



**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL**

**Departamento de Engenharia Florestal**

**PROJECTO FINAL**

Avaliação de Equações de volume Comercial com casca para *Eucalyptus cloeziana* na floresta de  
Inhamacari



**Autor**

Agostinho Cremildo Mucavel

**Supervisor**

Dr Agnelo dos Milagres Fernandes

Maputo, Junho de 2015

## **DEDICATÓRIA**

Em primeiro lugar dedico aos meus pais pela vida.

A minha mãe Cacilda José que sempre acreditou no meu potencial e carinho demonstrado.

Ao meu avô José Matavelane (in Memoriam) Isabel Langa pelo amor, dedicação, compreensão, aprendizado, incentivo e encorajamento.

Á minha filha Kacyana e a mãe Célia pela agradável convivência.

Em especial a minha tia Crizalda, que em mim acreditou e apostou, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida, bênção e proteção

Ao Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, que financiou a colheita de dados na floresta de Inhamacari, provincia de Manica agradecido.

Ao meu supervisor Dr Agnelo Fernandes, pela atenção e orientação durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos meus docentes Dr Agnelo Fernandes, Eng. Jacob Miguel Bila, Eng. Tarquinio Magalhães, Eng. Francisco Geje, Eng. Rosta Mate, Eng Faruk Mamugy, Prof. Doutor Andrade Egas, Prof. Doutor Valério Macandza, Prof. Doutor Adolfo Bila, Prof. Doutora Romana Bandeira, dr<sup>a</sup>. Nocy Bila, Prof. Doutora Natasha Ribeiro, dr. Agostinho Vilanculos, Prof. Doutor Firmino Mucavel, Eng Ivan Remane, Eng Narciso Bila, e dr Gabriel Albano, pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação

Aos meus tios Fernando, Maria, Crizalda, Rogerio, Clementina, Lidinha, Alberto, Sonia que me apoiaram na carreira esdutantil.

Aos meus primos Victor, Jossefa, Camilo, Suneila, Romana, Iza, Bela, Silverio, Teresa, Adelaide, Adilson, Zito que em mim acreditaram.

Aos meus amigos Moamba, Agnes, Hubo, Laura, Naty, Alberto e Muhate que juntos lutamos nesta vida.

A todos os meus colegas, Inácio, Ossene, Guarinare, Clavete, Catine, Sidumo, Francisco, Delma e Nfumo pelas críticas, conselhos e conversas. Em especial aos meus queridos amigos Zavale, Chambule, Machava, Malate, Maposse Libombo, Mirasse, Hlunguane pelas risadas, convivência harmoniosa e companheirismo.

Aos florestais: Amanze, Mabjaia, Grácio, Nhaduco, Valgy, Francis, Nélia, Eunice, Floriana, Percina, Mirian, Nkassa, Marinze, Tondo, Humeide, Gedeão, Germano, Paunde, Sambo: Lisboa,

Edson, Julieta, Jone, Macôo, Cumbula e Nhanguatala, por ter frequentado algumas cadeiras juntos.

À turma de florestais de 2011, em particular destaque: Leovilgildo, Gildo, Angelina e Hercilio, pela companhia na estadia no Cefloma em Machipanda

Aos técnicos, senhor Alfredo e Nhagumbe pelas orientações dadas e ajuda no campo.

A todos aqueles que não foram citados mas que directa e indirectamente contribuíram para a concretização da minha formação, o meu sincero agradecimento.

O Meu muito Obrigado a todos!

## ÍNDICE

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	2
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	3
<b>ÍNDICE</b> .....	5
<b>RESUMO</b> .....	9
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	10
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	11
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	12
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS</b> .....	13
<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1. Antecedentes .....	14
1.2 Problema e Justificação de Estudo .....	16
<b>1.3 OBJECTIVOS</b> .....	17
1.3.1 Objectivos Geral.....	17
1.3.2 Objectivos Específicos .....	17
<b>II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1 Eucalyptus cloeziana .....	18
2.1.1 Descrição botânica de <i>Eucalyptus cloeziana</i> .....	18
2.1.2 Ocorrência natural .....	20
2.1.3 Aplicações de <i>Eucalyptus cloeziana</i> .....	20

2.2 Amostragem .....	20
2.2.1 Amostragem Aleatória Simples .....	21
2.2.2 Amostragem Sistemática.....	21
2.2.3 Amostragem Estratificada .....	21
2.3 Medidas na dendrométria .....	21
2.3.1 Medida Directa .....	21
2.3.2 Medida Indirecta.....	21
2.4 Erros de medição.....	22
2.4.1 Erros Sistemáticos .....	22
2.4.2 Erros Compensantes .....	22
2.4.3 Erros de Estimativa.....	22
2.4.4 Erros Acidentais .....	22
2.5 Regressão .....	22
2.6 Modelos Volumétricos .....	23
2.7 Volume .....	23
2.8 Equações de simples, dupla e tripla entrada para Estimativa de Volume .....	23
2.9 Cubicagem.....	23
2.14.1 Cubagem por Smalian .....	24
2.14.2 Cubagem por Huber.....	24
2.14.3 Cubagem por Newton.....	24
2.15 Critério de seleção da Melhor Equação para a Estimativa de Volume de Árvore em pé.	25

2.15.1	Análise da variância.....	25
2.15.2	Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajus}$ ) .....	25
2.15.3	Erro padrão da estimativa (Syx) e em percentagem (Syx%).....	26
2.15.4	Análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente .....	27
2.16	A validação das equações.....	27
<b>III.</b>	<b>MATERIAIS E METÓDOS.....</b>	<b>28</b>
3.1.	Descrição da área de estudo .....	28
3.2	Colheita de Dados .....	29
3.3	Cubicagem rigorosa.....	29
3.4	Volume em cada secção no comprimento de 2 m.....	32
3.5	Análise de dados.....	33
3.6	Modelos testados.....	33
3.7	Critério Usados para Escolha da Melhor Equação.....	35
3.8	Validação.....	36
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1	Estatística Descritiva dos dados .....	37
4.2	Ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume comercial com casca.....	37
4.3	Escolha da Melhor Equação .....	38
4.4	Ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume comercial com casca. ....	44

4.5 Validação das Melhores Equações de Simples e Dupla Entrada .....	53
4.5.1 Equação de Simples Entrada .....	53
4.5.2 Equação Dupla Entrada .....	54
<b>V.CONCLUSÕES</b> .....	56
<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	57
<b>VI.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	58
<b>VII. ANEXOS</b> .....	62

## RESUMO

A estimativa do volume da árvore individual é uma actividade muito onerosa e trabalhosa, para obtê-las, é necessário usar algum método de cubagem rigorosa, medir vários diâmetros ao longo do fuste. Sendo assim a estimativa do volume da árvore deve ser feita por meio de equações a fim de reduzir o tempo, medindo apenas o DAP e Altura.

Este trabalho foi realizado com objectivo de avaliar seis (6) equações de simples e dez (10) de dupla entrada para estimar o volume comercial com casca do povoamento de *Eucalytus cloeziana* na floresta de Inhamacari, posto administrativo de Machipanda, distrito e província de Manica em Moçambique. Para o alcance dos objectivos foram seleccionadas 115 árvores em todas classes diâmetricas do povoamento, com boa retidão do fuste e sanidade, na qual foram abatidas e secções em comprimentos de 2 m em 2 m da base até ao topo, onde 99 árvores foram usadas para o ajuste e 16 árvores para a validação das melhores equações. Posteriormente determinou-se o volume individual das árvores através do somatório dos volumes das secções de cada árvore calculados pelo método de Smalian. A partir dos volumes reais das árvores, obtidos através de cubicagem, foi possível escolher um modelo de simples e um de dupla entrada que melhor estima o volume do do povoamento de *Eucalytus cloeziana*. O estudo revela que o modelo matemático de simples entrada que melhor estima o volume comercial das árvores de *Eucalytus cloeziana* na floresta de Inhamacari é a equação logarítmica de Hushc ( $\text{LnV} = -8.5907774941 + 2.530583917\text{Lndap}$ ), com Coeficiente de Determinação Ajustado de 99.105% e Índice de Furnival de 6.698 % e o modelo matemático de Dupla entrada que melhor estima o volume das árvores de *Eucalytus cloeziana* na floresta de Inhamacari é a equação logarítmica de Spurr (log), ( $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 * \text{Ln}(\text{dap}^2 * \text{hc})$ ), com  $R^2_{aj}$  de 99.510% e IF de 4.954 % que equivale ao Erro padrão de Estimativa. Segundo o teste efectuado de Qui-quadrado para equações de simples e dupla entrada ( $\text{LnV} = -8.5907774941 + 2.530583917\text{Lndap}$ -Husch e  $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 * \text{Ln}(\text{dap}^2 * \text{hc})$  - Spur log) mostrou que as equações são válidas para estimar com precisão o volume de cada árvore do povoamento.

**Palavras-chave:** Volume, Equações de Simples Entrada, Equações de Dupla Entrada, Ajuste, Cubicagem

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Frequência de árvores cubicadas do povoamento de <i>Eucalytus cloeziana</i> .....	21
Tabela 2- Modelos volumétricos de simples entrada ajustados.....	22
Tabela 3- Modelos volumétricos de Dupla entrada ajustados.....	22
Tabela 4- Estatística Descritiva de Dap, Altura Comercial e Volume.....	25
Tabela 5- Resultados de Coeficientes Estimados de Simples Entrada.....	25
Tabela 6- Estatísticas de ajuste e precisão de modelos de Simples entrada.....	27
Tabela 7- Resultados de Coeficientes Estimados de Dupla Entrada.....	33
Tabela 7- Resultados de Coeficientes Estimados de Dupla Entrada.....	33
Tabela 8- Estatísticas de ajuste e precisão de modelos de Dupla entrada.....	34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Inflorescências, Frutos, Sementes, madeira e fuste de <i>Eucalytus cloeziana</i> .....	7
Figura 2- Localização geográfica da área de estudo em Moçambique.....	16
Figura 3- Distribuição diâtrica do talhão 26 de <i>Eucalytus cloeziana</i> .....	18
Figura 4- Actividades de cloecta de dados para cubagem.....	19
Figura 5- Gráficos de distribuição de residuos para modelos de simples Entrada.....	31
Figura 6- Gráficos de distribuição de residuos para modelos de Dupla Entrada.....	40
Figura 7- Gráficos de dispersão dos erros de predição para as equações de Hush e Spurr.....	40

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1- Ficha de campo da colecta de dados.....	50
Anexo 2- Dados usados na distribuição diâtrica do talhão 26 em 2008.....	51
Anexo 3- Dados Usados para a Validação da Melhor Equação de Simples Entrada.....	52
Anexo 4- Dados Usados para a Validação da Melhor Equação de Dupla Entrada.....	53
Anexo 5- Análise da Significância dos coeficientes das equações de Simples Entrada.....	54
Anexo 5- Análise da Significância dos coeficientes das equações de Dupla Entrada.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

%- Percentagem

ASDI- Agência Sueca para o Desenvolvimento Internacional

Cm- Centímetros

CV- Coeficiente de Variação

d- Diâmetro

DAP- Diâmetro á altura de peito (1.3m)

g- Área basal

h- Altura

ha- hectare

hc- Altura comercial

Km<sup>2</sup>- Quilometros quadrados

l = comprimento

m- Metros

MINAG- Ministério da Agricultura

mm- milímetros

Nro - Número

°C- Graus celsius

V - volume da tora (seção)

Vc- Volume comercial

UFRPE- Universidade Federal Rural de Pernambuco

## I. INTRODUÇÃO

### 1.1. Antecedentes

O País possui uma área total de cobertura florestal estimada em 40,1 milhões de hectares (51,4%), onde a maior massa florestal se encontra na província do Niassa (6.0 milhões de hectares), Zambézia (4.1 milhões de hectares), Tete (3.3 milhões de hectares) e Cabo Delgado (3.2 milhões), (Marzoli, 2007).

As primeiras plantações em Moçambique iniciaram no século XIX com o plantio de árvores na então Lourenço Marques hoje Maputo, predominantemente com espécies do género *Eucalyptus* com o objectivo de secar os pântanos existentes na parte baixa da cidade. Em 1920 inicia as plantações com o objectivo de conter as dunas de areia através do plantio de *Casuarina equisetifolia* na foz do rio Limpopo em Gaza, bem como a fixação de dunas junto aos faróis, na ilha da Inhaca, Barra Falsa, Ponta Caldeira, Bazaruto, Ponta do Ouro, Cabo da Boa Paz, Barra de Inhambane (Tofo) e em Závora (MINAG, 2006).

Assim, no período colonial foram estabelecidas cerca de 20.000 ha de plantações florestais com espécies exóticas, maioritariamente de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus patula* e *Casuarina equisetifolia*. A maior parte destas plantações foram estabelecidas em Penhalonga, Rotanda e Sussudenga na província de Manica; Lichinga em Niassa; Alto-Molócue e Gurué na Zambézia; Angónia em Tete; Namaacha, Salamanga, Marracuene e Matola em Maputo; Barra do Limpopo e Bilene em Gaza; e Nhalue em Inhambane (MINAG, 2006).

De acordo com Garlipp e Foelkel (2009), as plantações florestais são espécies introduzidas ou nativas, estabelecidas mediante plantio ou sementeira por um espaçamento regular e de mesma idade, com uma característica versátil tanto em termos de manejo como de objectivos.

As florestas são essenciais para o bem-estar da humanidade. Constitui as fundações para a vida sobre a terra através de funções ecológicas, a regulação do clima e recursos hídricos e servem como habitat para plantas e animais. As florestas também fornecem uma vasta gama de bens essenciais, tais como madeira, comida, forragem, medicamentos e também, oportunidade para lazer, renovação espiritual, emprego, e outros serviços (IFN, 2009).

Segundo Eureka (2001) citado por ASDI (2004), Manica tem a maior área de plantações florestais no país, ocupando cerca de 50% da área total na qual encontram se localizadas nos distritos a Sul da Província de Manica. Em 1975 estas plantações cobriam uma área total de 11 km<sup>2</sup> com pinheiros e eucaliptos como as principais espécies. Em 1986, as plantações florestais estenderam se em 23 km<sup>2</sup> sendo 20 km<sup>2</sup> com pinheiros (*P. patula*, *P. taeda*, *P. elliotte* e *P. kesiya*) e a área restante coberta por *Eucaliptos saligna*. Dados recentes apontam para uma redução para uma área total de cerca de 11 km<sup>2</sup>, constituída por diferentes espécies de Pinheiros e de Eucaliptos, e com uma pequena área de especies nativas.

A floresta de Inhamacari possuía 468,95 ha dos quais 263,10 ha eram usadas por plantações e 184,15 ha eram ocupados por vegetação natural e outros 21,70 ha não discriminados. (DEF, 1999; Pereira (1998) e Chamba (1994) citado por Tuzine (2011). Tais autores 2 destacaram também a existência de seis tipos principais de ocupação de terra para esta floresta, sendo nomeadamente Eucaliptos, Pinus, mata nativa, mistura de Pinus e mata nativa, mistura de Pinus com Eucaliptos e áreas queimadas com árvores dispersas.

Segundo Miguel (2012), A obtenção de estimativas de volume total com casca, tem sido um dos principais objetivos nos estudos florestais, sendo para isso muito utilizado as equações de volume comerciais ou totais, ajustadas de forma independente. Elas servem para estimar volumes individuais de árvores e com base num procedimento de amostragem realizado no campo, utilizando unidades amostrais (parcelas), das mais diferentes formas e tamanho, chega à estimativa de volume por parcelas podendo em seguida ser extrapolado para o hectare e por fim, para toda a população em estudo.

O inventário florestal é um instrumento utilizado para determinar o volume de Madeira num determinado povoamento. Para isso não é necessário cubar todas as árvores de um povoamento, por menor que ele seja. Faz-se na verdade, uma “estimativa” do volume das árvores a partir do volume de algumas árvores que são derrubadas (Batista e Rodrigues, 1989).

## 1.2 Problema e Justificação de Estudo

A madeira produzida nas plantações florestais pode ser destinada para produção de madeira serrada, postes, celulose, estacas, lenha, carvão entre outros. Actividades essas que tornam necessário que se conheça o volume da madeira, esse volume é determinado com maior precisão para cada árvore através da cubagem rigorosa o que eleva os custos devido a colheita dos vários diâmetros ao longo do seu fuste e maior tempo. O presente estudo é realizado com intuito de usar-se apenas duas equações ( uma de simples entrada e outra de dupla entrada), introduzindo se o DAP para a de simples entrada e DAP e Altura para a de dupla entrada das árvores para achar o volume em menos tempo á baixos custos. Na floresta de Inhamacari não existem equações matemáticas para estimar com precisão volumes de *Eucalyptus cloeziana*.

No caso de recursos madeireiros a quantificação do volume das árvores de qualquer floresta é, sem dúvida, uma actividade chave para planificar a sua colheita e o seu aproveitamento. A determinação do volume individual das árvores, com boa precisão é fundamental para determinar o “stock” total da floresta bem como a sua produção (Baima *et al*, 2001).

Normalmente, as equações de volume são específicas para uma determinada espécie, idade e local. Obviamente, os custos envolvidos na obtenção de dados de cubagem rigorosa para construir equações que são específicas para cada espécie, idade, região, são altos. (Jonh Mctague *et al*, 1989).

Segundo Cabacinha (2003), a estimativa do volume da árvore individual é uma actividade muito onerosa e trabalhosa, para obtê-las, é necessário usar algum método de cubagem rigorosa, medir vários diâmetros ao longo do fuste. Sendo assim a estimativa do volume da árvore deve ser feita por meio de equações a fim de reduzir o tempo, medindo apenas o DAP e Altura.

Segundo Guimarães e Leite (1996), o emprego de equações volumétricas constitui o procedimento mais eficiente para a quantificação da produção em volume de um povoamento florestal. Silva (2007) ratifica que o emprego de equações volumétricas desenvolvidas

especificamente para as áreas de manejo florestal se constitui no procedimento mais eficiente, econômico e com precisão aceitável, para a quantificação da produção do volume de madeira da floresta. Apesar da eficiência de alguns modelos, os mesmos nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições, sendo recomendável testá-los por meio de estatísticas adequadas identificando o melhor para cada caso (Thomas, 2006).

## **1.3 OBJECTIVOS**

### **1.3.1 Objectivos Geral**

- ✚ Avaliar Equações de volume com casca existentes para *Eucalyptus cloeziana* na floresta de Inhamacari.

### **1.3.2 Objectivos Específicos**

- ✚ Realizar a cubicagem de algumas árvores de *Eucalyptus cloeziana*, para obtenção do volume real das mesmas
- ✚ Ajustar os modelos de Simples e Dupla Entrada para o povoamento *Eucalyptus cloeziana* na floresta de Inhamacari.
- ✚ Valídar os modelos comparando os volumes estimados pelas equações seleccionadas com o volume real do fuste medido

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

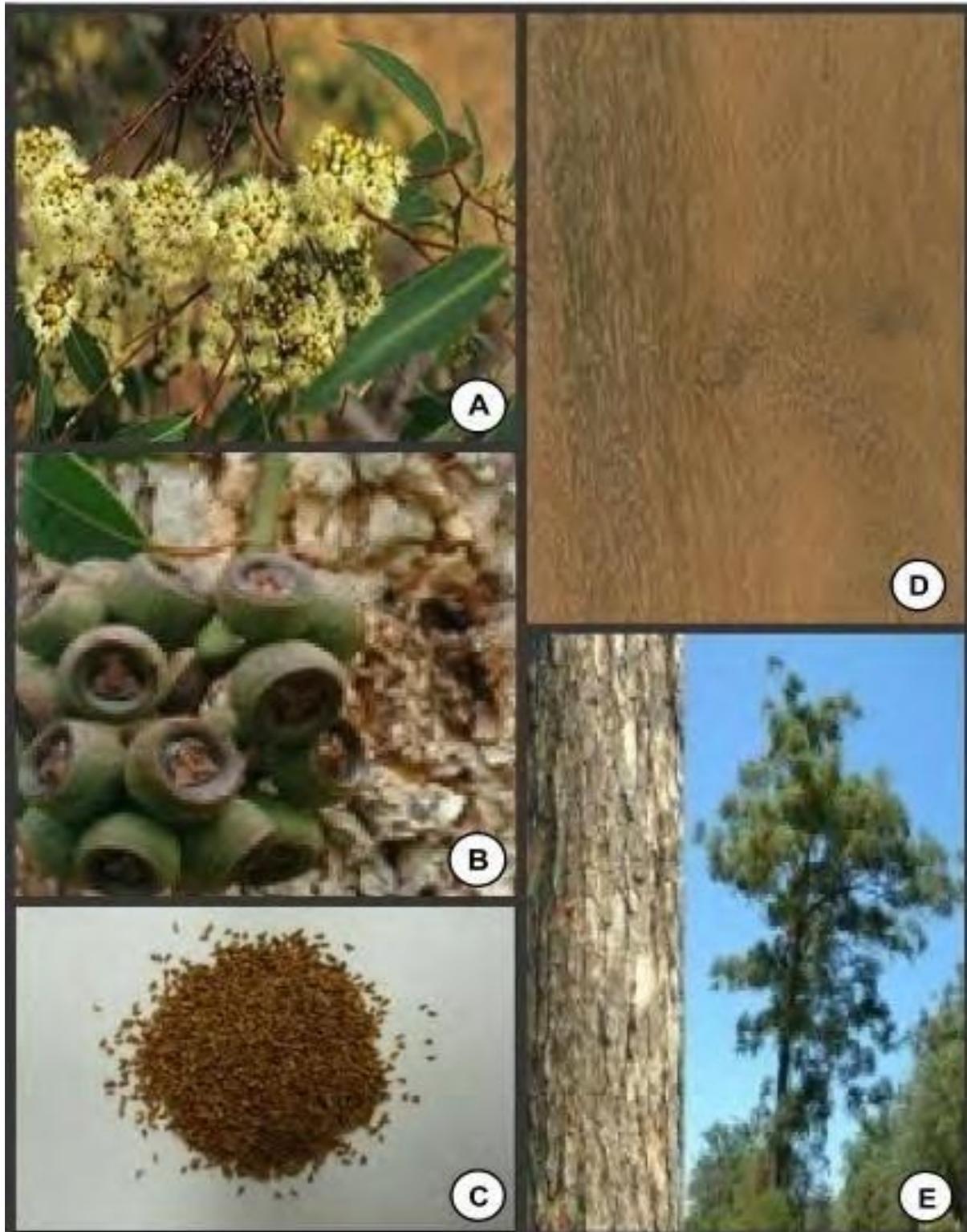
### 2.1 *Eucalyptus cloeziana*

#### 2.1.1 Descrição botânica de *Eucalyptus cloeziana*

O *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, compreendendo 70 gêneros e 3000 espécies de arbustos e árvores. O *Eucalyptus* é representado por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrame natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso (Oliveira *et al*, 1999).

*E. cloeziana* é uma árvore perene, de grande porte podendo atingir até 55 m de altura e 1,5 m de diâmetro, apresentando grandes ramos, sendo os de menores porte flexíveis. A espécie possui folhas simples com inserção foliar alternada, sem a presença de estípulas, tendo o pecíolo achatado, medindo de 1,0 - 1,5 cm de comprimento. Além disso, a lâmina foliar é lanceolada (8,0 - 13,0 cm × 1,0 - 3,0 cm), acuminada no ápice, discolor, com nervuras pinadas (Clarke *et al*, 2009).

Segundo Clarke *et al*, (2009), a floração ocorre de novembro a fevereiro na Austrália, as flores são brancas, monoclinas, regulares com pedicelo medindo de 1,0 - 4,0 mm e os botões florais tem a forma globular a ovóide, dividido em hipanto hemisférico. O fruto é uma cápsula hemisférica a globular, incluído em um hipanto amadeirado (5,0 - 10,0 mm × 6,0 - 12,0 mm), que se abre em 3 - 4 válvulas exsertas, com muitas sementes. As sementes apresentam formato cúbico ou alongado com coloração castanho-amarelada (Clarke *et al*, 2009).



**Figura 1:** A: Inflorescências, B: Frutos; C: Sementes; D: madeira; E: fuste de *Eucalyptus cloeziana*.

Fonte: Oliveira (2014).

### **2.1.2 Ocorrência natural**

*Eucalyptus cloeziana* é uma espécie endêmica, ocorrendo naturalmente em parte leste do estado de Queensland na Austrália, próximo à costa, entre as latitudes 15 - 27° S. Na região de ocorrência natural do *E. cloeziana* o clima é quente e subúmido a húmido, com temperatura média do mês mais quente entre 29 e 34 °C, e a média das mínimas do mês mais frio, entre 5 e 18 °C, podendo ocorrer fracas geadas em até 5 dias por ano, isto nas baixas altitudes nas populações do norte. A precipitação pluviométrica média anual varia de 550 a 2300 mm, concentrando-se no verão. (Jonavovic e Booth, 2002)

Plantações de *E. cloeziana* também foram estabelecidas em outras regiões do mundo. No sul da África o *E. cloeziana* é considerado uma das mais importantes espécies para reflorestamento, sendo plantado com sucesso no Congo, Quênia, Malawi, Nigéria, Moçambique, África do Sul, Zimbábwe, Uganda, e Zâmbia (Moura e Guimarães, 2003).

### **2.1.3 Aplicações de *Eucalyptus cloeziana***

Actualmente, do eucalipto quase que tudo se aproveita. Das folhas extraem-se oleos essenciais empregados em produtos de limpeza, alimentícios, perfumes e até em remédios. O tronco fornece madeira para sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose; mais importante, talvez, é que os eucaliptais absorvem aproximadamente bilhões de toneladas de carbono, o que é uma contribuição vital à campanha mundial para fazer com que o planeta continue habitável face ao pernicioso efeito estufa, (Queiroz e Barrichelo, 2007).

## **2.2 Amostragem**

Amostragem é a selecção de uma parte (amostra) de um todo (população), coletando na parte seleccionada dados e informações de relativo interesse, com o objectivo de tirar conclusões (inferência) sobre o todo. Pois, principalmente por razões económicas não podemos realizar um censo. Censo é o termo usado quando observamos, medimos ou contamos todos os indivíduos da população (Bravo *et al*, 2003).

### **2.2.1 Amostragem Aleatória Simples**

A seleção das unidades amostrais parte do pressuposto de que todas as combinações possíveis de unidades amostrais têm igual probabilidade de serem seleccionadas para compor o conjunto que consistirá no inventário florestal (Netto e Brena, 1997).

### **2.2.2 Amostragem Sistemática**

O processo de amostragem sistemática consiste em estabelecer a aleatoriedade apenas da primeira unidade amostral, sendo que, posteriormente, as demais unidades amostrais serão locadas segundo um padrão sistemático de distribuição espacial (Netto e Brena, 1997).

### **2.2.3 Amostragem Estratificada**

O processo de amostragem estratificada consiste em dividir a população amostrada em algumas classes ou estratos (sub-populações homogêneas internamente distintas entre si), de modo que dentro desses se reduza a variabilidade da variável de interesse (Sanqueta *et al*, 2009).

## **2.3 Medidas na dendrométria**

Medidas básicas são comprimento ou distância, peso e tempo. Na dendrometria a altura, o diâmetro ou a circunferência e o peso são medidas básicas. As outras, tais como área transversal, volume e forma constituem-se medidas derivadas. Dentro deste contexto, para Silva e Netto (1979), as medidas podem ser consideradas como medidas directas, indirectas ou estimadas.

### **2.3.1 Medida Directa**

A medida directa é feita directamente sobre a árvore ou sobre seus produtos. Enquadram neste caso as medições de diâmetro de árvores em pé ou derrubadas, medidas do diâmetro nas extremidades de tora, espessura de casca, etc. A medida directa envolve o contacto do operador com o objecto a ser medido.

### **2.3.2 Medida Indirecta**

As medidas indirectas são aquelas feitas sem que haja contacto directo do operador com o objecto medido. São feitas à distância, ou então, provenientes de transformação de medidas básicas.

Medidas de alturas de árvores em pé, medições de diâmetro a alturas inacessíveis, área transversal, volume e forma são consideradas medidas indirectas.

## **2.4 Erros de medição**

Ao tomar uma medida qualquer, pode-se cometer vários tipos de erros que podem ser minimizados quando identificáveis, e quando houver manejo correto dos aparelhos medidores.

Erro significa desvio do valor real, estando associado à idéia de inacurado ou inexato e não a idéia de errado. Machado e filho, (2003), de um modo geral os erros podem ser classificados em sistemáticos, compensantes, de estimativa e acidentais.

### **2.4.1 Erros Sistemáticos**

Os erros sistemáticos são os mais comuns, em geral causados por defeitos nos instrumentos ou pela inabilidade do operador em manuseá-los.

### **2.4.2 Erros Compensantes**

Os erros compensantes independem do instrumento e do operador. São os erros produzidos ao arredondar cifras ou aproximar valores.

### **2.4.3 Erros de Estimativa**

Os erros de estimativa são os erros inerentes ao processo de medição em que se mede apenas parte da população para se fazer inferência a respeito da mesma. São erros provenientes da variação existente entre as unidades de amostra medidas.

### **2.4.4 Erros Acidentais**

Os erros acidentais são os erros cometidos por engano ou descuido do operador ou do registrador da informação.

## **2.5 Regressão**

Regressão é o estudo entre duas variáveis ou grupos de variáveis onde se procura estimar o valor de uma variável a partir do conhecimento de outra variável. A regressão é considerada Linear quando todos os expoentes das variáveis independentes são iguais a 1. Quando há duas ou mais variáveis independentes ( $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ ) envolvidas no modelo, a regressão é considerada Linear Múltipla (Francez, *et al* 2010).

Segundo os mesmos autores a equação é considerada não linear quando o expoente é diferente de 1, caso a equação se apresentar de forma não linear, se torna necessário a linearização da mesma logarítmizando a equação.

## **2.6 Modelos Volumétricos**

Os modelos volumétricos expressam a relação do volume com outras variáveis da árvore, como DAP, altura, entre outros. A fonte de informação para a construção deste tipo de ajuste vem da cubagem rigorosa, a qual deve representar as árvores do povoamento. Assim, com base no volume real medido (cubagem) e nas variáveis dendrométricas medidas (DAP e altura) faz-se construção de modelos para expressar esta relação (Sanqueta *et al*, 2009).

## **2.7 Volume**

O volume de árvores tem sido estimado com certa facilidade e acuracidade empregando-se equações de volume, ajustadas quase sempre a partir de medições do diâmetro à altura do peito e da altura total (Conceição, 2004).

## **2.8 Equação de simples, dupla e tripla entrada para Estimativa de Volume**

Thiersch *et al*, (2006), afirmam que nas equações de simples entrada: o volume é estimado em função somente do diâmetro das árvores. São normalmente aplicadas quando a correlação entre o diâmetro (d) e a altura (h) for muito forte, ou seja, onde há bastante homogeneidade no desenvolvimento em altura das árvores de mesmo diâmetro. As equações de dupla entrada: o volume é estimado em função do diâmetro e da altura. São aplicadas para povoamentos em que há uma maior heterogeneidade no desenvolvimento da altura das árvores com mesmo diâmetro. Neste caso, o diâmetro não está fortemente correlacionado com a altura, ou seja, o diâmetro não explica bem o desenvolvimento da altura. As equações de tripla entrada: o volume é estimado em função do diâmetro, da altura e de uma medida que expressa a forma da árvore.

## **2.9 Cubicagem**

Consiste em dividir o fuste de uma árvore em várias secções de comprimentos requeridos para a detenação dos volumes. Os volumes são determinados através da medição de diâmetros sucessivos ao longo do fuste empregando as fórmulas estabelecidas. Segundo Rodrigues *et al*. (2009), os métodos de cubicagem podem ser:

### 2.14.1 Cubagem por Smalian

Neste método os diâmetros ou as circunferências são medidos nas extremidades de cada seção e o volume é calculado como segue.

$$v = \left( \frac{(g_1 + g_2)}{2} \right) \times l$$

Sendo:

v = volume da tora (seção)

g1 = área transversal na base da tora

g2 = área transversal no topo da tora

l = comprimento da tora

### 2.14.2 Cubagem por Huber

Neste método o diâmetro ou a circunferência é medido na metade da seção e o volume é calculado como segue

$$v = g_m \times l$$

Sendo:

g<sub>m</sub> = área transversal na metade da seção

### 2.14.3 Cubagem por Newton

Este método exige que os diâmetros ou as circunferências sejam medidos em 3 posições ao longo de cada seção, sendo, portanto, o método mais trabalhoso. Em contrapartida, o volume da tora ou da seção será mais acurado, sendo calculado como segue:

$$v = \left( \frac{(g_1 + 4g_m + g_2)}{6} \right) \times l$$

## **2.15 Critério de seleção da Melhor Equação para a Estimativa de Volume de Árvore em pé.**

Segundo Azevedo (2009), Para a seleção da melhor equação necessita dos seguintes critérios estatísticos:

- ✓ Análise da variância;
- ✓ Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ );
- ✓ Erro padrão da estimativa em (Syx) e em percentagem (Syx%);
- ✓ Análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente.

### **2.15.1 Análise da variância**

A avaliação da análise da variância, soma de quadrados dos resíduos (SQR), quadrado médio dos resíduos (QMR) e teste “F” para o modelo completo consiste no primeiro passo do processo de seleção (Figueiredo, 2005).

O teste de “F” é uma estatística obtida por meio da análise de variância da regressão e indica se há significância no ajuste a determinado nível de probabilidade, por meio da comparação do valor de “F” calculado com o valor de “F” tabelado. Quando o valor de “F” calculado é maior que o F tabelado, a regressão é significativa ao nível de probabilidade desejada.

Para a obtenção do “F” tabelado levará se em consideração os graus de liberdade da regressão e do erro em função do nível de probabilidade desejado.

### **2.15.2 Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{ajus}$ )**

De acordo com Machado (2002), o  $R^2$  expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de 1 for o valor de  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste.

O Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$ ) é calculado usando se a seguinte formula:

### **Coeficiente de Determinação**

$$R^2 = \left[ 1 - \left( \frac{SQ_{resíduo}}{SQ_{total}} \right) \right]$$

$R^2$  = coeficiente de determinação;

SQresíduo = soma dos quadrados dos resíduos;

SQtotal = soma dos quadrados do total.

### **Coeficiente de Determinação Ajustado**

$$R^2_{Ajustado} = \left[ 1 - \left( \frac{(1 - R^2) \times (n - 1)}{n - p - 1} \right) \right]$$

Onde:

$R^2_{Ajustado}$  = coeficiente de determinação ajustado;

$R^2$  = coeficiente de determinação;

n = número de dados utilizados no ajuste;

p = número de parâmetros, com exceção do intercepto.

### **2.15.3 Erro padrão da estimativa (Syx) e em percentagem (Syx%)**

Erro padrão da estimativa em  $m^3$  (Syx) e em percentagem serão estimados com as seguintes fórmulas:

#### **Erro padrão da estimativa**

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res.}}$$

Syx = Erro-Padrão da Estimativa;

QMres. = Quadrado Médio do resíduo, obtido na análise da variância.

#### **Erro padrão da estimativa Percentual**

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100$$

Onde:

Syx = erro padrão da estimativa (recalculado onde foi necessário);

y = média aritmética real da variável dependente.

#### **2.15.4 Análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente**

Os valores dos resíduos são obtidos pela diferença entre os valores observados da variável dependente (volume) e os valores estimados pela equação.

Segundo Scolforo *et al.* (2004), a análise da distribuição gráfica dos resíduos é um critério importante pois possibilita a verificação do ajuste da equação ao longo de toda a amplitude dos dados. Esta análise é decisiva na avaliação da qualidade das estimativas, pois permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo de toda a linha de regressão, permitindo a tomada de decisão quanto a utilização ou não do modelo.

Para obter esse gráfico, plota-se os resíduos (eixo das ordenadas) contra os valores ajustados do modelo de regressão (eixo das abscissas).

#### **2.16 A validação das equações**

Segundo Monteiro (2009), A validação das equações de regressão selecionadas, para estimar volume das árvores na área de estudo, será feita através do Teste Qui – Quadrado ( $\chi^2$ ) que serve para comparar proporções, e seu princípio básico é comparar possíveis divergências entre as frequências observadas e esperadas para um certo evento. Seu cálculo é realizado através da fórmula:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(O_i - E)^2}{E} \right)$$

Onde:

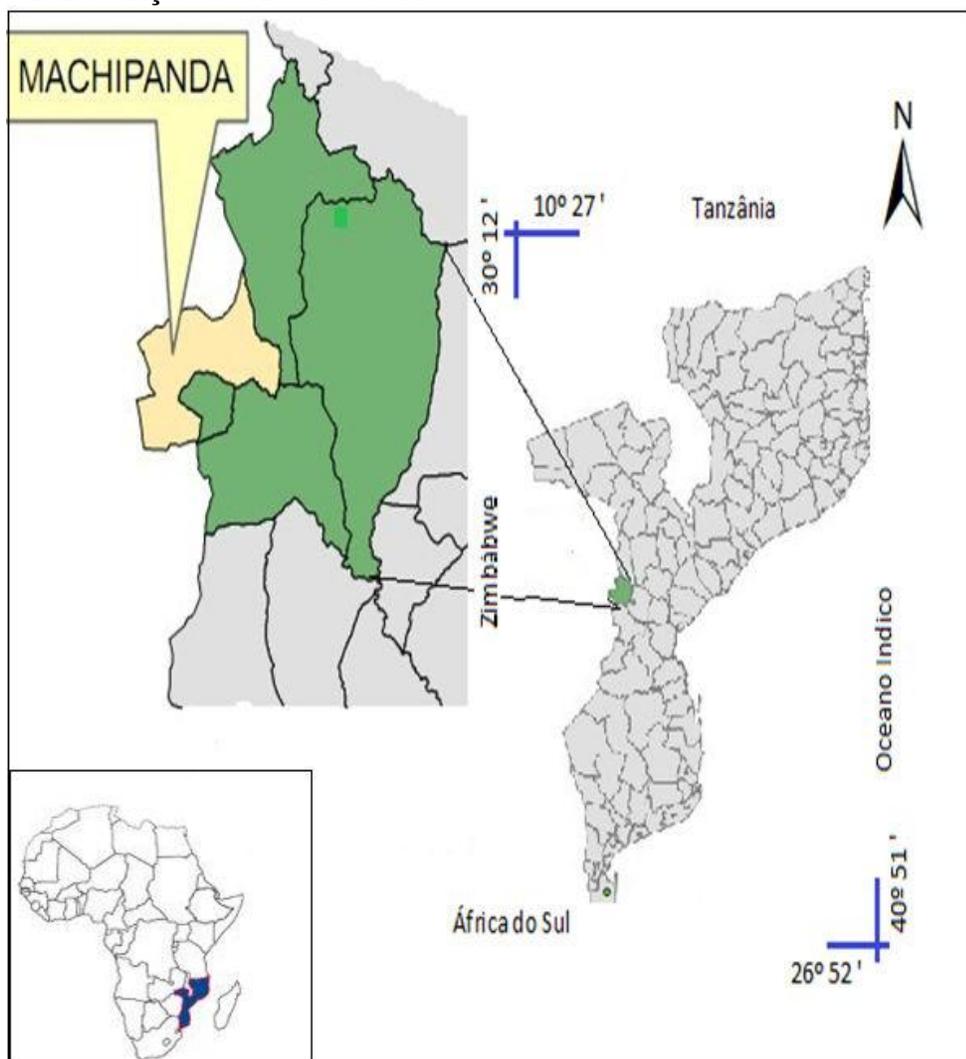
O – Frequência Observada (Volume real)

E- Frequência Estimada (Volume estimado pelo modelo de regressão)

O qui-quadrado calculado será comparado com qui quadrado crítico, quando o qui-quadrado calculado for menor que o crítico, a equação selecionada será validada para estimar o volume individual da população em estudo, caso contrário a equação será invalidada.

### III. MATERIAIS E METÓDOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo



**Figura 2** - Localização geográfica da área de estudo em Moçambique.

FONTE: Tuzine *et al.* (2011).

O distrito de Manica, tem uma superfície de 4.594 km<sup>2</sup>, localiza-se na região central a oeste da província de Manica.

A localidade de Machipanda localiza-se a 25 km da sede do distrito de Manica e a 6 km da fronteira com o Zimbábwe. É limitado a norte e a oeste pela República do Zimbábwe, a sul pela vila do Posto Administrativo de Machipanda e a leste pela comunidade local, numa latitude

meridional variando de  $18^{\circ} 55' 45''$  e  $18^{\circ} 57' 56''$  e longitude oriental entre  $32^{\circ} 41' 52''$  e  $32^{\circ} 44' 57''$ .

O clima segundo a classificação climática de Köppen é do tipo temperado húmido (Cw) com precipitação média anual de 1000 mm. Na região, observam-se duas estações bem distintas, a estação chuvosa e a seca. A estação chuvosa ocorre de Novembro a Abril e temperatura média anual é de  $21,2^{\circ}\text{C}$  (Moçambique, 2005).

Segundo Chamba (1994), os solos de Inhamacari são vermelhos a castanhos, arenosos a argilosos, óxidos de textura média e dístricos. São de fácil erosão e baixa retenção de água, sendo pobres para agricultura. Por isso são utilizados para florestas, estas são mais resistentes a erosão e mais tolerantes a seca, relativamente às culturas agrícolas.

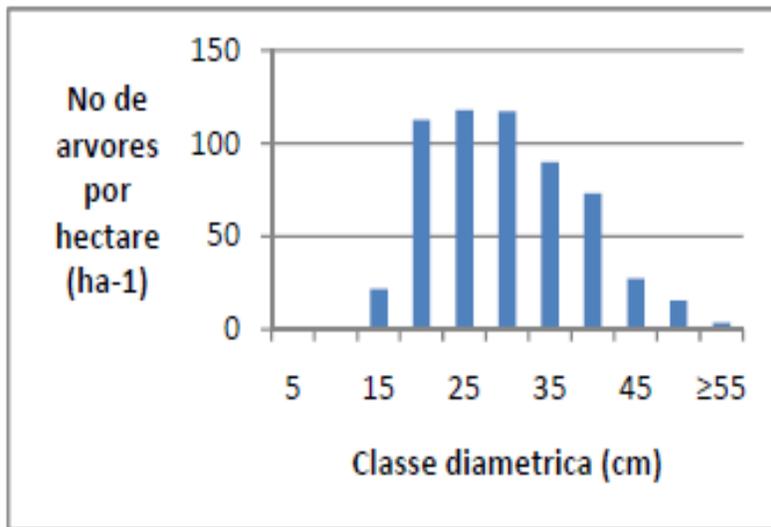
### **3.2 Colheita de Dados**

O trabalho em estudo foi realizado em povoamentos de *Eucalyptus cloeziana*, talhão 26 da numeração recente e 39 da antiga, com uma idade de 44 anos, espaçamento de  $2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$  entre os indivíduos, correspondente a uma densidade inicial de 1600 árvores por hectare. Os povoamentos estudados nunca beneficiaram-se de tratamentos silviculturais desde seu estabelecimento.

### **3.3 Cubicagem rigorosa**

As 115 árvores cubicadas rigorosamente foram escolhidas baseando-se na distribuição diamétrica do povoamento de *Eucalyptus cloeziana* realizado por Magalhães, (2008), estado sanitário e retidão do fuste. As classes de diâmetro adoptadas têm como DAP mínimo de 5 cm e intervalo de classe de 5.

A figura 3 abaixo mostra a distribuição diamétrica do povoamento de *Eucalyptus cloeziana* realizado em 2008.



**Figura 3:** Distribuição diámetrica do talhão 26 de *Eucalyptus Cloeziana*

Fonte: Magalhães (2008).

As árvores cubicadas foram selecionadas em dois pontos do talhão 26 da numeração recente e 39 do número antigo. Para cada árvore amostrada foram realizadas medições da altura comercial (hc) e diâmetro altura do peito (DAP). Baseando-se no estudo realizado por Silva *et al.*, (2011), os diâmetros foram medidos nos comprimentos de 2 m em 2 m e assim sucessivamente até atingir a altura comercial.

A



B



C



D



**Figura 4:** Sêquencia de actividades da colheita de dados para a cubicagem: (A) Selecção das árvores; (B) Derrube das árvores do; (C) e (D) Seccionamento e medição dos diâmetros da base até ao ápice do fuste.

Após a tomada dos diâmetros nos pontos marcados ao longo do fuste, achou-se os volumes individuais através do método de Smalian. Com o procedimento da cubagem rigorosa foi possível obter, o volume real com casca para cada indivíduo com a combinação das seguintes fórmulas:

### 3.4 Volume em cada secção no comprimento de 2 m

$$V = \frac{(g_1 + g_2)}{2} \times l \quad (\text{Azevedo, 2009})$$

Onde:

$g_1$ - Área basal da base da secção,  $g_2$ - Área basal do topo da secção e  $l$ - comprimento de 2m

Volume da última secção

$$V = \frac{g}{3} \times l \quad (\text{Azevedo, 2009})$$

Onde:

$g$ - Área basal da base na ultima secção do fuste e  $l$ - comprimento de ultima secção do fuste

Desta forma o volume da árvore foi:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (\text{Azevedo, 2009})$$

Onde:

$V$ - volume da árvore;  $V_1$  = volume da 1ª secção;  $V_2$  = volume da 2ª secção;  $V_3$  = volume da 3ª secção e  $V_n$  = volume da última secção

**Tabela 1** Frequência de árvores cubicadas para o povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, nas diferentes classes de diâmetros.

Nro de classes	Intervalo de classes ( cm)	Nro de árvores cubicadas
1	[5-10[	17
2	[10-15[	15
3	[15-20[	17
4	[20-25[	17
5	[25-30[	17
6	[30-35[	14
7	[35-40[	10
8	[40-45[	7
9	[45-50[	1
Total		115

### 3.5 Análise de dados

Os dados dendrométricos foram processados usando o pacote estatístico Microsoft Excel 2007 e as regressões foram geradas através do “ *Data-Data Analysis*” introduzindo-se a variável dependente (volume) e as variáveis independentes (DAP e altura). Com os dados fez-se a estatística descritiva, achou-se os coeficientes das equações, ajustou se os modelos e construiu-se os gráficos de resíduos.

### 3.6 Modelos testados

Para o ajuste das equações foram testados seis (6) modelos de simples entrada e dez (10) modelos de dupla entrada.

**Tabela 2:** Modelos volumétricos de simples entrada ajustados

Autores	Modelo
Kopezky-Gehhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Berkhout	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} + \varepsilon$
Husch	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \varepsilon$
Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \beta_2 \frac{1}{dap} + \varepsilon$

**Tabela 3 :** Modelos volumétricos de dupla entrada ajustados

Autores	Modelo
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 h + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} h^{\beta_2} + \varepsilon$
Honner	$V \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{h}} + \varepsilon$
Ogaya	$V = dap^2 (\beta_0 + \beta_1 h) + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 h + \beta_3 h + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 h + \beta_3 daph^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon$
Takata	$V = \frac{dap^2 h}{\beta_0 + \beta_1 dap} + \varepsilon$
Spurr (log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(dap^2 h) + \varepsilon$
Schumacher-Hall Log	$LnV = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \beta_2 * Ln(h) + \varepsilon$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 daph + \beta_4 dap^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$

V = Volume (m<sup>3</sup>); dap = Diâmetro a altura do peito 1,30 m; Ln = Logaritmo natural;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  = Parâmetros a serem estimados; h = Altura comercial (m)

### 3.7 Critério Usados para Escolha da Melhor Equação.

A escolha da melhor equação foi baseada nas estatísticas, Coeficiente de determinação Ajustado ( $R^2_{ajus\%}$ ), Desvio Padrão dos Resíduos em percentagem ( $S_{yx}\%$ ), e Análise Gráfica dos Resíduos.

Na comparação das equações de unidades diferentes na variável dependente (por exemplo, equações logarítmicas e equações aritméticas), foi necessário recalcular erro transformando os valores logarítmicos para aritméticos utilizando-se o Índice de Furnival para efetuar o recálculo

A melhor equação é aquela que apresentou, respectivamente, o maior Coeficiente de Determinação Ajustado, menor Desvio Padrão dos Resíduos e com os gráficos dos resíduos sem tendenciosidade e com os resíduos contidos numa banda horizontal, abaixo e acima do eixo das abscissas, de tal modo que os erros de subestimação se anulem com os de sobrestimação (não exibindo heterodasticidade)

Coeficiente de determinação

$$R^2 = \left[ 1 - \left( \frac{SQ_{residuo}}{SQ_{total}} \right) \right]$$

Coeficiente de determinação ajustado

$$R^2_{Ajustado} = \left[ 1 - \left( \frac{(1 - R^2) \times (n - 1)}{n - p - 1} \right) \right]$$

Erro padrão da estimativa ( $S_{yx}$ ) e em percentagem ( $S_{yx}\%$ )

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{res.}}$$

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100$$

Onde:

$SQ_{residuo}$  -soma dos quadrados dos residuos,  $SQ_{total}$ - soma dos quadrados do total,  $R^2_{Ajustado}$  -coeficiente de determinação ajustado,  $R^2$ - coeficiente de determinação, n-número de dados utilizados no ajuste, p-número de parâmetros,  $S_{yx}$ - Erro Padrão da Estimativa,  $QM_{res.}$  -

Quadrado Médio do resíduo,  $S_{yx}$  - erro padrão da estimativa,  $y$  - média aritmética real da variável dependente,  $O$  – Frequência Observada (Volume real) e  $E$ - Frequência Estimada (Volume estimado pelo modelo de regressão).

### Índice de Furnival

Para os modelos matemáticos em escala logarítmica que fornecem o logaritmo do volume, calculou-se o antilogaritmo para obter o volume. Essa operação matemática ocasiona um erro chamado de discrepância logarítmica, para a correção do erro de logaritmo natural utilizou-se o Factor de Correção de Meyer.

$$IF = \left( e^{\frac{\sum \ln y}{n}} \right) * S_{xy}$$

### 3.8 Validação

Para a validação, usou se dados de 16 árvores que não foram usadas para o ajuste das equações, onde foram retiradas 2 em cada classe diâmetrica, exepcto a última classe que contém apenas uma árvore. Fez-se a validação, através do uso do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) e a análise gráfica dos erros de predição.

Teste Qui – Quadrado ( $\chi^2$ )

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(O_i - E)^2}{E} \right)$$

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estatística Descritiva dos dados

Na Tabela 4 são apresentados os resultados das estatísticas descritivas das variáveis medidas em campo DAP, Altura Comercial e o volume real calculado das 115 árvores amostras, que foram utilizadas para o ajuste dos modelos testados para *Eucalytus cloeziana*.

**Tabela 4:** Estatística Descritiva de Dap, Altura Comercial e Volume

Parâmetros	Min	Max	Med	CV(%)	D.padrão	Var	OBS
DAP ( cm)	5	48	22.89	48.72	11.15	124.34	115
Altura Comercial(m)	8.6	42.9	25.42	36.48	9.27	86.008	115
Volume (m <sup>3</sup> )	0.0094	2.76	0.76	98.61	0.75	0.56	115

Legenda: Min-minímo, Max- maximo, Med- média, CV (%) - Coeficiente de variação, Var- variância, D.padrão- desvio padrão e OBS-número de observações.

Na Tabela 4 observou-se que a variável DAP tem o mínimo de 5 cm e 48 cm de maximo, uma média de 22.89 cm e com maior variância (124.34 cm) em relação á altura comercial (86.008) e volume (0.56).

Em relação altura comercial, a média foi de 25.42 m, as árvores com maior altura são de 42.9 m e menor altura são de 8.6m.

O volume real, destacou apresentando o maior CV (98.61 %), enquanto que DAP apresentou CV (48.72%) e altura comercial com menor valor de CV (36.48%) .

### 4.2 Ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume comercial com casca.

Foram ajustados seis (6) modelos de simples entrada para a obtenção dos volumes comerciais com casca. A Tabela 5 mostra os resultados dos coeficientes das equações volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume comercial com casca do povoamento.

**Tabela 5:** Resultados de coeficientes Estimados de Equações de simples entrada para estimar o Volume Comercial no povoamento de *Eucalyptus cloeziana*.

Autores	Equações Ajustadas
Kopezky- Gehrardt	$V_c = -0.11758 + 0.001341 \cdot dap^2$
Dissescu-Meyer	$V_c = -0.016511236dap + 0.001674916 \cdot dap^2$
Hohenaldl-Krenm	$V_c = 0.044967234 + (-0.016511236 \cdot dap) + 0.001674916 \cdot dap^2$
Berkhout	$V_c = -0.665756231 \cdot dap^{0.06161301}$
Husch	$\ln V = -8.5907774941 + 2.530583917 \ln dap$
Brenac	$\ln V = -8.566033065 + 2.52411055 \ln dap + (-0.088251804 \frac{1}{dap})$

### 4.3 Escolha da Melhor Equação

A Tabela 6 apresenta as estatísticas de ajuste e precisão, calculadas para os modelos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume comercial com casca, em função do DAP do povoamento de *Eucalyptus cloeziana*.

**Tabela 6:** Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de simples entrada ajustados para a estimativa do Volume Comercial de *Eucalyptus cloeziana*.

<b>Autores</b>	<b>Fcal</b>	<b>Fcrt</b>	<b>Sxy (%)</b>	<b>R<sup>2</sup>aj (%)</b>	<b>IF (%)</b>
Kopezky- Gehrardt	2740.224	3.939126	18.47	96.55	
Dissescu-Meyer	1518.019	3.091191	17.58	96.87	
Hohenaldl-Krenm	1518.019	3.091191	17.58	96.87	
Berkhout	750.0869	3.939126	33.80	88.43	
Husch	10849.47	3.939126		99.105	6.698
Brenac	5369.151	3.091191		99.095	6.732

De acordo com a tabela 6, as estatísticas dos resultados da análise de variância indicam que todas regressões são significativas, pois em todos casos os valores de F calculado (Fcal.) são maiores que os valores de F crítico (Fcrt.).

Na Tabela 6, encontram-se os resultados das equações ajustadas para estimar o volume comercial. Observa-se que os valores de Coeficiente de Determinação Ajustado variaram de 88.43% a 99.105% e os valores de Erro Padrão de Estimativa variaram, de 6.698 a 33.80%. O modelo Berkhout apresentou os piores valores para o ajuste com maior valor de Erro Padrão de Estimativa de 33.80% e o mais baixo valor de Coeficiente de Determinação Ajustado com 88.43%. Os modelos de Husch e Brenac foram os modelos que apresentam os melhores resultados de ajuste com 99.105 e 99.095 de Coeficiente de Determinação Ajustado e Índice de Furnival de 6.698 e 6.732 respectivamente.

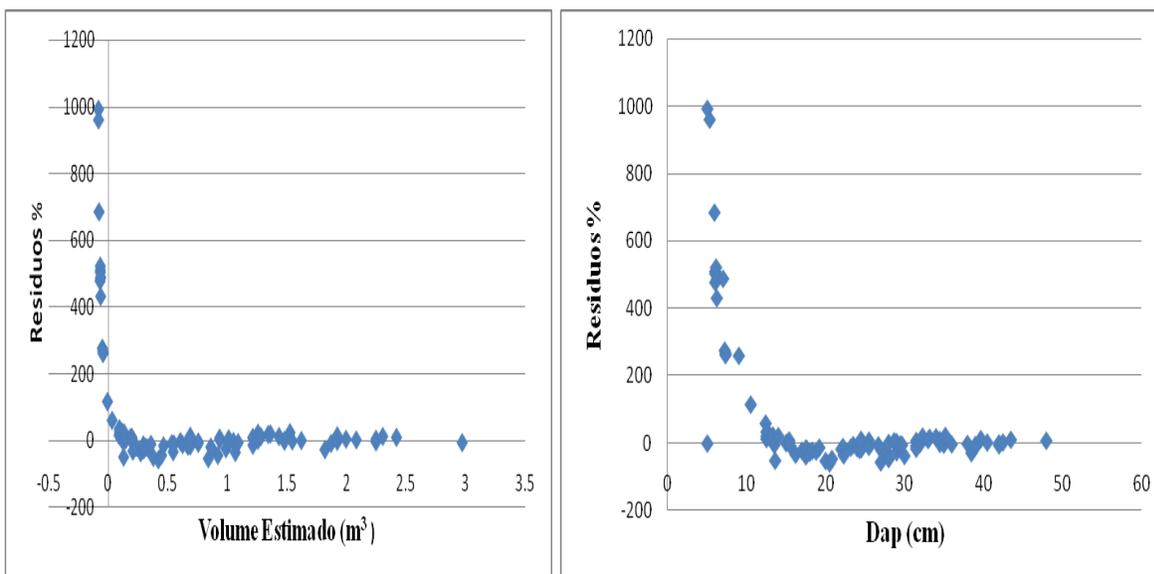
Dentre as seis equações dos resultados acima ilustrado de simples entrada, ou seja a que apresentou os melhores resultados para os indicadores de seleção utilizados, maior Coeficiente

de Determinação Ajustado ( $R^2_{aj}$ ), menor Desvio Padrão de Estimativa foi a equação  $\ln V = 8.5907774941 + 2.530583917 \ln dap$ , de Hush, com  $R^2_{aj}$  de 99.105% e IF de 6.698 % que equivale ao Erro Padrão.

De acordo com Guimarães (1994) citado por Monteiro (2009), diz que quando a variável independente for apenas o DAP, a sugestão é o uso do modelo de Hush, que embora apresente um  $Syx\%$  maior que 10%, apresentam  $R^2_{aj}$  maior que 90 %, permitindo a aceitação do modelo. Entretanto, sua tendenciosidade também sugere cautela no seu uso, devendo ser testado com o maior número possível de árvores de grande porte.

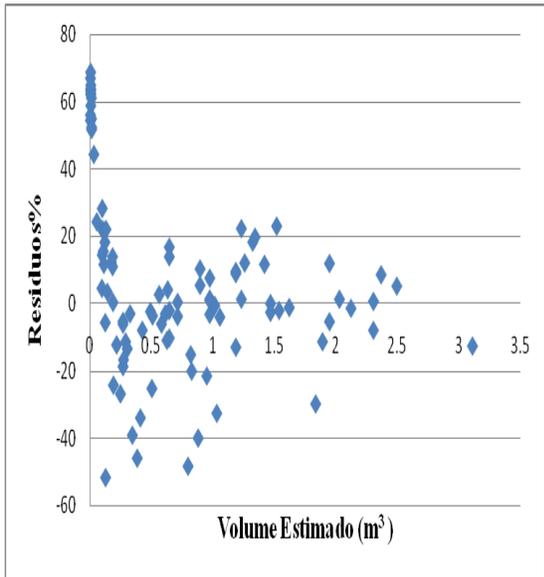
Miguel *et al.* (2010) trabalhando com *Eucalyptus grandis* também constatou que a equação de Brenac e a equação de Hush apresentaram um valor superior aos outros modelos para o Coeficiente de Determinação Ajustado igual a 98,77% para o modelo de Brenac, e 98,70% para o modelo de Hush.

A escolha da melhor equação de simples entrada, para estimar o volume comercial do povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, foi realizada com o auxílio da distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP e Volume estimado, conforme mostra a Figura 5 abaixo.

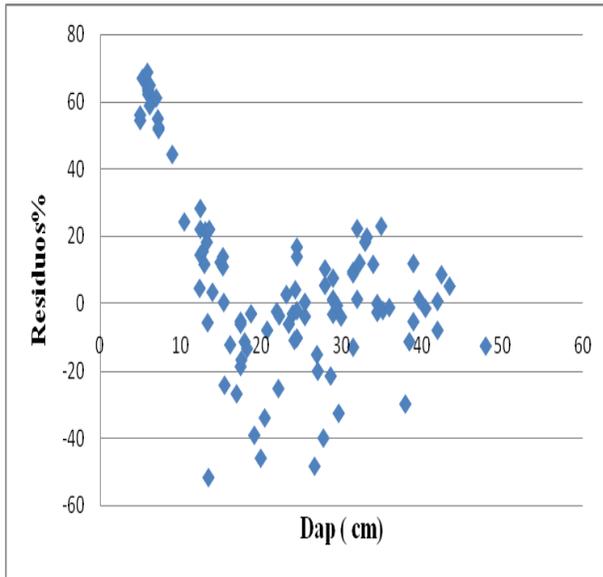


Kopezky- Gehardt

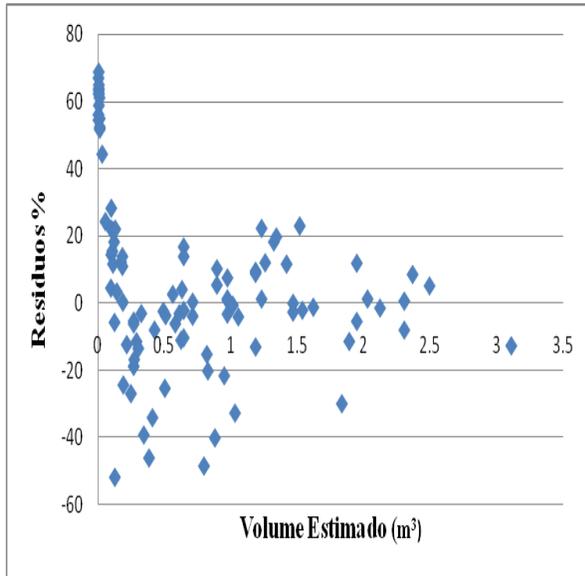
Kopezky- Gehardt



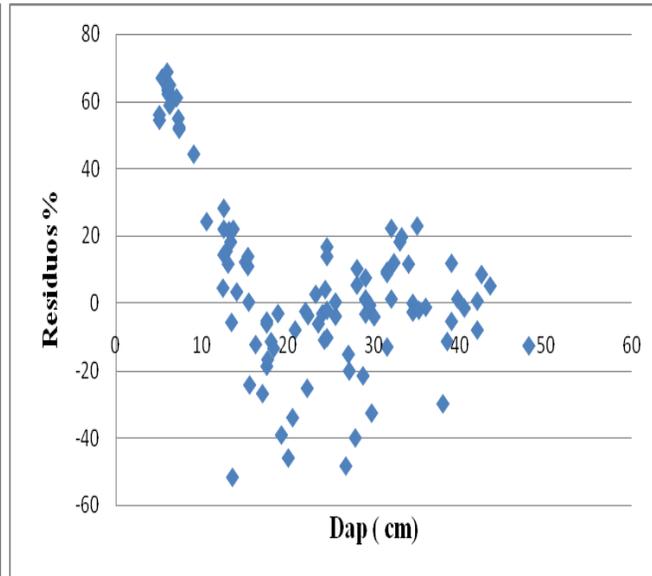
Dissescu-Meyer



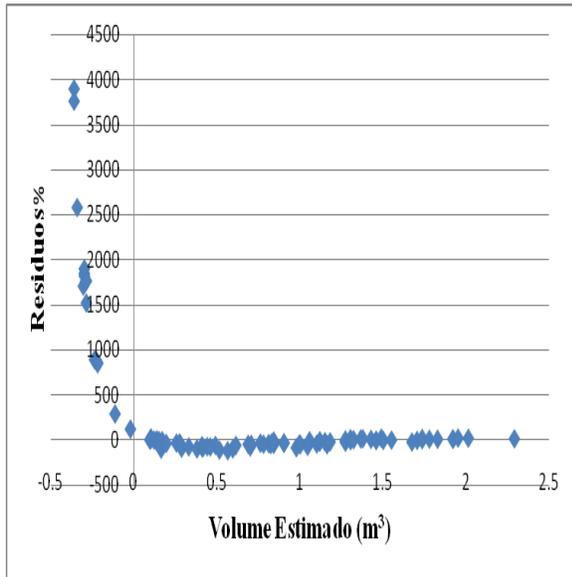
Dissescu-Meyer



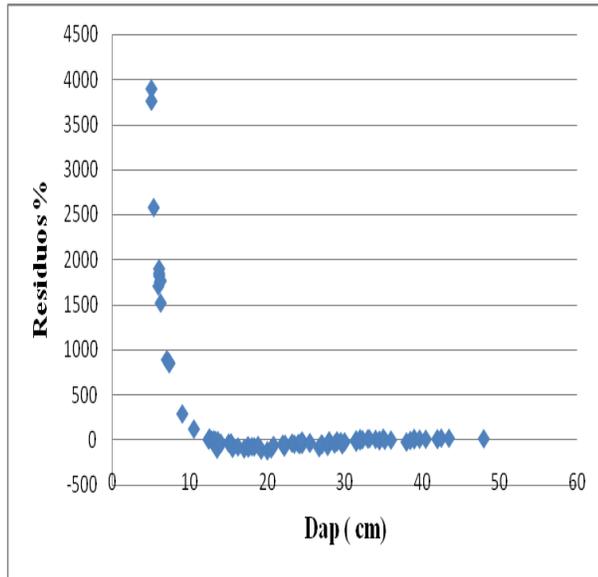
Hohenaldl-Krenm



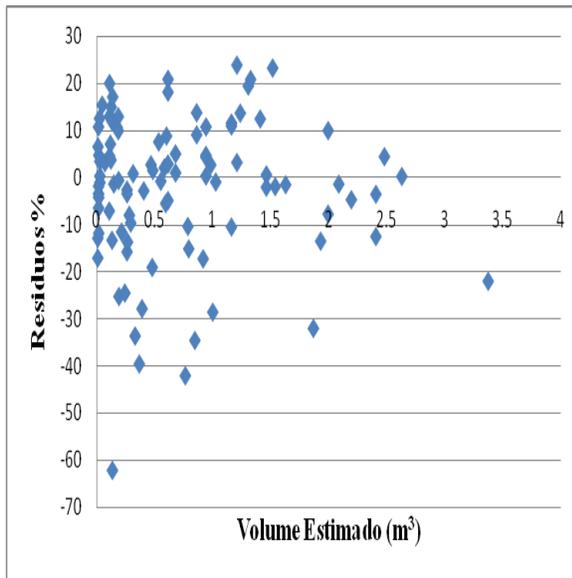
Hohenaldl-Krenm



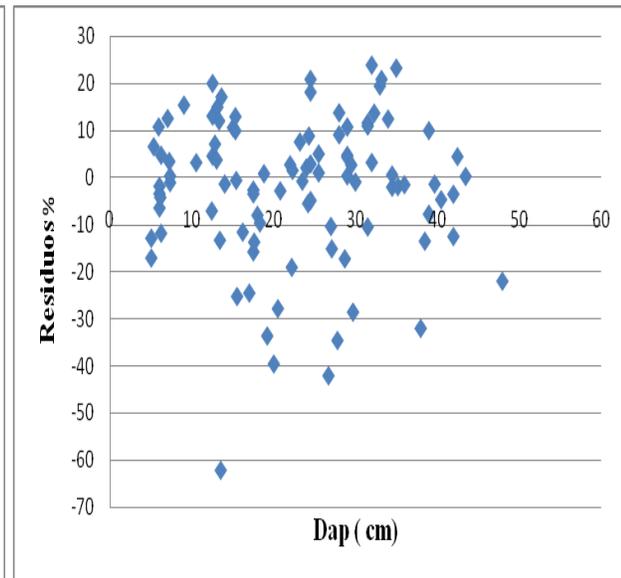
Berkhout



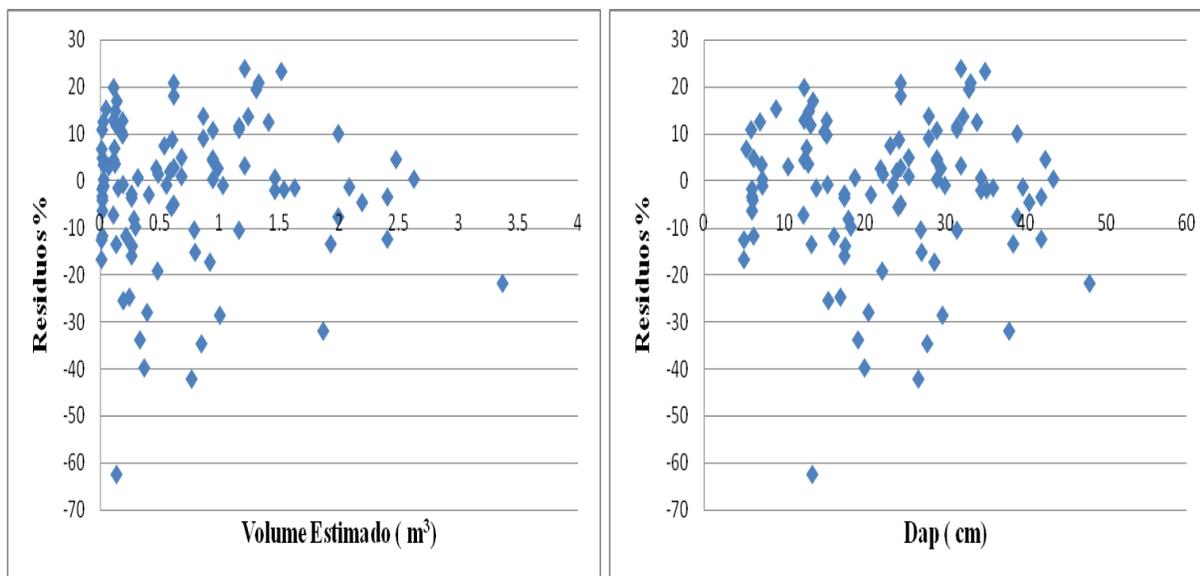
Berkhout



Husch



Husch



Brenac

Brenac

**Figura 5:** Gráficos da Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP e do Volume Estimado.

De acordo com os gráficos da distribuição dos resíduos os modelo de Kopezky- Gehrardt e Berkhout apresentam uma tendência de subestimação do volume dos diâmetros menores.

De acordo com os gráficos dos resíduos, Coeficiente de Determinação Ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e Erro Padrão de Estimativa, os modelos de Husch e Brenac são os que melhor se ajustam com os resíduos contidos numa banda horizontal, abaixo e acima do eixo das abscissas, de tal modo que os erros de subestimação se anulem com os de sobrestimação (não exibindo heterodasticidade).

De acordo com os resultados acima, as equações  $\text{LnV} = 8.5907774941 + 2.530583917\text{Lndap}$ , de Husch e  $\text{LnV} = -8.566033065 + 2.52411055\text{Lndap} + (-0.088251804 \frac{1}{dap})$ , de Brenac, foram as que melhor se ajustaram. Ambas podem ser utilizadas para estimar os volumes individuais das árvores *Eucalyptus cloeziana* da floresta, dada a semelhança nos resultados dos indicadores. A utilização de uma ou outra fica a critério do usuário.

No estudo realizado por Miguel *et al* (2010), em *Eucalyptus grandis*, os modelos de Brenac e Husch apresentaram alta tendência em superestimar o volume para as árvores de menores diâmetros. Esses dois modelos também apresentaram estatísticas e distribuição gráfica dos resíduos semelhantes, o Erro Padrão da Estimativa para o modelo de Husch foi ligeiramente superior ao modelo de Brenac. O melhor modelo para o ajuste optaram em Brenac porque apresentou um gráfico de resíduos com uma homogeneidade ligeiramente superior que Husch.

Para Leal e Miguel (2012), os modelos de Kopezky-Gehrhardt e Dissescu-Meyer, notou-se uma tendência de subestimativa para as árvores de menores diâmetros, enquanto que o modelo de Hohenadl-Krenm apresentou uma tendência em sobrestimativa para estas mesmas árvores de menores diâmetros. O modelo de Brenac é que apresentou os melhores resultados para a estimativa do volume total com casca para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás.

#### **4.4 Ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume comercial com casca.**

Foram ajustados dez (10) modelos de dupla entrada para a obtenção dos volumes comerciais com casca. A Tabela 6 mostra os resultados dos coeficientes das equações volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume comercial com casca do povoamento.

**Tabela 7** : Resultados de coeficientes Estimados de Equações de Dupla Entrada para estimar o Volume Comercial no povoamento de *Eucalytus cloeziana*.

Autores	Equações Ajustadas
Spurr	$V_c = 0.05206964 + 0.0000337307 \cdot dap^2 \cdot hc$
Schumacher-Hall	$V_c = -4.184963979 \cdot dap^{1.969708795} \cdot hc^{0.861656493}$
Honner	$V_c = \frac{dap^2}{1.808889922 + (-23.05318318 \frac{1}{hc})}$
Ogaya	$V_c = dap^2 (-0.009395369 + 0.000449425 \cdot hc)$
Stoate	$V_c = -0.11549 + 0.000339 \cdot dap^2 + 0.0000227 \cdot dap^2 \cdot hc + (-0.006979 \cdot hc)$
Naslund	$V_c = 0.00087407 \cdot dap^2 + (-0.0000139326 \cdot dap^2 \cdot hc) + 0.0000372875 \cdot dap \cdot hc^2 + (-0.000442808 \cdot hc)$
Takata	$V_c = \frac{dap^2 \cdot hc}{-0.665756231 + 0.06161301}$
Spurr (log)	$LnV = -9.744791754 + 0.954138555 \cdot Ln(dap^2 \cdot hc)$
Schumacher- Hall Log	$LnV = -9.636235673 + 1.969708795 \cdot Ln(dap) + 0.861656493 \cdot Ln(hc)$
Meyer	$V_c = 0.219018188 + (-0.027852178 \cdot dap) + 0.000810252 \cdot dap^2 + 0.001705393 \cdot dap \cdot hc + (-0.0000562786 \cdot dap^2 \cdot hc) + (-0.015268564 \cdot hc)$

A Tabela 8 apresenta as estatísticas de ajuste e precisão, calculadas para os modelos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume comercial com casca, em função do DAP e Altura do povoamento de *Eucalyptus cloeziana*.

**Tabela 8:** Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume Comercial de *Eucalyptus cloeziana*

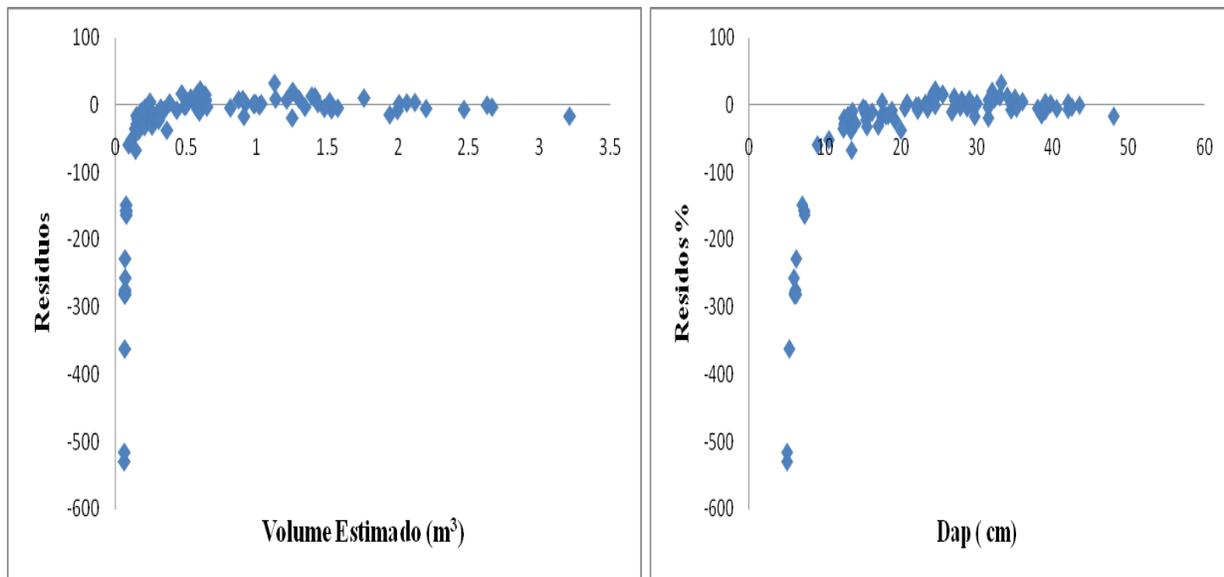
Autores	Fcal	Fcrt	Sxy (%)	R <sup>2</sup> aj (%)	IF (%)
Spurr	3929.663	3.939126	15.50	97.57	
Schumacher-Hall	9949.589	1.398421		99.51	2.15
Honner	95.34277	3.939126	70.94	49.05	
Ogaya	2261.42	1.398421	14.48	97.88	
Stoate	1597.032	2.700409	14.08	97.99	
Naslund	1330.903	2.468533	13.37	98.19	
Takata	750.0869	3.939126	33.80	88.43	
Spurr (log)	19910.57	3.939126		99.510	4.954
Schumacher- Hall Log	9949.589	3.091191		99.509	4.956
Meyer	1085.25	2.312339	13.24	98.22	

De acordo com a tabela acima, as estatísticas dos resultados da análise de variância indicam que todas regressões são significativas, pois em todos casos os valores de F calculado (Fcal.) são maiores que os valores de F crítico (Fcrt.).

Dentre as dez equações testadas de dupla entrada, ou seja a que apresentou os melhores resultados para os indicadores de seleção utilizados, maior Coeficiente de Determinação Ajustado (R<sup>2</sup>aj), menor Desvio Padrão de Estimativa foi a equação  $\ln V = -9.744791754 + 0.954138555 * \ln(dap^2 * hc)$ , Spurr (log), com R<sup>2</sup>aj de 99.510% e IF de 4.954 % que equivale ao Erro Padrão.

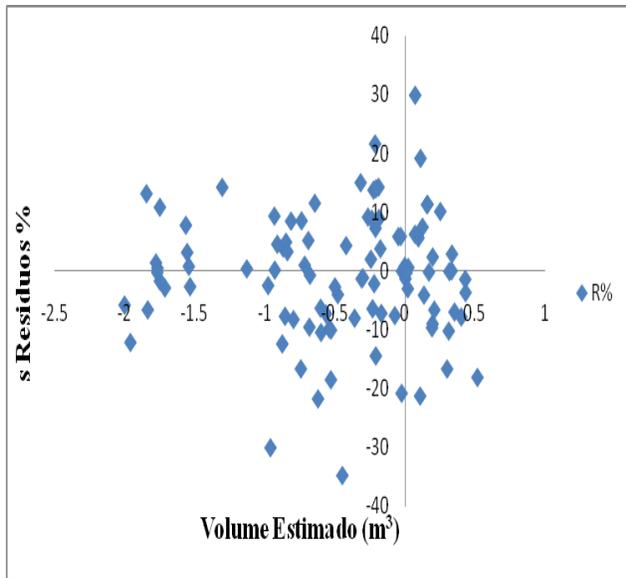
Na tabela acima as equações  $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 * \text{Ln}(\text{dap}^2 * \text{hc}, \text{Spurr}(\log))$ , e  $\text{LnV} = -9.636235673 + 1.969708795 \text{Ln}(\text{dap}) + 0.861656493 * \text{Ln}(\text{hc})$ , Schumacher- Hall Log, foram as que melhor se ajustaram. Ambas podem ser utilizadas para estimar os volumes individuais das árvores *Eucalyptus cloeziana* da floresta, dada a semelhança nos resultados dos indicadores. A utilização de uma ou outra fica a critério do usuário.

A escolha da melhor equação de dupla entrada, para estimar o volume comercial do povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, foi realizada com o auxílio da distribuição gráfica dos resíduos em função do DAP e Volume Estimado, conforme mostra a Figura 6.

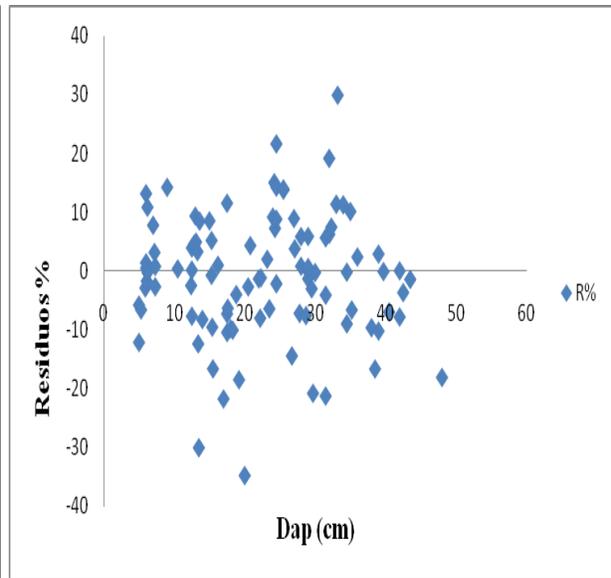


Spurr

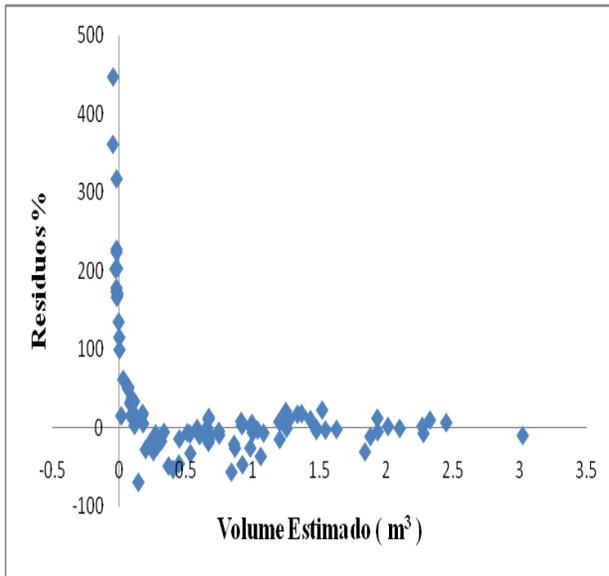
Spurr



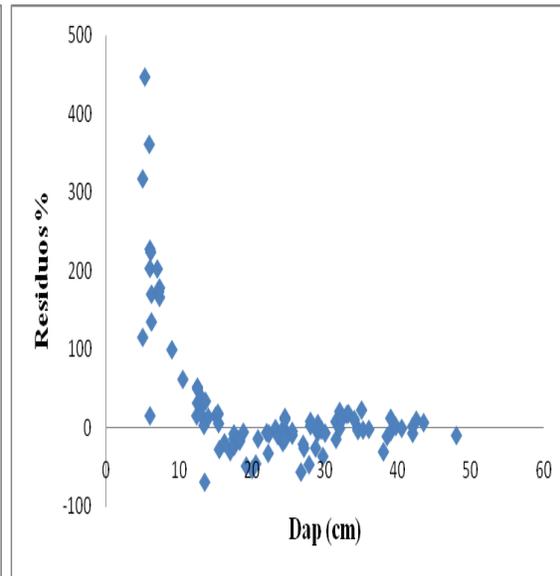
Schumacher-Hall



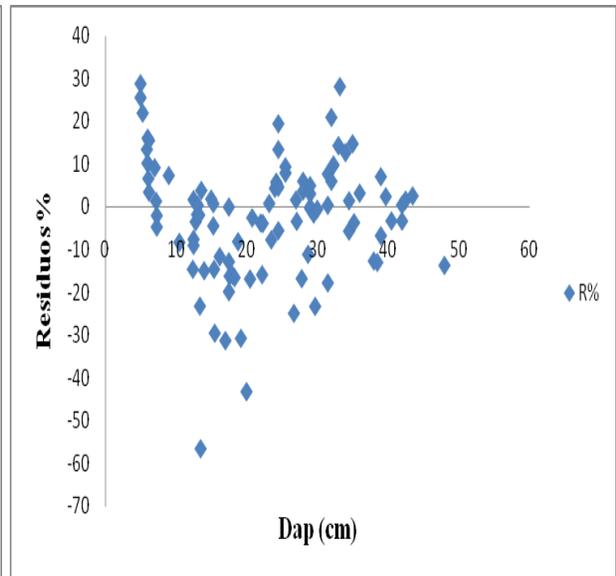
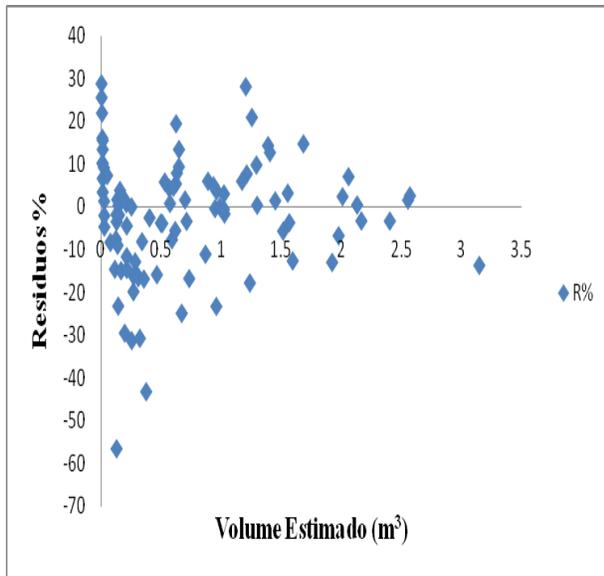
Schumacher-Hall



Honner

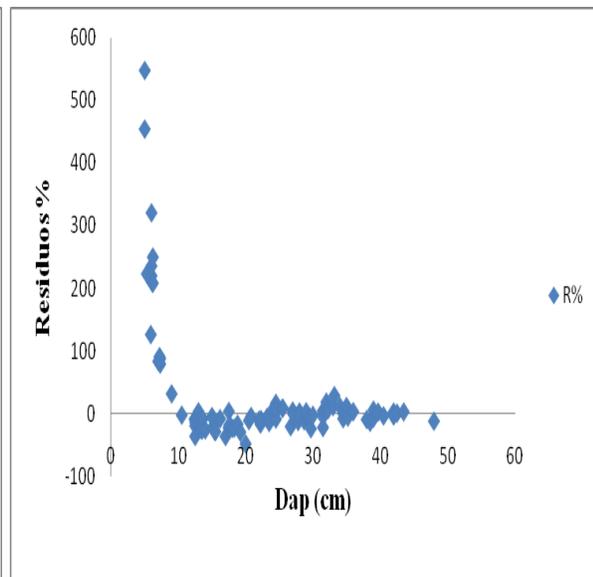
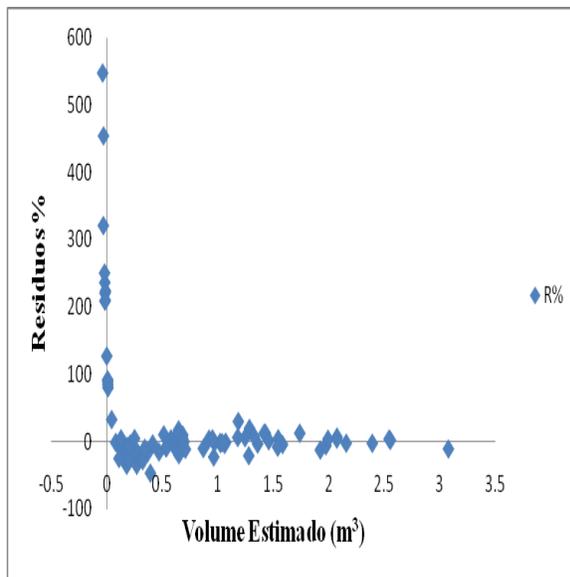


Honner



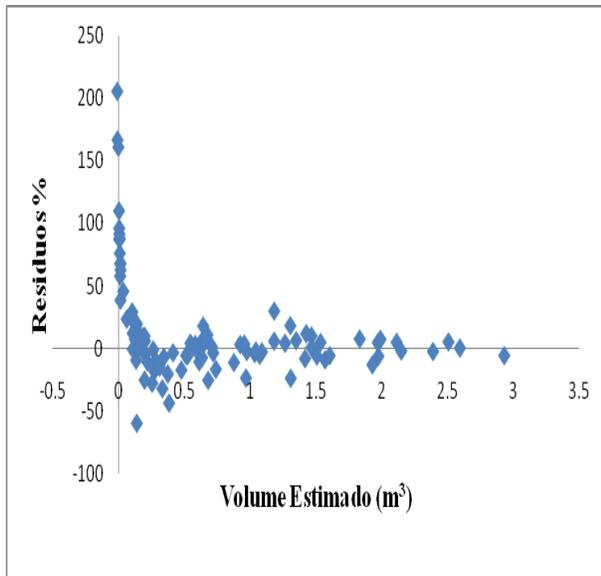
Ogaya

Ogaya

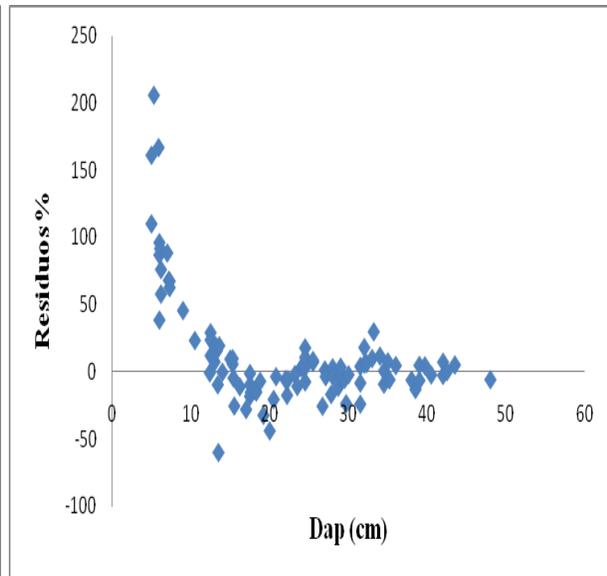


Stoaite

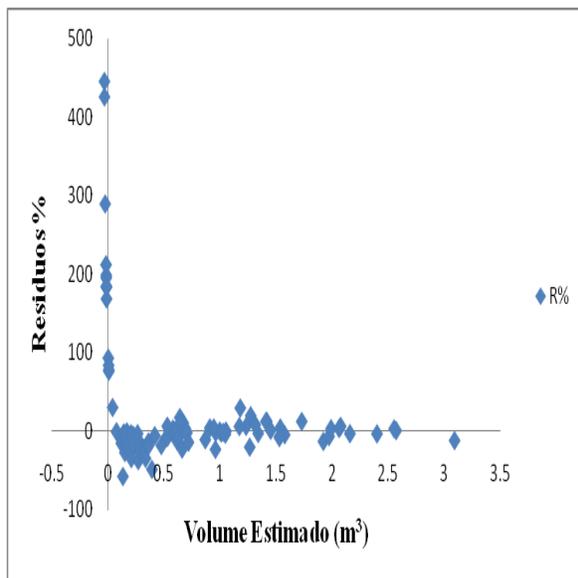
Stoaite



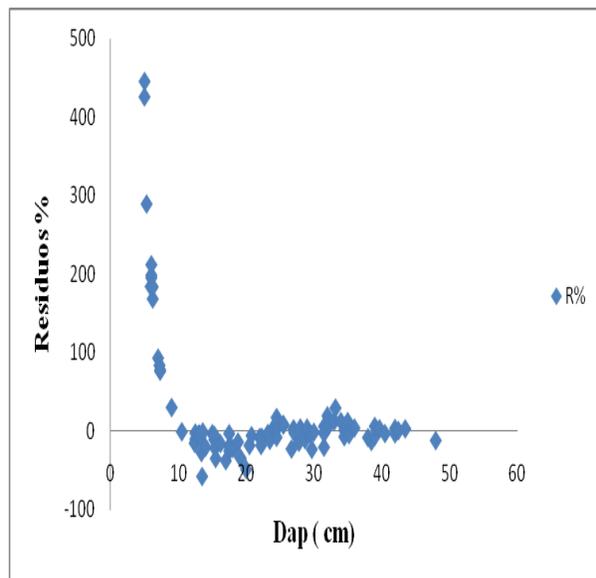
Naslund



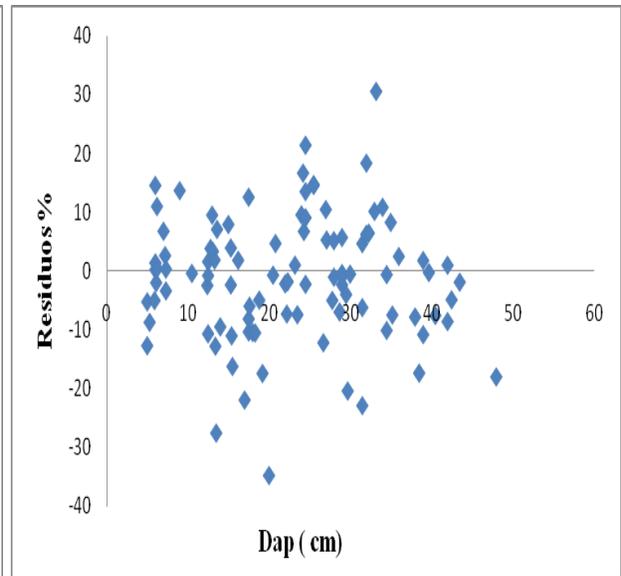
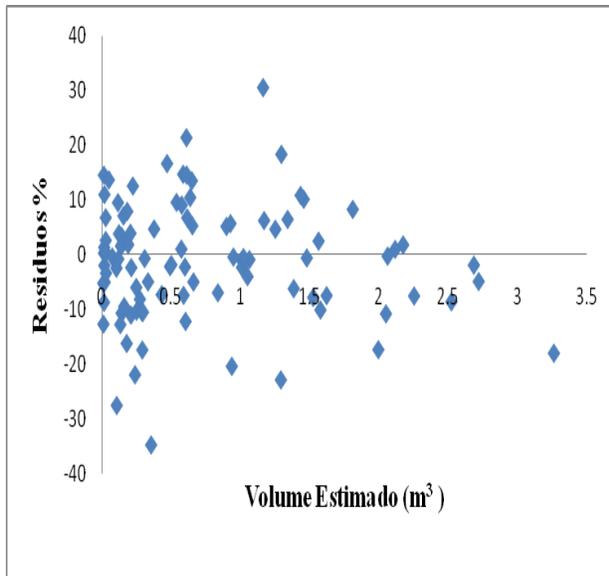
Naslund



Takata

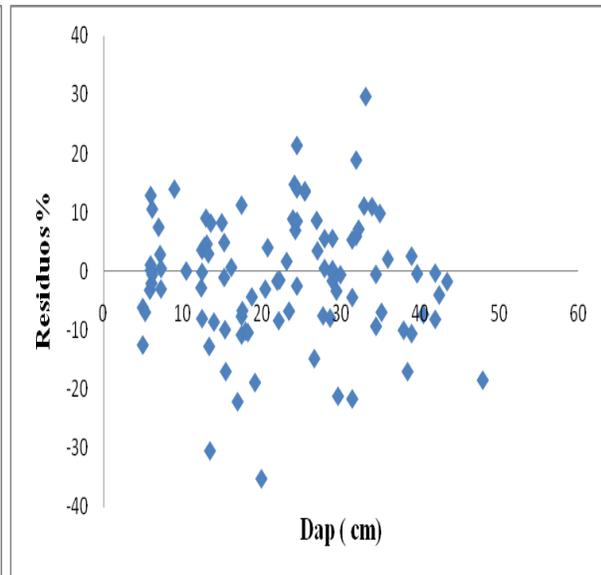
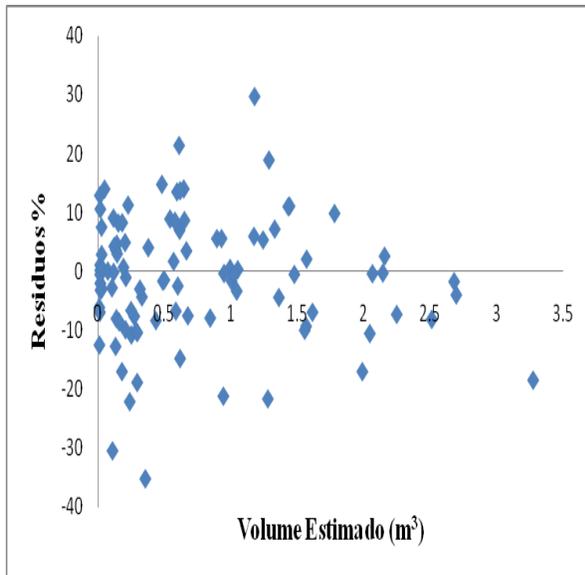


Takata



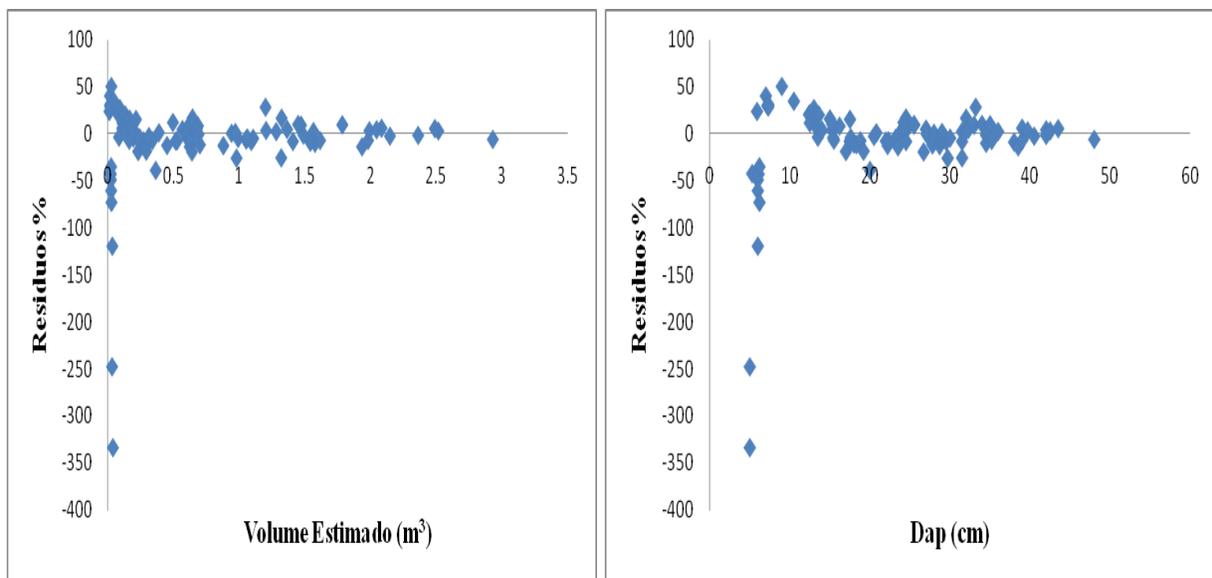
Spurr (log)

Spurr (log)



Schumacher- Hall Log

Schumacher- Hall Log



Meyer

Meyer

**Figura 6:** Gráficos da Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e do Volume Estimado para as equações volumétricas de Dupla entrada Ajustadas

Analisando os gráficos acima dos modelos matemáticos de dupla entrada, as equações  $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 \cdot \text{Ln}(\text{dap}^2 \cdot \text{hc}, \text{ Spurr}(\log))$ , e  $\text{LnV} = -9.636235673 + 1.969708795 \cdot \text{Ln}(\text{dap}) + 0.861656493 \cdot \text{Ln}(\text{hc})$ , Schumacher- Hall Log, segundo a distribuição dos resíduos foram as que melhor se ajustaram. Ambas podem ser utilizadas para estimar os volumes individuais das árvores *Eucalyptus cloeziana* da floresta, dada a semelhança nos resultados dos indicadores ou ambas os seus resultados não diferem estatisticamente bem como a dispersão dos resíduos. A utilização de uma ou outra fica a critério do usuário. Os modelos logarítmicos, em geral, apresentaram melhor ajustes que os aritméticos tanto para os modelos selecionados da literatura quanto para os modelos estimados neste estudo.

Silva Carvalho (1984), diz que a precisão das equações de volume, obtida com os modelos de simples entrada, é geralmente inferior aos verificados com os modelos de dupla entrada. A inclusão da variável altura no modelo de regressão geralmente aumenta a precisão das estimativas, porém, aumenta com isso, os custos do levantamento, além da inclusão dos possíveis erros que se podem cometer quando da determinação da altura comercial ou total durante os levantamentos de campo.

Paula Neta *et al.* (1977), na região de Ipatinga, Minas Gerais, fazendo o ajuste das equações de *Eucalytus paniculata* selecionaram a equação Schumacher- Hall Log expressa por  $\ln V = 0.0005271 + 1.73183 \ln d + 0.12182 \ln h$ . A qual apresentou um maior Coeficiente de Determinação Ajustado de 98.33%, menor Erro padrão de Estimativa de 0.0514 e o gráfico de resíduos com uma homogeneidade.

Para Cerdeira (2012), o modelo de Takata apresentou-se com menor Syx%, alto Coeficiente de Determinação Ajustado, bem como uma distribuição residual homogênea ao longo da linha de regressão. Sendo assim, este modelo se mostrou ligeiramente superior aos demais, tornando-se o mais adequado para estimativa da variável volume em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, em Brasília.

Resultados semelhantes a Cerdeira (2012), foram encontrados por Miguel (2009), em que o modelo de Takata mostrou-se superior a todos os outros modelos de dupla entrada ajustados, para estimar o volume comercial de *Eucalyptus urophylla*, na região norte do Estado de Goiás

#### 4.5 Validação das Melhores Equações de Simples e Dupla Entrada

A validação das equações selecionadas para estimar o volume comercial com casca de *Eucalyptus cloeziana* foi realizada através do Teste Qui-Quadrado, comparando o volume estimado pelas equações com os respectivos volumes reais das árvores dos indivíduos que não foram utilizados para os ajustes das equações. O Qui-quadrado tabelado.

A equação selecionada é considerada válida se o teste aplicado mostrar significância, isto é, se o Qui-quadrado crítico for maior que Qui-quadrado calculado ( $\chi^2_{\text{crítico}} > \chi^2_{\text{calculado}}$ ).

##### 4.5.1 Equação de Simples Entrada

$\ln V = -8.5907774941 + 2.530583917 \ln d$  - Equação de Husch

Valor do teste Estatístico

Chi-calcul	0.31143
Chi-critico	24.9958

#### 4.5.2 Equação Dupla Entrada

$\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 * \text{Ln}(\text{dap}^2 * \text{hc})$  - Equação de Spurr (log)

Valor do teste Estatístico

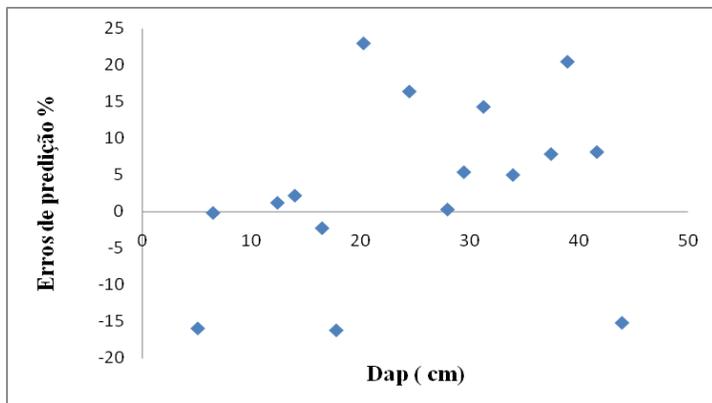
---

chi-calcul	0.08018
Chi-critico	24.9958

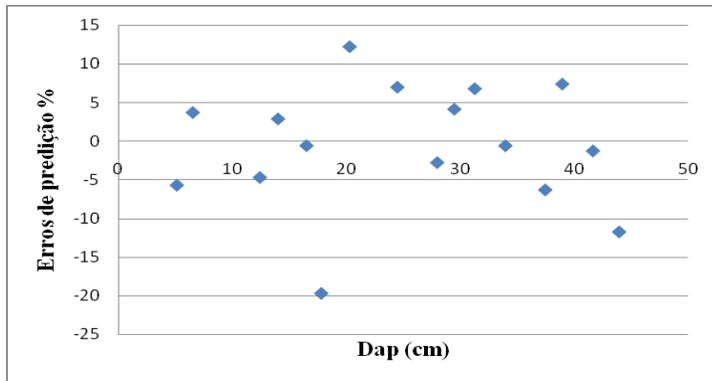
---

Segundo os dados acima mostram que para a equação de simples entrada ( $\text{LnV} = -8.5907774941 + 2.530583917 \text{Ln}(\text{dap} - \text{Husch})$ ), como para a dupla entrada ( $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 * \text{Ln}(\text{dap}^2 * \text{hc})$  - Spurr log) os valores de  $\chi^2_{\text{crítico}} > \chi^2_{\text{calculado}}$ , o que significa que de acordo com teste efectuado as equações são validas para estimar o volume do povoamento. Os valores de volumes reais usados para a validação estatisticamente não diferem dos valores de volumes estimados. Sendo assim, as equações selecionadas podem ser utilizadas para estimar os volumes das restantes árvores em pé do povoamento.

Á baixo na figura 7, estão ilustrados os gráficos de Erros em função de DAP e Erros percentuais dos dados de validação que não foram usados para o ajuste dos modelos.



Husch



Spurr

**Figura 7:** Gráficos de dispersão dos erros de predição para as equações de Husch e Spurr

De acordo com os gráficos acima ilustrados de Erros de predição, das equações consideradas as melhores para estimativa de volume da simples entrada e de dupla entrada nomeadamente Husch e Spurr verifica-se haver no Husch (simples entrada) uma subestimativa do volume nos diâmetros de 21 cm e 40 cm e sobrestimativa do volume nos diâmetros de 7,19 e 43 cm.

Para a equação de Spurr (dupla entrada) subestima o volume no diâmetro de 20cm e sobrestima no diâmetro de 18 cm.

## V.CONCLUSÕES

A partir dos resultados de ajuste dos modelos volumétricos realizado neste trabalho, foi possível concluir o seguinte:

- ♣ Os volumes reais das árvores abatidas foram obtidos pela combinação do método de Smalian, a partir dos diâmetros medidos nos comprimentos ao longo do fuste de cada Indivíduo.
- ♣ O modelo matemático de simples entrada que melhor estima o volume das árvores de *Eucalytus cloeziana* na floresta de Inhamacari é a equação logarítmica de Hushc ( $\text{LnV} = -8.5907774941 + 2.530583917 \text{Ln}(\text{dap} \cdot \text{hc})$ ), com Coeficiente de Determinação Ajustado de 99.105% e Índice de Furnival de 6.698 %.
- ♣ O modelo matemático de Dupla entrada que melhor estima o volume das árvores de *Eucalytus cloeziana* na floresta de Inhamacari é a equação logarítmica de Spurr (log),  $\text{LnV} = -9.744791754 + 0.954138555 \cdot \text{Ln}(\text{dap}^2 \cdot \text{hc})$ , com  $R^2_{aj}$  de 99.510% e IF de 4.954 % que equivale ao Erro Padrão.
- ♣ Os modelos matemáticos selecionados, um de Simples entrada e outro de Dupla entrada, Hush e Spurr respectivamente foram validadas para estimarem o volume de árvores do povoamento de *Eucalytus cloeziana* em Inhamacari, pelo teste Qui-quadrado.

## **RECOMENDAÇÕES**

Em relação ao trabalho realizado, para estudos posteriores formulou se algumas recomendações a seguir:

1-Os estudos subsquentes de cubagem sejam planificados na época de exploração de modo que as árvores abatidas para o ajuste aproveite se para outros fins evitando o desperdício.

2-O próximo estudo deve ser realizado em povoamento com tratamentos silviculturiais pois nestes locais as árvores tem o mesmo desenvolvimento.

3-Recomenda-se que sejam abatidas e ajustadas nos próximos estudos árvores de todas classes diâmetricas, pois neste trabalho não incluiu se árvores de classes diâmetricas acima de 50 cm. Isso poderá acaretar estimativas inexactas e imprecisas ao extrapolar os volumes para as árvores com diâmetros maiores que os usados no ajuste.

4-Que nos proximos estudos de volume seja ajustado às equações de volume do povoamento que possibilita informações quantitativas por unidade de área, além da precisão e simplicidade do procedimento, a sua grande vantagem é eliminar, nos inventários futuros, a medição de altura das árvores que compõem as parcelas, a não ser a altura das árvores dominantes

## VI.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✚ Agência Sueca para o Desenvolvimento Internacional. 2004. *Desenvolvimento da Estratégia conjunta de gestão integrada de recursos hídricos da bacia do rio Pungoé*. Sweco & Associates
- ✚ Azevedo, T. L. 2009. *Ajuste de equações hipsométricas evolométricas para um povoamento de eucalyptus sp, localizado na floresta nacional do ibura, sergipe, São Critóvão – Se.*
- ✚ Baima, A.V.; Silva, S.M.S.; Silva, J.N.M. 2001. *Equação de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA.* Belém.
- ✚ Batista, J. L. F.; Rodrigues, L. C. E. 1989. *Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas*. Documentos Florestais, Piracicaba, SP, n. 5.
- ✚ Bravo, C.V. 2003. *Utilização de Métodos Estatísticos em Inventário Florestal*. Piracicaba.
- ✚ Cabacinha, C.D. 2003. *Um Método para a Realização do Inventário Florestal Suprimindo a Cubagem Rigorosa*, Lavras Minas Gerais – Brasil.
- ✚ Cerdeira, A.L.N. 2012. *Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de Eucalyptus urophylla*, Brasília-DF.
- ✚ Chamba, E. 1994. *Inventário florestal das plantações de Inhamacari*. Tese de licenciatura, FAEF, UEM, Maputo, Moçambique
- ✚ Clarke, B.; Mcleod, I.; Vercoe, T. 2009. *Trees for farm forestry: 22 promising species*. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation.
- ✚ Conceição, M. B. 2004. *Comparação de métodos de estimativas de volume em diferentes idades em plantações de Eucalyptus grandis Hill ex- Maiden*. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR
- ✚ Couto, H. T. Z; Batista J. L. F; Rodrigues, L.C.E. 1989. *Mensuração e Gerenciamento de Pequenas Florestas*. Documentos florestais Piracicaba.
- ✚ Figueiredo, E.O. 2005. *Método da Variável Fictícia para o Ajuste de Modelos Volumétricos Estáveis e compatíveis em Povoamentos Florestais*. Embrapa Acre. Documentos.

- ✚ Francez, L.M.B; Souza, D.V; Takehana, C.L.I; Barros, P.L.C. 2010. *Manual para Análise de Inventário Florestal e Equação de Volume em Projetos de Manejo Florestal Sustentável – PMFS*. Belém-Pará.
- ✚ Garlipp, R.; Foelkel, C. 2009. *O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade*. In: Congresso Florestal Mundial / FAO, XIII., Buenos Aires
- ✚ Guimarães, D. P.; Leite, H. G. 1996. *Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para Eucalyptus grandis*. Scientia Forestalis, Piracicaba.
- ✚ Hosokawa, R. T.; Moura, J. B.; Cunha, U. S.1998. *Introdução ao manejo e economia de florestas*. Curitiba: Editora da UFP.
- ✚ Inventário Florestal Nacional, Guia de campo para coleta de dados.2009. *Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola*. NFMA Working Paper No 41/P– Rome, Luanda.
- ✚ Jovanovic, T.; Booth.T.H. 2002. *Improved species climatic profiles*. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation.
- ✚ Machado, S. A.; Conceição, M. B.; Figueiredo, D. J. 2002. *Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa*. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol. 4, nº 2, jul/dez.
- ✚ Machado, S.A; Filho, A.F.2003. *Dendrometria*.Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.
- ✚ Magalhães, T.M. 2008. *Inventário Florestal do Eucalipital de Inhacari, Maputo*.
- ✚ Marzoli, António. 2007. *Inventário Florestal Nacional*. Maputo
- ✚ Mctague ,J. P; Batista, J.L. Fsteiner, L.H. 1989. *Equações de volume total, volume comercial e forma do tronco para plantações de Eucalyptus no Estados de São Paulo e Rio de janeiro*.
- ✚ Miguel, E.P; Leal, F.A, 2012. *Seleção de Equações Volumetricas para a Predição do Volume total de eucalyptus urophylla s. t. blake na região norte do Estado de Goiás*,
- ✚ Ministério da Agricultura. *Estratégia Nacional de Reflorestamento*. Maputo.2006.
- ✚ Moçambique. 2005 Ministério da Administração Estatal. *Perfil do distrito de Manica*. província de Manica.

- ✚ Monteiro, L. A. S. 2009. *Equações de Volume Geral E Para dez species Dominantes em uma Floresta primária no Sudeste do Pará*, Belém.
- ✚ Moura, V.P.G.; Guimarães, D.P. 2003. *Produção de mudas de Eucalyptus para o estabelecimento de plantios florestais*. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
- ✚ Netto, P. S.; Brena, D.A. 1997. *Inventário Florestal*. V.1, Curitiba, PR.
- ✚ Oliveira, J. T. 1999. *Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: avaliações dendrométricas das árvores*. Scientia Florestalis, Piracicaba.
- ✚ Oliveira, L.S. 2014. *Propagação de Eucalyptus cloeziana F. Muell*. Piracicaba.
- ✚ Paula Neto F.; Brandi R.M.; Ribeiro J.C. 1977. *Tese da aplicação de tabelas volumétricas para estimar a produção e plantações de Eucalyptus paniculata Sm*. Na região de Ipatinga, Minas Gerais. Revista Árvore.
- ✚ Queiroz, R.S.; Barrichelo, L.E.G. 2007. *O eucalipto um século no Brasil*. São Paulo. ed. Antonio Bellini Editora & Cultura.
- ✚ Rodrigues, R.; Siqueira, J.; Tomaselli, I.; Delespinasse, B.; Gorniski, D. 2009. *Apoio no Gerenciamento da Execução do plano de Ação do programa de desenvolvimento florestal do Vale do Parnaíba (pdflor-pi)*. Curitiba / Brasil
- ✚ Sanquetta, C.R.; Watzlawick, L.F.; Côrte, A.P.D.; Fernandes, L.A.V.; Siqueira, J.D.P. 2009. *Inventários Florestais: Planejamento e Execução*. 2ª Ed. Curitiba –PR, Multi-Graphic.
- ✚ Scolforo, J. R.; Oliveira, A. D.; Davide, A. C. 2004. *Manejo sustentado das candeias Eremanthus erythropappus (DC.) McLeisch e Eremanthus incanus (Less.) Less*. Lavras: Departamento de Ciências Florestais.
- ✚ Scolforo, J.R.S. 2005. *Biometria florestal: Parte I: Modelos de regressão linear e não linear; Parte II: Modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca*. Lavras: UFLA/FAEPE.

- ✚ Silva, E.N.;Santana, A.C.;Queiroz W.T.: Sousa, R.J.;2011. *Estimação de Equações Volumétricas para árvores de valor Comercial em Paragominas*. Estado do Pará. Amazônia: Ci. & Desenv., Belém., Silva, J. L. R. 2007. *Modelos volumétricos, fatores de forma e equação de afilamento para floresta de terra firme da região do rio aru município de Portel – Pará*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém.
- ✚ Silva, J. N. M; Carvalho, M. S. P. 1984. *Equações de volume para uma floresta secundária no planalto do Tapajós - Belterra*. Boletim de pesquisa florestal.
- ✚ Silva, J.A.A; Neto, F.P.1979. *Principios Básicos da Dendrometria*. Imprensa Universitária UFRPE.
- ✚ Silva, J.N.M.; Carvalho, J.O.P.; Yared, J.A.G. . 2001. *A Silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto silvicultura tropical (Embrapa/DFID)*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- ✚ Siqueira, J; Tomaselli, I; Delespinasse, B; Rodrigues, R; Gorniski, D. 2009. *Apostila do Curso Técnicas de Manejo Florestal*. Curitiba, Brasil.
- ✚ Thiersch, C.R; Scolforo, J.R; Oliveira, A.D; Maestri, R; Dehon, G. 2006. *Acurácia dos Métodos para Estimativa do Volume comercial de Clones de Eucalytus sp*. Cerne, Lavras.
- ✚ Thomas, C.2006. *Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco*. Santa Maria.
- ✚ Tuzine, M. S.; Rosot, N. C, E Centeno J. A. S.2011. *Mapeamento da Cobertura e Uso da Terra a partir de Imagens Ikonos na Floresta de Inhamacari*. Provincia de Manica – Moçambique, Curitiba Parana- Brasil

## VII. ANEXOS

### Anexo 1: Ficha de campo da colecta de dados

Arvore	Dap	Altura comercial	d0	d1	d2	d3	d4	...	dn
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									

25									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Anexo 2:** Dados Usados na distribuição diamétrica do talhão 26 na numerção recente e 39 da antiga no Inventario realizado em 2008 de *Eucalytus cloeziana*

CLASSE DIAMÉTRICA (cm)	TALHÃO 39		
	$N_h$ (ha <sup>-1</sup> )	$G_h$ (m <sup>2</sup> /ha)	$V_h$ (m <sup>3</sup> /ha)
5	0.3544	0.0001	0.0000
10	1.4174	0.0151	0.0631
15	21.6159	0.4194	3.2000
20	112.6860	3.7248	44.3586
25	118.0014	5.8461	89.5505
30	116.9383	8.3147	144.8675
35	90.0071	8.5888	154.2571
40	72.9979	9.0315	156.6242
45	27.2856	4.3303	69.0524
50	15.2374	3.0109	42.8774
≥55	3.5436	0.9390	10.8858

**Anexo 3: Dados Usados para a Validação da Melhor Equação de Simples Entrada**

Arovre	Dap	Al.comercial (m)	volume (m3)	LnDap	LnV	V Estimado	$\chi^2$
3	5.1	8.8	0.00989227	1.62924054	-4.467849958	0.011471955	0.000217522
12	6.5	10.9	0.02115844	1.871802177	-3.85402736	0.021194208	6.03606E-08
19	12.4	18.4	0.109996055	2.517696473	-2.21953759	0.108659342	1.64441E-05
31	14	18.6	0.151037132	2.63905733	-1.912423747	0.147721912	7.44012E-05
39	16.5	20.5	0.218938235	2.803360381	-1.496641074	0.223880898	0.00010912
45	17.8	22.6	0.233368258	2.879198457	-1.304726451	0.271246724	0.005289569
51	20.3	27.4	0.491402527	3.010620886	-0.972150956	0.378268524	0.033836552
64	24.5	30.2	0.728518714	3.198673118	-0.496268987	0.60879786	0.023543254
73	28	30.4	0.856070292	3.33220451	-0.158356582	0.853545369	7.46912E-06
81	29.5	30.9	1.029745401	3.384390263	-0.02629615	0.974046583	0.003185021
85	31.3	34.6	1.320876295	3.443618098	0.12358486	1.131546023	0.03167874
95	34	35.5	1.468904168	3.526360525	0.332971522	1.395107568	0.003903597
101	37.5	41.4	1.9406036	3.624340933	0.580919176	1.787680868	0.013081396
106	39	42.9	2.483496454	3.663561646	0.680170485	1.974214277	0.131378006
109	41.7	42.3	2.54633403	3.730501129	0.849566469	2.338632761	0.018446597
114	44	38.3	2.325398183	3.784189634	0.985429741	2.678962896	0.046662836
						<b>chi-quadrado</b>	<b>0.311430586</b>
						<b>Chi-critico</b>	<b>24.99579013</b>

**Anexo 4: Dados Usados para a Validação da Melhor Equação de Dupla Entrada**

Arovre	Dap (cm)	Al. comercial (m)	volume (m3)	Ln (dap <sup>2</sup> *hc)	LnV	V.Estimado	$\chi^2$
3	5.1	8.8	0.009892	5.433233	-4.560735	0.010454	0.000030
12	6.5	10.9	0.021158	6.132367	-3.893664	0.020371	0.000030
19	12.4	18.4	0.109996	7.947744	-2.161543	0.115147	0.000230
31	14	18.6	0.151037	8.201276	-1.919638	0.146660	0.000131
39	16.5	20.5	0.218938	8.627146	-1.513299	0.220182	0.000007
45	17.8	22.6	0.233368	8.876347	-1.275527	0.279284	0.007549
51	20.3	27.4	0.491403	9.331785	-0.840976	0.431289	0.008379
64	24.5	30.2	0.728519	9.805188	-0.389284	0.677542	0.003835
73	28	30.4	0.856070	10.078852	-0.128171	0.879703	0.000635
81	29.5	30.9	1.029745	10.199537	-0.013021	0.987064	0.001846
85	31.3	34.6	1.320876	10.431090	0.207913	1.231106	0.006546
95	34	35.5	1.468904	10.622254	0.390310	1.477439	0.000049
101	37.5	41.4	1.940604	10.971963	0.723981	2.062628	0.007219
106	39	42.9	2.483496	11.085995	0.832784	2.299711	0.014687
109	41.7	42.3	2.546334	11.205789	0.947084	2.578180	0.000393
114	44	38.3	2.325398	11.213829	0.954755	2.598034	0.028610
						chi-quadrado	0.080177
						Chi-critico	24.995790

**Anexo 5:** Análise da Significância dos coeficientes das equações de Simples Entrada

<b>Autores</b>	<b><math>\beta_0</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>
Kopezky- Gehrardt	-0.11758 <sup>ns</sup>	0.001341 <sup>**</sup>	
Dissescu-Meyer		-0.016511236 <sup>ns</sup>	0.001674916 <sup>**</sup>
Hohenaldl-Krenm	0.044967234 <sup>ns</sup>	-0.016511236 <sup>ns</sup>	0.001674916 <sup>**</sup>
Berkhout	-0.665756231 <sup>ns</sup>	0.06161301 <sup>**</sup>	
Husch	8.5907774941 <sup>ns</sup>	2.530583917 <sup>**</sup>	
Brenac	-8.566033065 <sup>ns</sup>	2.52411055 <sup>**</sup>	-0.088251804 <sup>ns</sup>

Legenda: \*\*-Significativo pelo teste “t”, ns- não Signficativo

**Anexo 6:** Análise da Significância dos coeficientes das equações de culpa Entrada

Autores	Coeficientes $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$	
Spurr	$\beta_0=0.05206964^{**}$	
	$\beta_1=0.0000337307^{**}$	
Schumacher-Hall	$\beta_0= -4.18496398^{ns}$	
	$\beta_1=1.969708795^{ns}$	
	$\beta_2=-0.861656493^{ns}$	
Honner	$\beta_0= 1.80888992^{**}$	
	$\beta_1= -23.05318318^{ns}$	
Ogaya	$\beta_0= -0.009395369^{ns}$	
	$\beta_1=0.000449425^{ns}$	
Stoate	$\beta_0=-0.11549^{ns}$	$\beta_2=0.0000227^{**}$
	$\beta_1=0.000339^{**}$	$\beta_3=-0.006979^{**}$
Naslund	$\beta_1= 0.00087407^{**}$	$\beta_3=0.0000372875^{**}$
	$\beta_2=-0.0000139326^{ns}$	$\beta_4=-0.000442808^{ns}$
Takata	$\beta_0=-0.665756231^{ns}$	
	$\beta_1=0.06161301^{**}$	
Spurr (log)	$\beta_0= -9.744791754^{ns}$	
	$\beta_1= 0.954138555^{**}$	
Schumacher- Hall Log	$\beta_0=-9.636235673^{ns}$	$\beta_2=0.861656493^{**}$
	$\beta_1=1.969708795^{**}$	
Meyer	$\beta_0= 0.219018188^{**}$	$\beta_2=0.000810252^{**}$
	$\beta_1=-0.027852178^{ns}$	$\beta_3=0.001705393^{**}$
	$\beta_4=-0.0000562786^{ns}$	$\beta_5=-0.015268564^{ns}$

Legenda: \*\*-Significativo pelo teste “t”, ns- não Significativo