvores: a) diâmetro em qualquer ponto do fuste; b) altura total ou a que se encontra em um determinado diâmetro limite especificado no fuste e c) volume entre pontos quaisquer do fuste.

Em Kozak *et al.* (1969), para o estudo de forma de tronco de Pinus, no Canadá, utilizaram uma função expressa por uma parábola, tendo como variáveis dependentes e independentes os diâmetros e alturas relativas respectivamente.

Estudos de função de forma baseiam-se em equações que permitem estimar o diâmetro em qualquer altura ao longo do fuste, conseqüentemente servem para estimar a altura que determinado diâmetro ocorre (CAMPOS e LEITE, 2009).

Uma propriedade desejável nas equações de *taper* é que $d=0$ quando $h=H$, outra propriedade desejável é que o d estimado na altura de 1,3 m seja igual ao Dap (CAMPOS e LEITE, 2009).

Embora em termos de precisão as funções de afilamento e as equações de volume sejam equivalentes, a primeira é muito mais interessante, na medida em que se consegue estimar o volume de qualquer porção da árvore (SCOLFORO, 1993).

Para a obtenção de volumes de um povoamento é necessária a realização de um inventário florestal que consiste na medição de parte da população, isto é, de unidades amostrais ou parcelas, para depois extrapolar os resultados para a área total. Assim, visando planejar as operações florestais, têm-se estimativas da quantidade e da distribuição da madeira disponível. (LEITE e ANDRADE, 2002).

3.3 Equações de Volume

A modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes começou a ser desenvolvida na primeira metade do século XX, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores, notadamente a partir da década de 50 (MACHADO *et al.*, 2002).

Hoje em dia é comum a apuração de volume de um povoamento através do uso de equações de volume cujos parâmetros foram determinados por regressão. Muitas vezes, estas equações são específicas para uma determinada espécie, idade, ciclo e local. (McTAGUE *et al.*, 1989).

De acordo com Oliveira *et al.* (2005) o uso de equações volumétricas em povoamentos florestais proporciona rapidez, precisão e simplicidade, mostrando que esse tipo de método pode ser tão preciso quanto o inventário florestal convencional.

A maioria dos modelos utilizados para trabalhar com essa questão podem ser vistos na relação testada por Rolim *et al.* (2006), citando, inclusive, uma relação de autores que os utilizaram: (JORGE, 1982; FERNANDES *et al.*, 1983; SILVA & CARVALHO, 1984; QUEIROZ, 1984; HIGUCHI & RAMM, 1985; COUTO & BASTOS, 1987; SOUZA & JESUS, 1991; SCOLFORO *et al.*, 1994; BELCHIOR, 1996; BAIMA *et al.*, 2001; CHICHORRO *et al.*, 2003; SCHNEIDER & TONINI, 2003; BATISTA *et al.*, 2004), onde d é o diâmetro em metros medido na altura do peito (medido a 1,30 m), h é a altura comercial do fuste em metros e a variável dependente é o volume V em metros cúbicos com casca.

Tabela 1. Modelos de equações volumétricas testados por Rolim *et al.*,(2006)

Ordem	Modelo	Autor
1	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhardt
2	$V = b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2 + \varepsilon$	Hohenadl&Krenn
3	$LN(V) = b_0 + b_1 \cdot LN(D) + \varepsilon$	Husch
4	$LN(V) = b_0 + b_1 \cdot LN(D) + b_2 \cdot D^{-1} + \varepsilon$	Brenac
5	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 h + \varepsilon$	Spurr
6	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 + b_2 \cdot D^2 h + b_3 h + \varepsilon$	Stoate
7	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 + b_2 \cdot D^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2 + \varepsilon$	Näslund
8	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 + b_2 \cdot D^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2 + b_5 h + \varepsilon$	Meyer
9	$V = b_0 + b_1 \cdot D^2 + b_2 \cdot D^2 h + b_3 dh^2 + b_4 h^2 + \varepsilon$	Meyer Modificada
10	$LN(V) = b_0 + b_1 \cdot LN(D^2 h) + \varepsilon$	Logarítmico de Spurr
11	$LN(V) = b_0 + b_1 \cdot LN(D) + b_2 \cdot LN(h) + \varepsilon$	Log .de Schumacher & Hall
12	$LN(V) = b_0 + b_1 \cdot LN(D) + b_2 LN^2(D) + b_3 LN(h) + b_4 LN^2(h) + \varepsilon$	Logarítmico de Prodram

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e Características da Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho localiza-se em uma área contígua ao campus da URRRJ, no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, com altitudes que variam entre 18 a 25 metros.

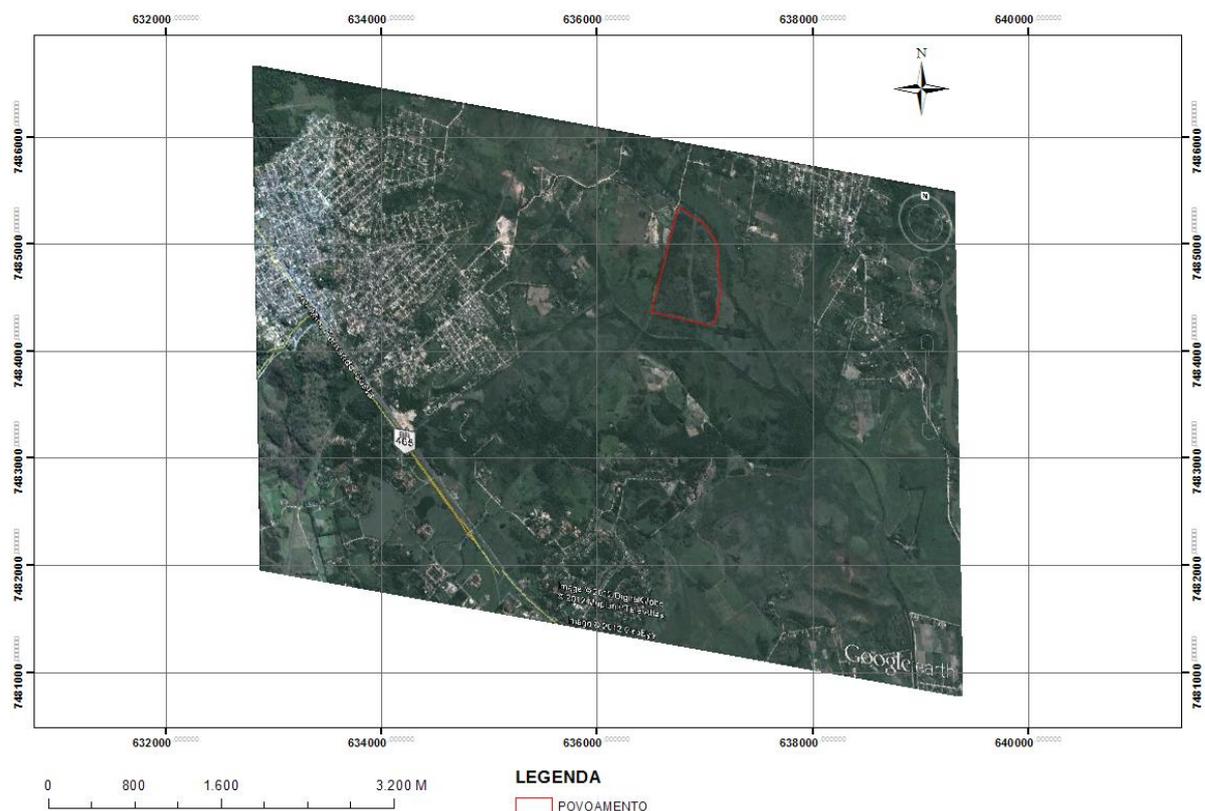


Figura 2. Localização povoamento em estudo

Conforme a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, com verão chuvoso e quente e inverno frio e seco. A precipitação anual média é de 1.275 mm e temperatura do ar média anual de 23,5°C, com média das máximas de 29,3°C e das mínimas de 19,2°C. Os meses de janeiro e fevereiro apresentam as temperaturas mais elevadas, e temperaturas mais baixas ocorrem em julho (PIMENTEL *et al*, 2008).

O povoamento foi implantado com espaçamento 3m x 2m, em 1990, tendo sofrido dois cortes, sendo o ultimo em meados de 2005. A condução da rebrota do mesmo foi efetuada de forma precária e o desenvolvimento do povoamento foi afetado por essa negligência.

4.2 Coleta dos Dados para o Sortimento

As informações utilizadas para fazer o sortimento do povoamento, foram obtidas a partir dos dados das 21 unidades amostrais mensuradas para a realização do inventário desse povoamento.



Figura 3. Distribuição das unidades amostrais no povoamento.

As unidades amostrais mensuradas para a realização do inventário foram compostas por 50 covas (espaçamento 3m x 2m), totalizando 300 m² de área, onde foram mensurados a CAP e altura total de todas as árvores.

4.3 Seleção das Árvores para Compor a Amostra Destinada à Determinação da Equação Volumétrica e Função de sortimento

A partir dos resultados do inventário, foi realizada uma análise da distribuição diamétrica do povoamento, com a finalidade de se escolher as árvores que seriam representativas para compor a amostra, tendo sido selecionados 54 fustes dentro de uma amplitude diamétrica de 5 a 17 cm, distribuídos em 6 classes com amplitude de 2cm cada classe.



Figura 4. Selção das árvores amostra a serem abatidas.

4.4 Coleta dos Dados no Campo

As 54 árvores selecionadas a obtenção do volume individual foram abatidas em cinco locais diferentes do povoamento.

Após abatidas, as árvores foram seccionadas em toras, com secções nas posições de 0,2 m; 0,75 m; 1,30 m e, partindo desse ponto, de 1,0 em 1,0 metro, até o diâmetro mínimo de 5cm, onde foram coletados os diâmetros com e sem casca ao longo do fuste dessas árvores. A figura 4 mostra quatro etapas da cubagem: abate; delimitação das secções até o diâmetro mínimo de 5 cm; divisão do fuste nas secções delimitadas; mensuração dos diâmetros com e sem casca.



Figura 5. Coleta dos dados da cubagem rigorosa.

4.5 Cubagem Rigorosa das Árvores

O volume individual das árvores com e sem casca foi calculado com o emprego da fórmula de Smalian, para o fuste, do cilindro para o toco e do cone para a ponta.

4.6 Determinações da Equação Volumétrica

Para a determinação da equação volumétrica, foram selecionados 4 modelos dos mais utilizados para essa finalidade, conforme mostrado a seguir:

EQUAÇÃO	AUTORES
1 - $V = b_0 + b_1.d^2 + b_2.d^2h + b_3.h$	Stoate
2 - $V = b_0 + b_1.d^2.h$	Spurr
3 - $V = b_0 . d^{b1} . h^{b2}$	Schumacher § Hall
4 - $V = b_0 + (d^2 . h)^{b1}$	Exp. de Spurr

onde $d = Dap$

$h =$ altura total

$V =$ variável dependente, volume total, com casca.

A seleção do melhor modelo obedecerá aos seguintes critérios:

- Relação linear entre as variáveis envolvidas nos modelos, avaliada pelo coeficiente de correlação;
- Significância dos coeficientes, no nível de 95%;
- Erro padrão ou índice de Furnival;
- Existência de dados discrepantes;
- Distribuição dos resíduos.

4.7 Determinação da Função de Forma

Foi selecionado o modelo de Kozak *et al.* (1969 apud Campos e Leite, 2009), devido a sua facilidade de ajustamento, além da precisão de suas estimativas e pelos resultados que o mesmo apresentou no trabalho realizado por FERREIRA(2000). em povoamento de Eucalipto localizado também no campus da UFRRJ.

Equação de Kozak:

$$Y^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{H}\right)^2 + \varepsilon$$

Onde:

$$Y = \left(\frac{d}{dap} \right)$$

d = diâmetro na altura h , geralmente com e sem casca.

dap = diâmetro com casca, medido na altura de 1,30m.

h = distância do solo até o ponto onde o diâmetro d é considerado.

H = altura total

B_i = parâmetros da regressão ($i=0, 1,2$).

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

4.8 Cálculo do Volume Individual das Árvores

Após a seleção do melhor modelo, o mesmo será empregado para calcular o volume individual das árvores que compõe a amostra do inventário florestal.

4.9 Sortimento do Povoamento

A função de forma, expressa pelo modelo de Kozak *et al.* (1969), utilizando os coeficientes da regressão obtidas no processamento, será aplicada aos dados das unidades amostrais considerando como produto principal a obtenção de moirões com as seguintes dimensões:

- diâmetro mínimo = 8 cm, sem casca;
- diâmetro máximo = 14 cm, sem casca;
- comprimento = 2,20 m.

Em função da necessidade de se determinar o diâmetro das árvores na altura de 0,75 m, para maximizar o aproveitamento do fuste das árvores como moirões, o sortimento das árvores da amostra mensurada através do inventário florestal obedecerá aos seguintes critérios (Figura 23):

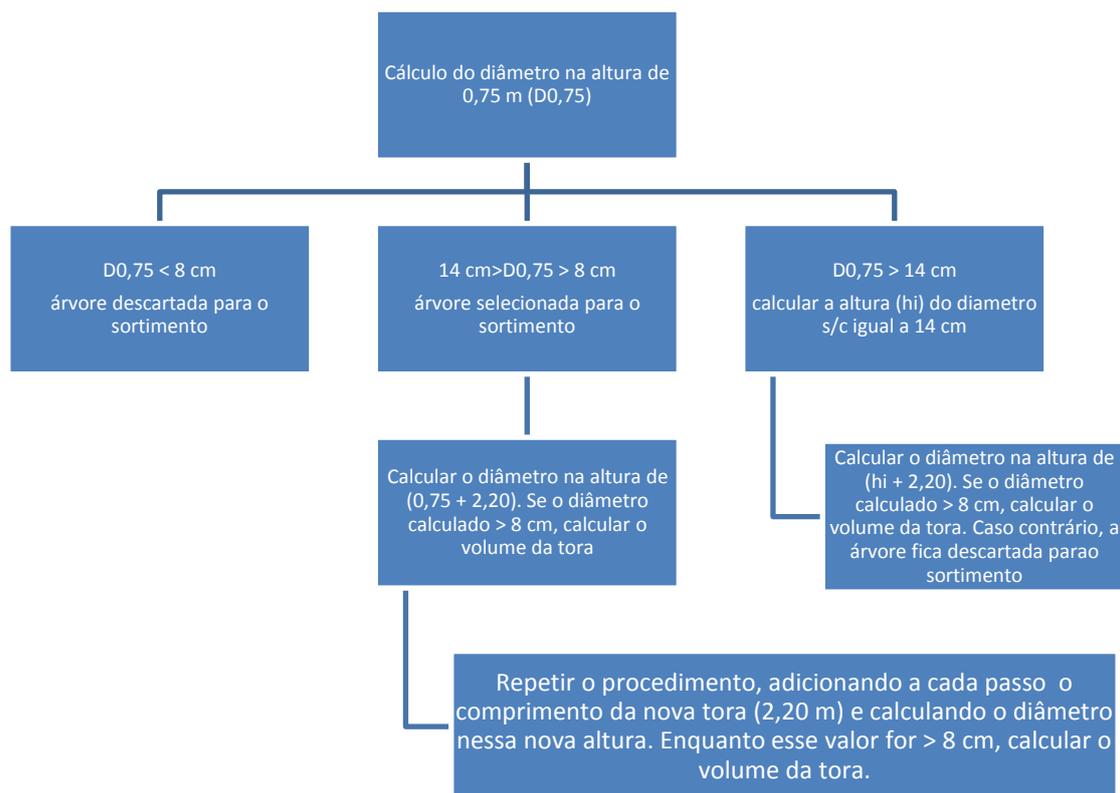


Figura 6. Critérios do sortimento

5. RESULTADOS

5.1 Dados das Unidades Amostrais

Nas 21 parcelas foram mesuradas 50 covas por parcela totalizando 1050 covas. Como resultados da mensuração foram apresentados os seguintes dados: 547 árvores (99 dominadas - 9,4%) com 1058 fustes e 503 falhas (48%).

Com relação aos diâmetros, a figura 5 mostra que, em função da maioria das rebrotas apresentar diâmetros reduzidos, a distribuição dos mesmos é decrescente.

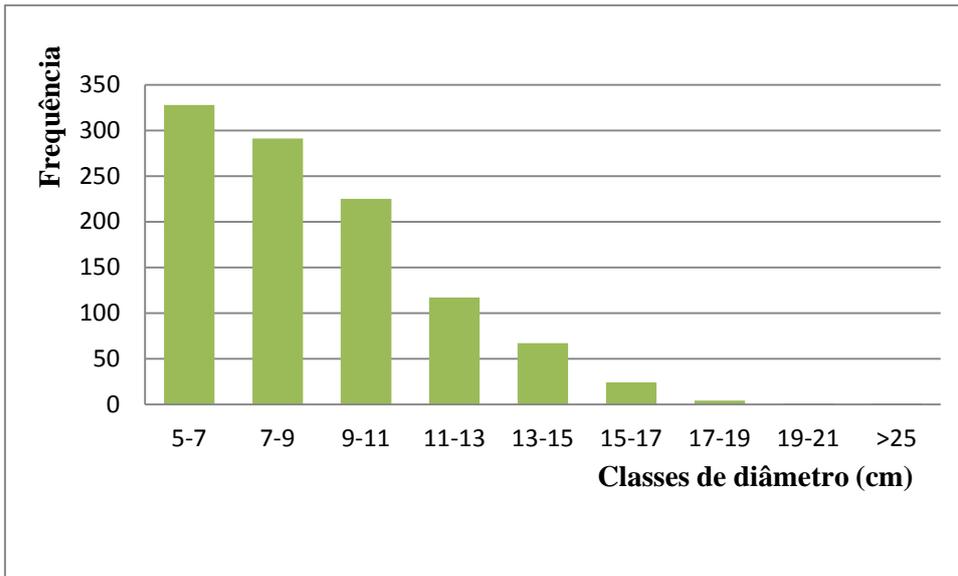


Figura 7. Distribuição da frequência dos diâmetros em classes.

Com relação a altura total, a figura 6, mostra que a maior frequência encontra-se na classe de 9-11 (m).

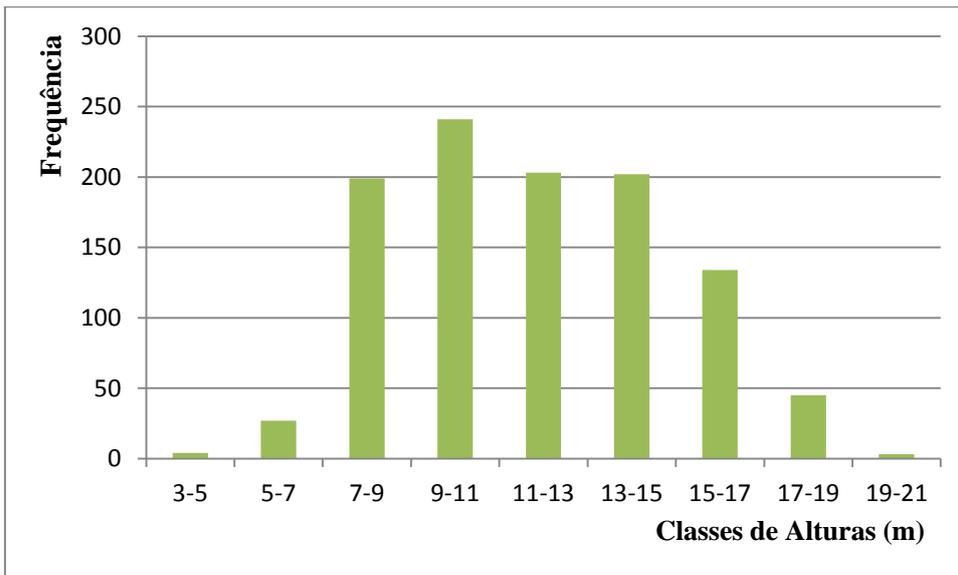


Figura 8. Distribuição da frequência das alturas em classes.

5.2 Árvores Seleccionadas para Realização da Cubagem Rigorosa.

A tabela 3 mostra a distribuição dos diâmetros e alturas das 54 árvores seleccionadas para a cubagem rigorosa, mostrando que se buscou coletar o mesmo número de árvores por classe de diâmetro, excetuando-se a última classe.

Tabela 2. Distribuição dos fustes da amostra em classes de diâmetro e altura.

Classe de diâmetro	Classe de Alturas						Total Geral
	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	
5-7	3	8	1				12
7-9		2	5	3			10
9-11			5	2	5		12
11-13			1	2	5		8
13-15				3	4	2	9
15-17					2	1	3
Total Geral	3	10	12	10	16	3	54

5.3 Relação entre as Variáveis Dap, Ht e Volume das Árvores Amostra

As Figuras 7, 8 e 9 mostram as relações entre as variáveis básicas das árvores amostra, verificando-se que o comportamento das mesmas corresponde ao esperado para povoamentos com o perfil do presente estudo.

Dessa forma, a relação mais consistente é a do diâmetro com o volume, vindo a seguir a relação hipsométrica (H x Dap) e, finalmente a relação menos forte é a da altura com o volume.

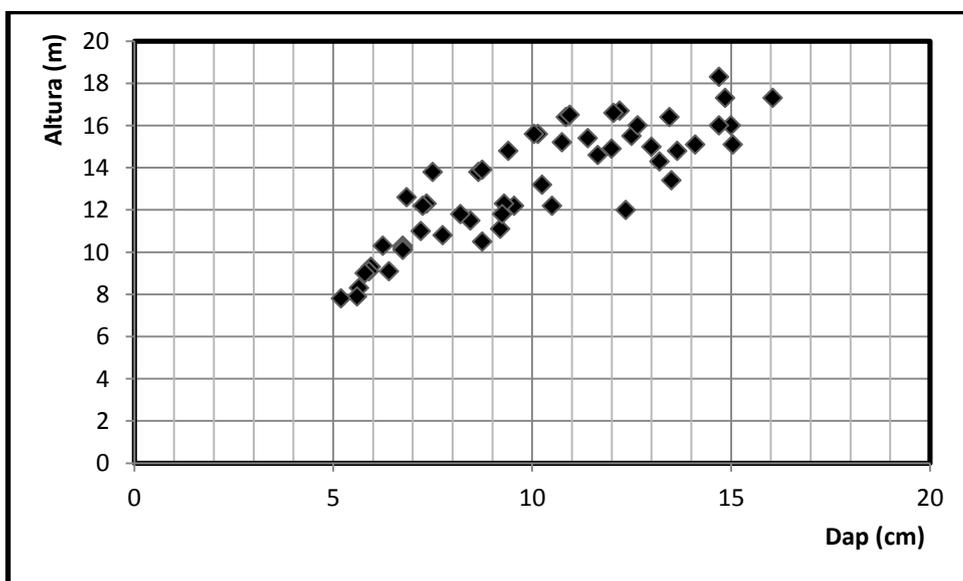


Figura 9. Relação entre o Dap e a altura total.

Como o esperado a figura 8 mostra uma boa relação entre o Dap e volume.

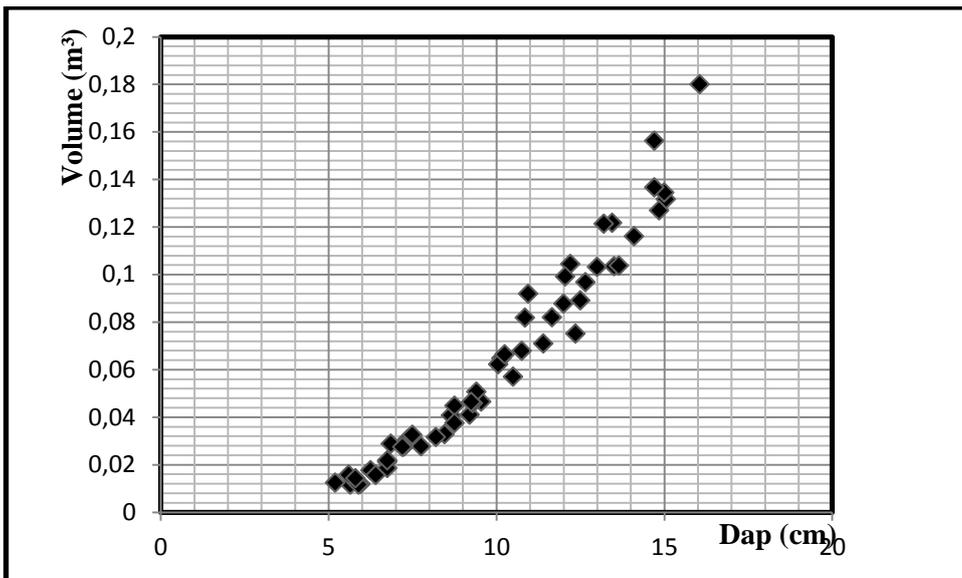


Figura 10. Relação entre o Dap e a volume.

A figura 9 mostra que a relação entre volume e altura também é satisfatória.

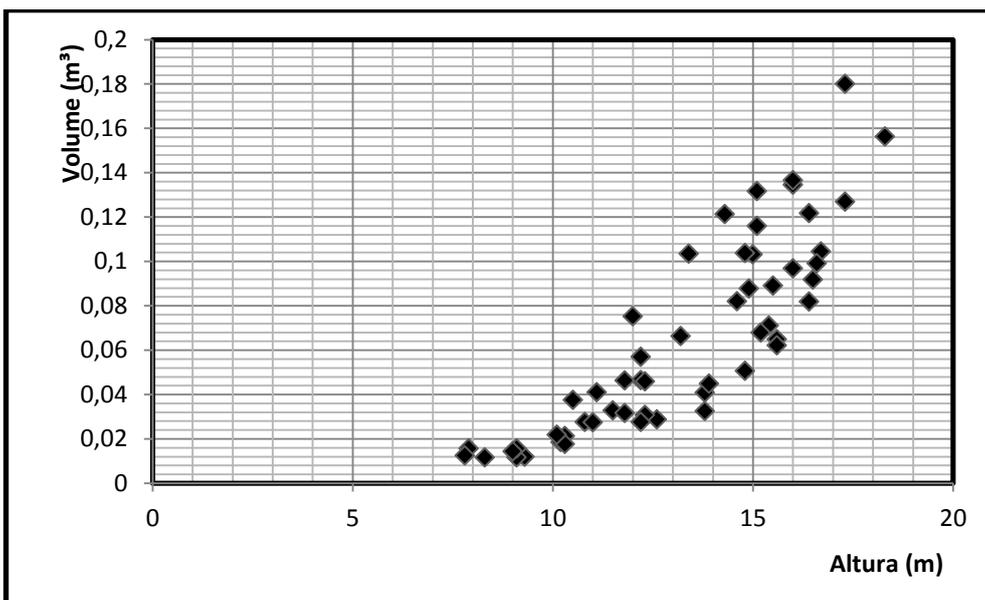


Figura 11. Relação entre a altura total e o volume.

5.4 Seleção da Equação Volumétrica

A Tabela 4 sumariza as estatísticas básicas dos modelos selecionados para a equação volumétrica, verificando-se que apenas a equação de Stoute apresentou coeficientes não significativos no nível de 95%, estando, estes, destacados na tabela.

Tabela 3. Estatísticas básicas dos modelos.

MODELO	COEFICIENTES				R ² Corrigido	Erro Padrão	Índice de Fornival
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃			
Stoate	-0,00699 *	0,000166	2,72674E-05 *	0,000766 *	0,981721072	0,005871	0,005871
Spurr	0,004095	3,81E-05			0,981215699	0,005952	0,005952
Schumacher e Hall	-9,42927	1,951527	0,789725903		0,984677907	0,097077	0,004822
Exp. Spurr	-9,57766	0,929483			0,98461237	0,097285	0,004832

As Figuras 10 a 16 mostram a distribuição dos resíduos dos modelos avaliados, percebendo-se que nenhum dos modelos apresentou tendenciosidade significativa na distribuição dos mesmos.

Considerando-se os critérios de avaliação dos modelos, pode-se concluir que os modelos de Schumacher & Hall e o modelo exponencial de Spurr apresentaram desempenho praticamente igual. Como existe a necessidade de se selecionar apenas um modelo, optou-se pelo de Schumacher & Hall.

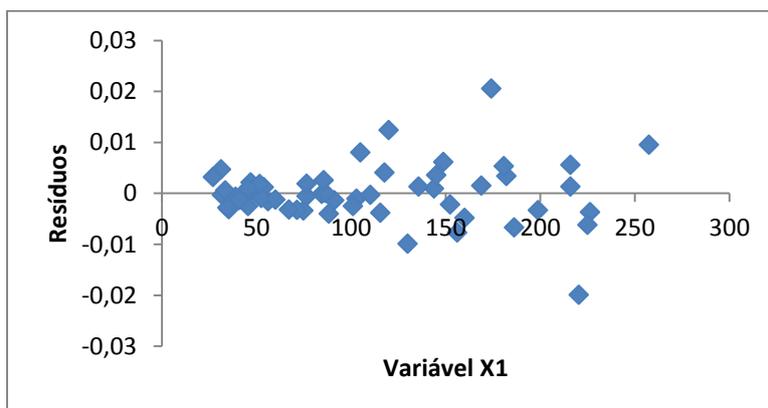


Figura 12. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 1.

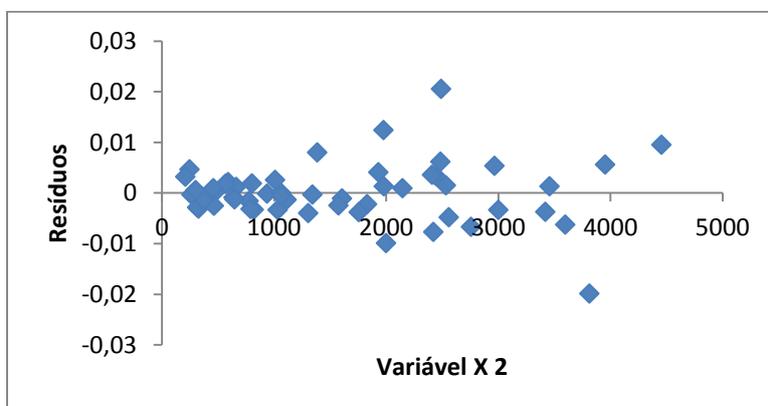


Figura 13. Distribuição dos resíduos na variável X2 do modelo 1.

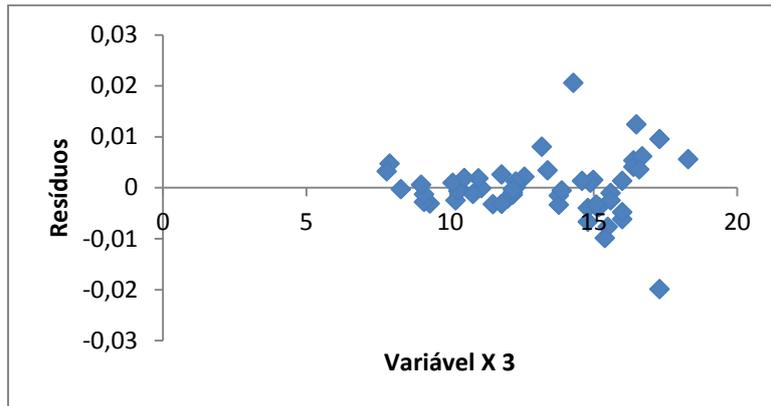


Figura 14. Distribuição dos resíduos na variável X3 do modelo 1.

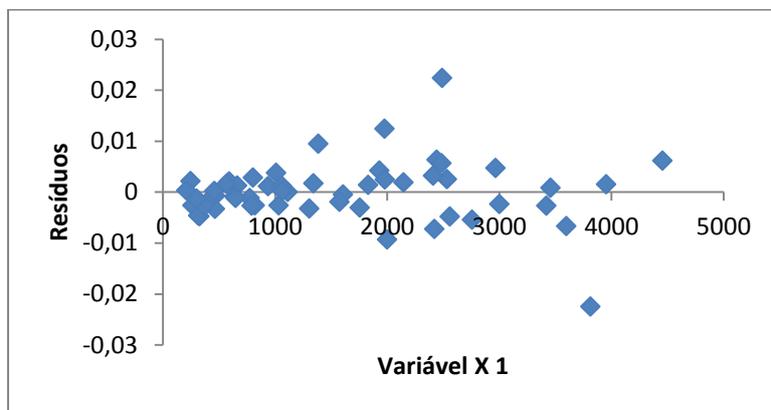


Figura 15. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 2.

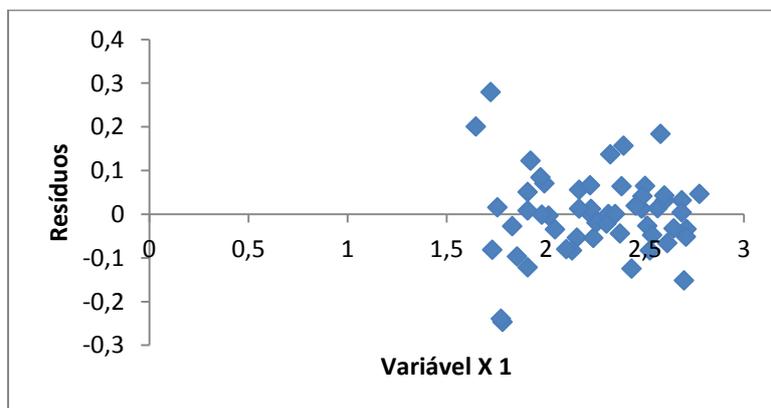


Figura 16. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 3.

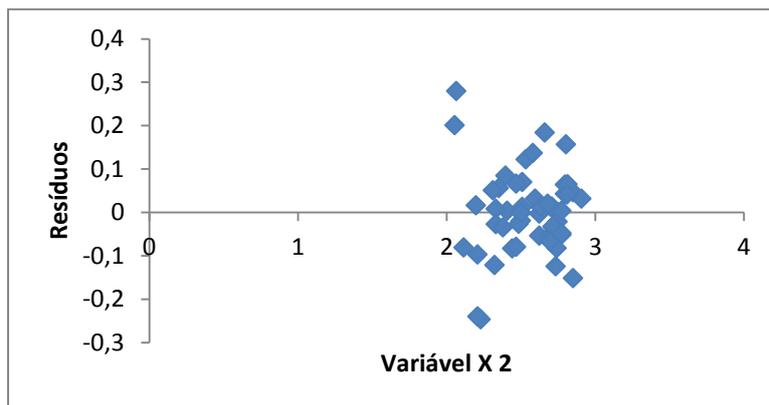


Figura 17. Distribuição dos resíduos na variável X2 do modelo 3.

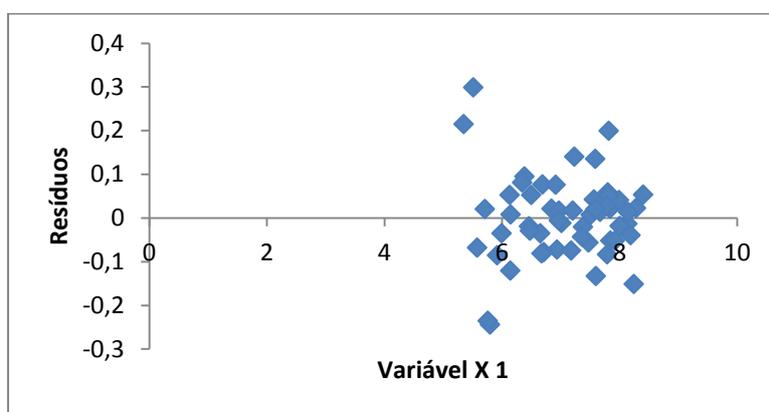


Figura 18. Distribuição dos resíduos na variável X1 do modelo 4.

5.6 Avaliação do Modelo Selecionado para Expressar a Forma

Durante a coleta dos dados da cubagem rigorosa, verificou-se que a maioria dos fustes das árvores apresentam a forma de neilóide, tortuosidades e outros defeitos na sua base, o que impede seu aproveitamento como moirão. Estabeleceu-se, então, que o aproveitamento como moirão seria simulado a partir da altura de 0,75m de cada fuste.

Conforme mostra FERREIRA (2002), a aplicação do modelo de Kozak *et al.* (1969) em povoamento de eucalipto localizado no campus da Universidade Rural, os melhores resultados foram obtidos quando se considerou a parte do fuste delimitada pelo Dap e o diâmetro mínimo de mensuração de 5 cm.

As Figuras 17 mostra a relação entre as variáveis do modelo de Kozak *et al.*(1969), onde pode-se perceber que a relação linear entre as mesmas se dá, na maioria dos fustes, a partir do valor 1 para a variável $Y = (dsc/Dapcc)^2$, que, no geral, corresponde a altura do Dap da árvore.

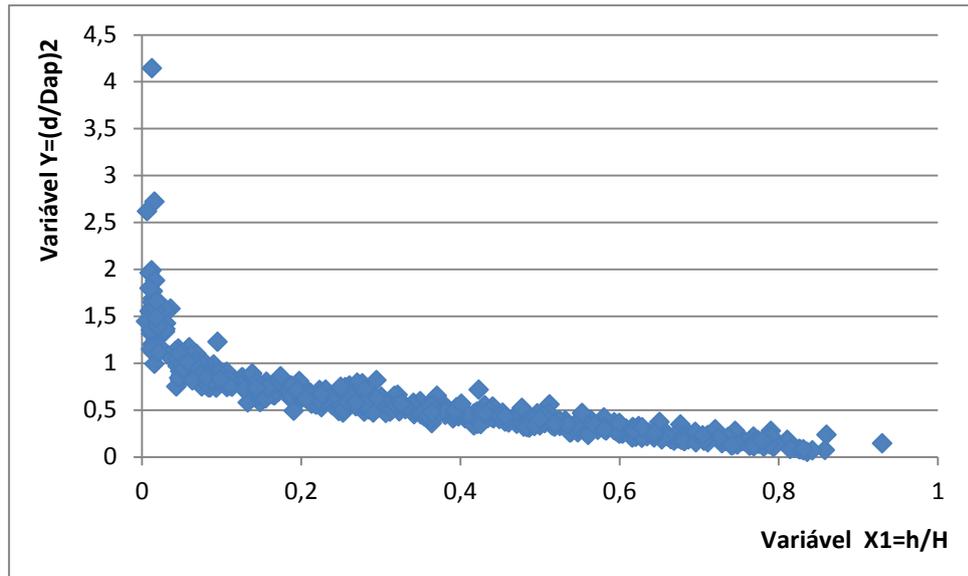


Figura 19. Relação entre variáveis x_1 e Y .

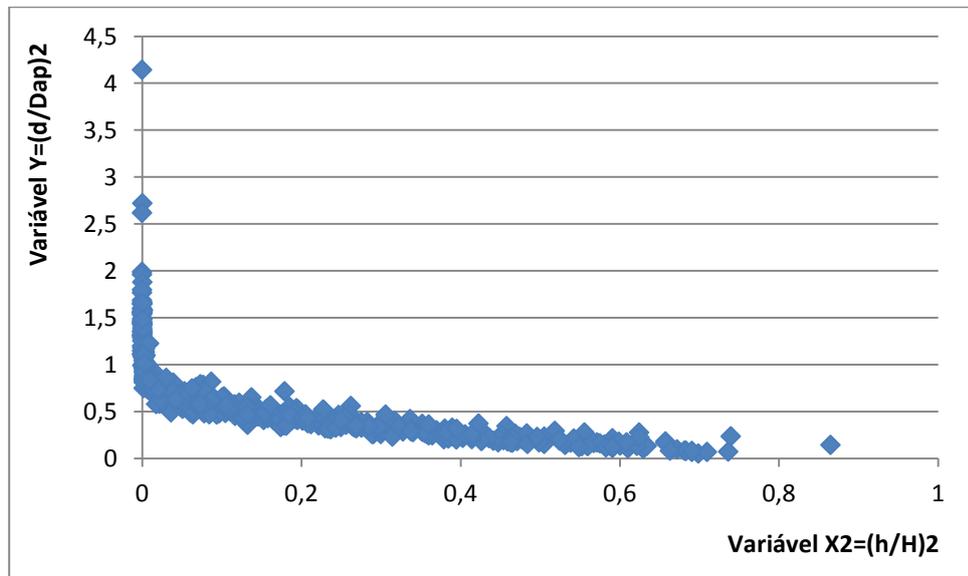


Figura 20. Relação entre as variáveis x_2 e Y .

Dessa forma, o ajuste da função de forma utilizou os dados no intervalo preconizado por FERREIRA (2002), apresentando os seguintes resultados:

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,958773
R-Quadrado	0,919246
R-quadrado ajustado	0,918914
Erro padrão	0,06026
Observações	490

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	20,13034	10,06517	2771,816	7,9E-267
Resíduo	487	1,768421	0,003631		
Total	489	21,89876			

	<i>Erro</i>			
	<i>Coefficientes</i>	<i>padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	0,909584	0,010624	85,61458	1,1E-295
Variável X 1	-1,25798	0,05499	-22,8765	3,36E-79
Variável X 2	0,363156	0,061377	5,91683	6,19E-09

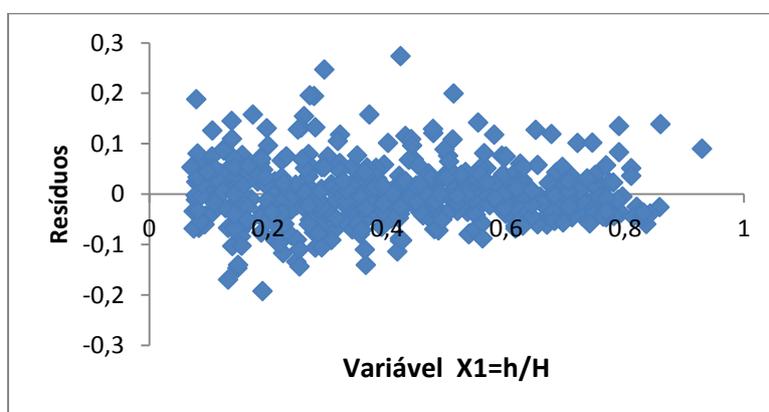


Figura 21. Distribuição dos resíduos na variável X_1 da função de forma.

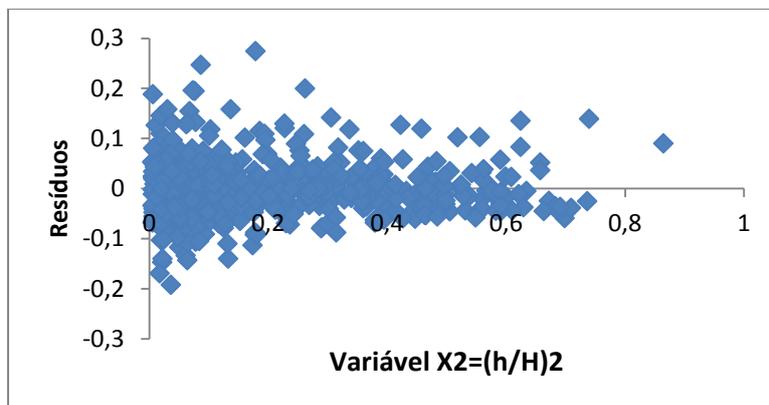


Figura 22. Distribuição dos resíduos na variável X_2 da função de forma.

Analisando-se as estatísticas relevantes do modelo: significância dos coeficientes, no nível de 95%; coeficiente de determinação; erro padrão; existência de dados discrepantes e distribuição dos resíduos, verifica-se que as mesmas são satisfatórias, permitindo a utilização do modelo nos limites para os quais foi construído.

Entretanto, ao se pretender aplicar o modelo aos dados do inventário, tendo sido estipulado que os moirões seriam considerados a partir da altura de 0,75, verificou-se que o modelo calculava de forma inadequada o diâmetro nessa altura para as árvores mais grossas.

Explica-se essa inadequação a partir de 2 motivos principais: primeiro, pelo fato do ajuste do modelo não ter incluído essa altura do fuste e, pelo fato do modelo representar uma parábola, que não faz a inflexão para a forma da neilóide na base da árvore. Assim, em alguns casos, o diâmetro na altura de 0,75 apresenta valores menores que o Dap.

Para solucionar essa inadequação, ajustou-se novamente o modelo para o intervalo entre a base da árvore e o Dap, com a finalidade precípua de obter o diâmetro da árvore, sem casca, para a altura de 0,75 m, com uma precisão maior que o modelo anterior.

Esse novo ajuste, apresentou as seguintes estatísticas:

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,860834
R-Quadrado	0,741034
R-quadrado ajustado	0,74015
Erro padrão	0,208351
Observações	589

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	72,79242	36,39621	838,4241	1,2E-172
Resíduo	586	25,43841	0,04341		
Total	588	98,23084			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	1,261936	0,02026	62,28742	1,3E-260
Variável X 1	-2,96686	0,127561	-23,2584	2,9E-85
Variável X 2	2,090607	0,160696	13,00971	3,57E-34

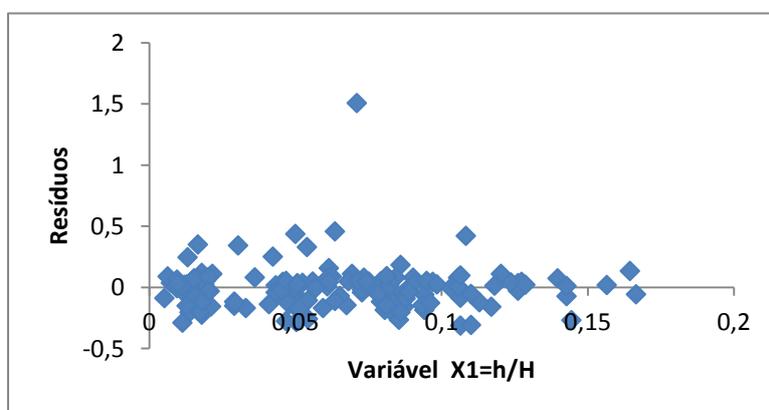


Figura 23. Distribuição dos resíduos na variável X_1 da função de forma na 1ª secção.

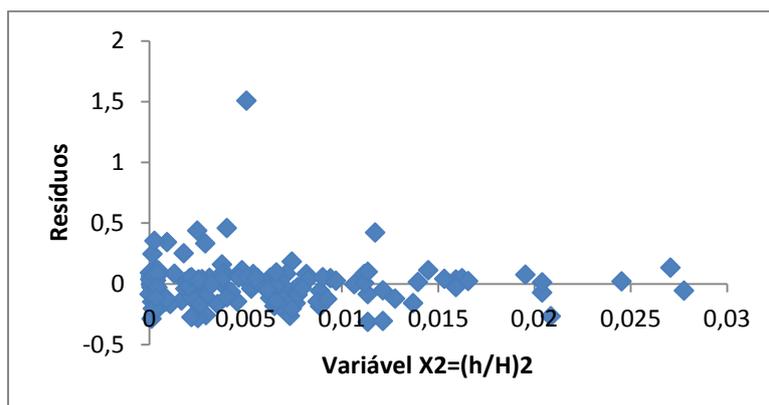


Figura 24. Distribuição dos resíduos na variável X_2 da função de forma na 1^o secção.

Apesar das estatísticas terem menor precisão que o modelo anterior, a estimativa dos diâmetros na altura de 0,75 m são mais precisas, como mostrado a seguir:

- diâmetro mensurado na altura de 0,75 m sem casca = 15,3 cm
- diâmetro estimado (equação para a base da árvore) = 16,1 cm
- diâmetro estimado (equação para o fuste da árvore) = 13,6 cm

5.7 Sortimento do Povoamento

A Tabela 5 mostra o resultado do sortimento aplicado às árvores da unidade amostral e a Tabela 6 a percentagem de aproveitamento das toras, em relação ao comprimento total das árvores (15,92%) e do volume (22,86%).

Tabela 4. Resultados do sortimento nas unidades amostrais.

Unidade amostral	N ^o Moirões	Volume das Toras
1	34	0,438359801
2	47	0,612378733
3	84	1,192792124
4	59	0,705184731
5	79	1,140289934
6	96	1,153824608
7	50	0,826415646
8	12	0,136198872
9	40	0,542320708
10	48	0,671634441
11	23	0,259864799
12	45	0,632184255
13	16	0,192937489
14	54	0,821518888
15	72	0,909473618
16	64	0,850853332
17	40	0,472210464

Unidade amostral	N° Moirões	Volume das Toras
18	46	0,597828747
19	2	0,021103728
20	12	0,123355628
21	3	0,032714177
Total	926	12,33344
Total/ha	1470	19,57688

Tabela 5. Percentagem de aproveitamento do sortimento.

Unidade Amostrai	Comprimento			Volume		
	Total	Moirões	%	Total	Moirões	%
1	584,6	34	12,80	2,16	0,44	20,30
2	504,5	47	20,50	2,06	0,61	29,74
3	632,7	84	29,21	3,29	1,19	36,28
4	833	59	15,58	3,00	0,71	23,50
5	669	79	25,98	3,47	1,14	32,87
6	1002	96	21,08	4,18	1,15	27,64
7	584	50	18,84	2,57	0,83	32,21
8	562,5	12	4,69	1,51	0,14	9,01
9	721	40	12,21	2,64	0,54	20,57
10	387	48	27,29	2,01	0,67	33,39
11	436,5	23	11,59	1,42	0,26	18,26
12	475	45	20,84	2,19	0,63	28,92
13	419	16	8,40	1,20	0,19	16,02
14	459	54	25,88	2,57	0,82	31,99
15	713	72	22,22	3,13	0,91	29,03
16	948,5	64	14,84	3,40	0,85	25,02
17	635	40	13,86	2,32	0,47	20,40
18	668	46	15,15	2,64	0,60	22,64
19	151	2	2,91	0,39	0,02	5,38
20	312,5	12	8,45	0,93	0,12	13,25
21	325,5	3	2,03	0,91	0,03	3,59
Total	12023,3	926	15,92	47,98	12,33	22,86
Total/ha	19084,6	1470	15,92	76,15	19,57	22,86

A Figura 24 mostra a distribuição do número de toras por classe de diâmetro, verificando-se, no caso dos diâmetros, que a classe de 11 a 13 cm foi a que apresentou a maior frequência (32,18%), vindo a seguir a classe de 9 a 11 e, um pouco mais distante, a classe de 13 a 15 cm. Essas três classes totalizam 86,72% das toras.

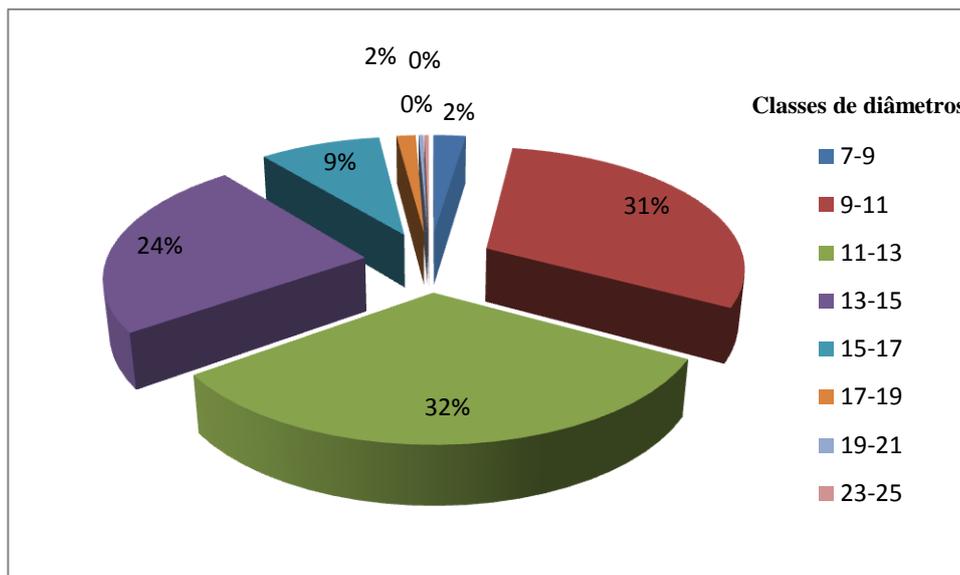


Figura 25. Distribuição das toras em classes de diâmetro.

Com relação à altura, a Figura 25 mostra que a classe de 15 a 17m foi a que apresentou a maior frequência (34,34%) seguida pela classe de 13 a 15 com 31,97%.

A partir desses resultados, pode-se concluir que, nesse povoamento, a árvore com maior percentagem de aproveitamento como moirões, teria as seguintes dimensões: 12 cm de diâmetro e 16 m de altura.

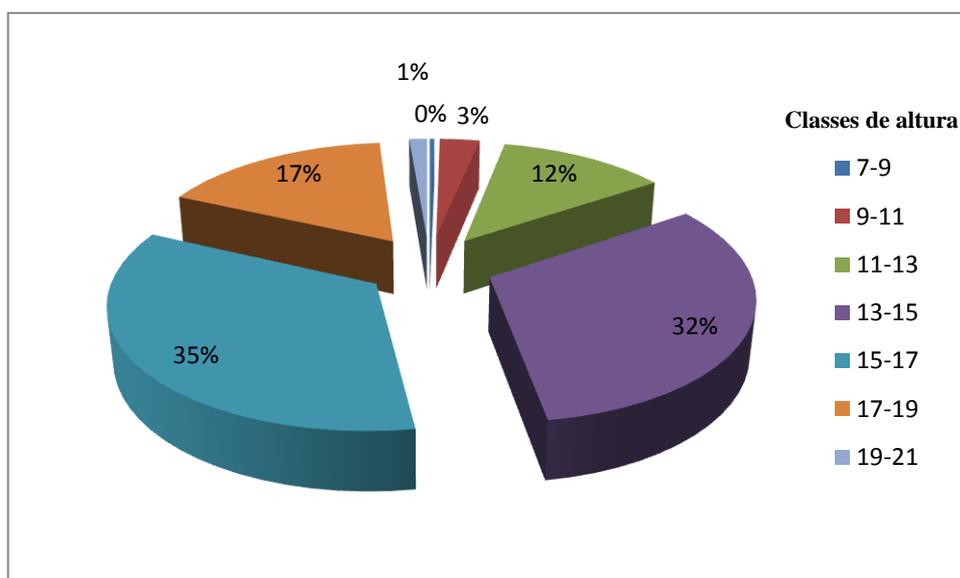


Figura 26. Distribuição das toras em classes de altura.

6. CONCLUSÕES

Para o cálculo do volume, as equações de Schumacher e a exponencial de Spurr apresentaram desempenho praticamente idêntico, tendo sido escolhido a primeira como a melhor.

O modelo de KOSAK, MUNRO E SMITH (1969) ajustou-se satisfatoriamente ao perfil médio das árvores mensuradas, para os dados considerados no intervalo entre 1,30 m e a altura total, não devendo ser aplicado para alturas menores que a do Dap;

No presente caso, para se estimar diâmetros na altura de 0,75 m, esse mesmo modelo foi ajustado com os dados do intervalo entre a base da árvore e o Dap.

A percentagem de aproveitamento das toras, em relação ao comprimento total das árvores foi de (15,92%) e do volume (22,86%).

No povoamento inventariado, a árvore com maior percentagem de aproveitamento como moirões, tem as seguintes dimensões: 12 cm de diâmetro e 16 m de altura.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuario Estatístico**.2012.

ARCE, J. E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte**. 2000.136 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

BATISTA, J.L.F. **Análise de Regressão**. Técnicas de Modelagem Florestal. ESALQ. USP. Piracicaba. 1998.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2009. 548 p.

CARDOSO, R. M. **Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de florestas nativas do estado de Rondônia**. (Monografia) Instituto de Florestas/Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ. 28 p. 2008.

EMBRAPA FLORESTAS. Sistema de produção. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto_2ed/Aspectos_Eucaliptocultura.htm>. Acesso em: 28 de novembro 2012

FERREIRA, E S ; AMORIM., H. B. . **Função de forma para produção de moirões de eucalipto**. In: 2 Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2002, Viçosa. 2 Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2002. v. 1.

GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. A Determinação de equações volumétricas na Engenharia Florestal. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, 9(26): 1-36, mar. 1993.

GERALDO, F.C. **Mourões para cercas: a renovação necessária**. REVISTA DA MADEIRA – EDIÇÃO N°115 - JULHO DE 2008.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

McTAGUE, J. P.; BATISTA, J. L. F.; STEINER, L. H. Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de *Eucalyptus* nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. **IPEF**, n.41/42, p.56-63, jan./dez.1989.

OLIVEIRA, M.L.R.; et al. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. Viçosa-MG, **Revista árvore**, v.29, n.2, p.213-225, 2005.

PIMENTEL, M. S.; LANA A. M. Q.; DE-POLLI, H. **Qualidade comercial de alface e cenoura consorciadas e adubadas com composto orgânico**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Agrobiologia, 2008. 18p Seropédica.

PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. **Mensura florestal**. San José, Costa Rica: IICA, 1997. 586p.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M. FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, vol. 36(1) p. 107-114, 2006.

SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração Florestal; Módulo 2**; Volumetria. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 126 p.

SOARES, C. P. B., NETO, F. P., SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa. 2º Ed. UFV, 2011. 272p.

TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Equação de volume total, volume percentual e de perfil do tronco para *Eucalyptus globulus* LABILL em Portugal. **Silva Lusitana** 15(1): 25 - 39, 2007 © EFN, Lisboa. Portugal.