



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
Departamento de Engenharia Florestal

PROJECTO FINAL

DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E RELAÇÕES HIPSOMÉTRICAS PARA
Eucalyptus cloeziana F. Muell, **LOCALIZADO NA FLORESTA DE INHAMACARI.**

Autor:

Agnério Bectol Silvestre Cossa

Supervisor:

Eng^o Jacob Miguel Bila (MSc.)

Co-supervisor:

Doutor Eng^o Mário Paulo Falcão

Maputo, Setembro de 2014

“...as pessoas estão mais preocupadas em ter do que em ser...”

Lília Momplé

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Silvestre Joaquim Cossa e Marta Ernesto Langa, a minha irmã Eufásia, a minha filha Liliane “Lily”, a minha namorada Telma, ao meu sobrinho Nayron, aos meus avôs Lina, Joaquim (*in memoriam*), Rosita, Ernesto e a família em geral pelo inestimável apoio prestado ao longo destes anos de formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus onipotente, que inexplicavelmente me destinou este desafio e me permitiu vencer mais uma etapa na vida.

À Universidade Eduardo Mondlane, particularmente ao Departamento de Engenharia Florestal, pela possibilidade da realização da licenciatura, particularmente aos professores e funcionários do curso pela colaboração.

Expresso imensos agradecimentos ao meu supervisor Eng.º Jacob Bila e o Co-supervisor Doutor Eng.º Mário Paulo Falcão pelo apoio e acompanhamento científico tanto na elaboração do presente trabalho como durante o meu percurso académico nesta instituição.

A toda minha família, aos meus pais em especial à minha mãe que mesmo diante de muitas dificuldades jamais deixou de estimular os filhos a alcançar os sonhos, a minha irmã Eufásia, aos meus avôs, aos meus tios em especial Óscar, aos meus primos em particular Almerindo “Nito” pela força, apoio moral e financeiro que me deram durante todo o tempo e a minha filha Lily pelo sacrifício e pela compreensão demonstrados, mesmo em momentos críticos.

A minha namorada Telma Mambo, pelos valiosos conselhos dados ao longo dos meus estudos.

Os meus agradecimentos estendem-se ainda, aos bons e dignos colegas e amigos pelo importante e incessante apoio que me deram em todos momentos desta longa carreira, especialmente: Arlindo, Guídion, Chinai, Zacarias, Dércio, Alvarinho, Elizabeth, Loforte, Ndeve, Lutério, Claudina, Leovigildo, Celma, enfim, são tantas as pessoas que directa e/ou indirectamente caminharam comigo neste percurso académico e social, dizer que vós sois a parte integrante da minha vida.

À todos o meu

MUITO OBRIGADO!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área, proporção e número de transectos alocados de <i>Eucalyptus cloeziana</i> e por Talhão	18
Tabela 2: Área amostrada, intensidade de amostragem por talhão e total para o <i>Eucalyptus cloeziana</i>	19
Tabela 3: Modelos hipsométricos testados no ajuste	21
Tabela 4: Estatísticas descritivas dos transectos	28
Tabela 5: Equações hipsométricas ajustadas para <i>Eucalyptus cloeziana</i>	32
Tabela 6: Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste dos modelos de altura de <i>Eucalyptus cloeziana</i>	33
Tabela 7: Coeficientes e parâmetros estatísticos de regressão seleccionada para análise gráfica dos resíduos em percentagem	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização geográfica da área de estudo em Moçambique	15
Figura 2: Distribuição anual da precipitação.	16
Figura 3: Distribuição anual da temperatura.....	17
Figura 4: Distribuição diamétrica do talhões 39 e 36	30
Figura 5: Distribuição diamétrica do talhão 41.....	30
Figura 6: Gráficos de dispersão dos resíduos em percentagem em função da altura estimada	36

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Anova das equações de regressão para as 5 consideradas melhores.....	48
Anexo 2: Resíduos das equações de regressão para as 5 consideradas melhores.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS & ABREVIATURAS

CEFLOMA - Centro Florestal de Machipanda

CIB - Conselho de Informações sobre Biotecnologia

DAP - Diâmetro a Altura do Peito

DEF - Departamento de Engenharia Florestal

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

MINAG - Ministério da Agricultura

PMA - Precipitação Média Anual

INIA – Instituto Nacional InvestigaçãO Agrária

TMA - Temperatura Média Anual

US GIS – United States Geographic Information Systems

Kg - Quilogramas

m³ - Metros cúbicos

m² - Metros quadrados

mm - Milímetros

m - Metros

ha - Hectares

cm - Centímetros

°C - Graus centígrados

N/ha - Número de indivíduos por hectare

n - Tamanho da amostra

% - Percentagem

RESUMO

Para otimizar a produção florestal e atender às exigências e necessidades do mercado do consumidor, é importante ter um bom conhecimento e planeamento das florestas por meio do controle de sua densidade, pois para que isso aconteça pode ser utilizada a distribuição diamétrica, que permite estimar o número de árvores por hectare existentes em cada classe de diâmetro. Muitas pesquisas foram desenvolvidas sobre os modelos matemáticos que podem se adequar a relação hipsométrica e surge também, a preocupação quanto a utilização ampla desses modelos considerando-se factores importantes. Este trabalho teve como objectivo geral analisar a distribuição diamétrica e estimar equações hipsométricas para um povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, localizado na Floresta de Inhamacari, localidade de Machipanda no Distrito de Manica em função do diâmetro à altura do peito. A unidade amostral usada foi o transecto, os 14 transectos tinham uma área de 6,728 ha e uma intensidade de amostragem de 11,89 %, tinham largura constante de 20 metros e, como a forma dos talhões é irregular, o comprimento dos transectos era variável, onde se mediu DAP de todas árvores encontradas nos transectos no universo de 3395 árvores. Introduziu-se o DAP segundo a sua classe diamétrica com intervalo de classe de 5 cm, com DAP mínimo de 5 cm e calculou-se em todos talhões o número de árvores por hectare. Para relações hipsométricas mediu-se DAP e altura das 16 árvores respectivamente e foram ajustadas 12 modelos matemáticos, com emprego do procedimento da regressão. Pode-se dizer que os histogramas de distribuição diamétrica dos talhões do *Eucalyptus cloeziana* em Inhamacari, mostram que o número de árvores por hectare nos talhões está concentrado nas classes diamétricas maiores, isto é, de [20-25[e [30-35[em cm. Na selecção do modelo foram consideradas as estatísticas de coeficiente de determinação R^2 Ajustado (%)=52,3203, erro padrão da estimativa em percentagem da média Syx (%)=12,2093. A distribuição diamétrica apresentou curva de floresta normal e a relação hipsométrica pode ser descrita pelo modelo 3 de Trorey:

$$h = -39,0807 + 4,2633 * (d) - 0,0624 * (d^2)$$

Palavras-chave: Diâmetro, Equação hipsométrica, *Eucalyptus cloeziana*

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	I
AGRADECIMENTOS	II
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE ANEXOS.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS & ABREVIATURAS.....	VI
RESUMO.....	VII
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto	1
1.2. Problema de estudo	2
1.3. Justificação de estudo.....	3
1.4. Objectivos.....	4
1.4.1. Objectivo geral	4
1.4.2. Objectivos específicos.....	4
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Floresta plantada	5
2.2. Eucalyptus	6
2.3. Caracterização da espécie.....	7
2.3.1. Área de ocorrência	7
2.3.2. Sítio.....	8
2.3.3. Utilização	8
2.4. Distribuição diamétrica	9

2.5. Ajuste de modelos	10
2.6. Equações hipsométricas	12
2.6.1. Factores que influenciam a relações hipsométricas	12
2.6.2. Tipos de equações hipsométricas	14
2.6.2.1. Equações hipsométricas de uma entrada.....	14
2.6.2.2. Equações hipsométricas de duas entradas	14
III. METODOLOGIA	15
3.1. Área de estudo.....	15
3.1.1. Clima.....	16
3.1.2. Relevo e solos.....	17
3.1.3. Vegetação	17
3.2. Obtenção dos dados no campo	17
3.3. Ajuste dos modelos	20
3.3.1. Modelos hipsométricos	20
3.3.2. Critério de selecção do melhor modelo.....	22
3.3.2.1. Análise da variância	22
3.3.2.2. Coeficiente de determinação	22
3.3.2.3. Coeficiente de determinação ajustado.....	23
3.3.2.4. Erro padrão da estimativa.....	23
3.3.2.5. Resíduos médios.....	25
3.3.2.6. Análise gráfica dos resíduos.....	26
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. Distribuição diamétrica	28

4.2. Equações hipsométricas	30
V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	38
5.1. Conclusões	39
5.2. Recomendações	39
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
ANEXOS	48

I. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto

O território Moçambicano possui uma área florestal de cerca de 40,1 milhões de hectares (51% do país) e 14,7 milhões de hectares (19% do país) de outras formações lenhosas. Estes factos mostram que o País continua a ter um grande potencial florestal, devendo-se do momento criar medidas de gerí-las de maneira sustentável (Marzoli, 2007).

As plantações florestais em Moçambique são vistas como uma forma de ajudar a reduzir as acções dos impactos provocadas às florestas naturais, pois elas seriam a fonte de matéria-prima de inúmeras indústrias florestais devido ao seu rápido crescimento. Assim como as demais actividades agrícolas, o plantio de florestas causa impactos ambientais. No entanto, a adopção de práticas como o plantio em mosaico (blocos de eucalipto entremeados com matas nativas) e a manutenção de corredores ecológicos (plantios de eucalipto que ligam fragmentos de florestas nativas conservados isoladamente) reduz a pressão sobre florestas nativas, protege os recursos hídricos e a biodiversidade, e restaura solos, exauridos por outros usos intensivos, diminuindo os impactos sobre o meio ambiente (Aracruz, 2007).

Segundo Cardoso (1989), muitas pesquisas foram desenvolvidas sobre os modelos matemáticos que podem se adequar a relação hipsométrica e surge também, a preocupação quanto a utilização ampla desses modelos considerando-se factores importantes como: posição sociológica, sitio, densidade e idade. Diante da avaliação da influência de tais factores, deve ser estudada a viabilidade da aplicação de uma equação genérica, que permita estimativas para um conjunto de dados originados de povoamentos com características diferentes (sítios, idades ou densidades diferentes). Dessa forma, os custos de processamento dos dados com certeza diminuiriam muito, pois seria eliminado o trabalho de ajuste e selecção de equações mais adequadas para cada parcela ou povoamento.

Distribuição diamétrica também chamada de estrutura diamétrica, conceitua-se como sendo a distribuição do número de árvores por hectare, da comunidade florestal por classe de diâmetro. Para analisar a distribuição diamétrica, as árvores com DAP igual ou maior que o nível de inclusão de DAP são classificadas e contadas em classes de DAP, com uma determinada amplitude.

A obtenção destas duas variáveis DAP e altura é, portanto, operação das mais importantes. O DAP é uma variável relativamente rápida e precisa de se medir, enquanto a medição da altura, embora também forneça resultados precisos, constitui-se numa tarefa dispendiosa devido ao tempo gasto (Cardoso, 1989).

Em inventários florestais é usual medir os diâmetros de todas as árvores de uma determinada unidade amostral e a altura duma parte delas. O conjunto desses dados é utilizado para estabelecer uma relação da altura em função do diâmetro (equações hipsométricas), a qual será usada para estimar as alturas das demais árvores das parcelas em função dos diâmetros já medidos. O uso de equações hipsométricas em trabalhos de inventários florestais tem sido utilizado frequentemente, tornando assim os inventários mais económicos, e, na maioria das vezes, tão preciso quanto realizado medindo-se a altura de todas as árvores da unidade amostral (Machado *et al.*, 1994).

1.2. Problema de estudo

Em Moçambique, as florestas nativas distribuem-se por cerca de 62 milhões de hectares, o que corresponde a 78 % da superfície total do país, dos quais 20 milhões são comercialmente viáveis e 8,5 milhões encontram-se em áreas de conservação de flora e fauna. A floresta plantada cobre 46000 ha, o que corresponde a 4,6 % do potencial de reflorestamento do país, estimado em 1000000 ha. A maioria destas plantações localiza-se na província de Manica e são constituídas maioritariamente por espécies do género *Pinus* e *Eucalyptus* e cobrem cerca de 51 % do total da área plantada (MINAG, 2006).

Torna-se a necessidade de avaliar-se a diversidade contida, pois a carência de estudos de distribuição diamétrica em plantações de eucaliptos em particular na floresta de Inhamacari, preceitua que haja uma distribuição diamétrica balanceada das árvores do estoque em crescimento que assegure a continuidade de ciclos de colheitas económico e ecologicamente exequíveis e que mantenha a capacidade de sustentação das produções futuras, como também a renovação do recurso florestal.

Nos inventários de florestas, o tempo despendido em medir a altura das árvores representa parte significativa no custo total de medição, dada a grande dificuldade em realizar tal operação. A dificuldade de medição directa das alturas das árvores em florestas tropicais deve-se ao entrelaçamento das copas, a precisão dos instrumentos usados, aos factores climáticos, entre outros.

1.3. Justificação de estudo

A falta de informação de distribuição diamétrica para a floresta de Inhamacari, pois serve para caracterizar tipologias vegetais (formações florestais, formações campestres etc.), estágios serais ou sucessionais (inicial, médio, secundário avançado e primário ou clímax), estados de conservação, regimes de manejo, processos de dinâmicas de crescimento e produção, grupos ecológicos de espécies (pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax), grupos de usos (comercial, potencial, outros) e, enfim, é utilizada como guias de corte e, sobretudo, como verificador de sustentabilidade ambiental de manejo.

A estimativa de equações hipsométricas facilita a determinação das alturas nas árvores numa certa área ou povoamento florestal, que podem ser estimadas a partir do DAP, variável esta de fácil medição, tornando assim o trabalho menos custoso e muitas vezes mais preciso e livre tendenciosidades, uma vez que os bias são minimizados ao se medir a altura de poucas árvores (Silva, 1980).

Segundo Zanon *et al.* (1996), o estudo das relações biométricas, dentre as quais, a relação hipsométrica, possibilita conhecer com precisão a altura das árvores indirectamente, reduzindo o tempo e o custo de levantamento de dados no inventário florestal. Para além do diâmetro a altura do peito, altura é variável importante na estimativa de volumes de árvores, portanto há necessidade de determinar este parâmetro com melhor precisão possível. A determinação inadequada desta variável pode culminar com a sobrestimação ou subestimação dos resultados. Sendo assim, isto pode implicar num planeamento inadequado das actividades de manejo.

Portanto o presente trabalho vem auxiliar no processo de colecta de dados no campo, encontrar ferramentas que possibilitem a análise de distribuição diamétrica e à estimativa precisa de alturas adequadas de modo a estimar com exactidão os diferentes parâmetros a obter, racionalizando o tempo e custos.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

- Analisar a distribuição diamétrica e estimar equações hipsométricas para um povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, localizado na floresta de Inhamacari, localidade de Machipanda no Distrito de Manica.

1.4.2. Objectivos específicos

- Descrever a distribuição diamétrica de *Eucalyptus cloeziana*, pertencente a um povoamento implantado na Floresta de Inhamacari;
- Ajustar uma equação para estimar a altura de todo o povoamento;
- Seleccionar a melhor equação para descrever as alturas de árvores em função dos diâmetros medidos a altura do peito.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Floresta plantada

Plantações florestais, ou seja, a formação de florestas a partir de regeneração artificial tem sido estabelecida desde muito tempo na América do Norte e na Europa com o propósito de fornecer madeira para fins industriais (Lima, 1996).

Diferentemente das florestas naturais, as plantações florestais são ecossistemas planejados com o intuito de produzir grandes quantidades de biomassa, visando suprir às demandas da sociedade (Poggiani, 2006).

As florestas plantadas, embora muitas vezes criticadas, são uma forma de protecção às florestas nativas, pois oferecem matéria-prima para inúmeras aplicações na indústria.

O reflorestamento, com uso de espécies nativas ou exóticas pode ser feito para uma série de finalidades, que normalmente são económicas, mas podem ser para uso de recuperação, para protecção e, com grande ênfase actual, para usos múltiplos (Prado, 2008).

Além de reduzir a pressão sobre as matas nativas as florestas plantadas geram outros benefícios, entre eles: recuperam solos exauridos depositando biomassa sobre eles e controlando erosão; o eucalipto é pouco exigente em nutrientes minerais e adapta-se bem a solos ácidos e de baixa fertilidade; proporcionam a cobertura orgânica do solo pela deposição de folhas e ramos finos, contribuindo para a melhoria da estrutura; contribuem para regular o fluxo e a qualidade dos recursos hídricos e são fonte de riquezas económicas e sociais porque geram empregos, mantêm o homem no campo e mobilizam diversas acções de responsabilidade social (ABAF, 2009).

As florestas plantadas também possuem papel ecológico importante no que se refere ao sequestro de CO₂ atmosférico, contribuindo para minimizar o efeito estufa.

2.2. Eucaliptos

O eucalipto é originário da Austrália e chegou ao Brasil em 1825, como planta ornamental. Sua utilização para fins económicos só teve início em 1903, quando passou a ser empregado na produção de dormentes ferroviários e lenha para alimentar as locomotivas da época (Bertola, 2006).

O gênero *Eucalyptus* encontrou no Brasil as condições ideais para seu crescimento. A produtividade desses plantios em terras brasileiras chega a ser até dez vezes superior a de países como Finlândia, Portugal e Estados Unidos (CIB, 2008).

O *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, compreendendo 70 gêneros e 3000 espécies de arbustos e árvores (Rizzini, 1981 citado por Oliveira *et al.*, 1999).

Existem mais de 600 espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* e dentre as principais espécies plantadas a nível mundial estão: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. saligna*, *E. camaldulensis*, *E. globulus*, *E. dunnii* e *E. nitens* (Aracruz, 2007).

Segundo Oliveira *et al.* (1999), o *Eucalyptus* é representado por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma rectilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso.

A importância económica da cultura do *Eucalyptus* é decorrente tanto da multiplicidade de seus usos e empregos de suas diferentes espécies como da expressiva área de florestas implantadas existentes. Além disso, o eucalipto tem o dobro da produtividade de espécies coníferas plantadas no Brasil (Brandão, 2007).

Do eucalipto tudo aproveita-se. Das folhas, extraem-se óleos essenciais empregados em produtos de limpeza e alimentícios, em perfumes e até em remédios. A casca oferece tanino, usado no curtimento do couro. O tronco fornece madeira para sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas,

esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose (Lopes & Araújo, 2007).

O eucalipto é também de grande importância para o reflorestamento, servindo admiravelmente para o replantio de zonas devastadas pelas queimadas e pela derrubada das matas, para a fabricação de carvão vegetal (Cruz, 1965).

Alguns defendem que a plantação de eucalipto permite evitar o corte e abate de espécies nativas, e que seria uma opção adequada para terras degradadas, promovendo-se a economia onde são cultivados. O eucalipto, plantado de forma adequada e sendo bem manejado, pode transformar-se em um grande aliado da natureza. As florestas plantadas de eucalipto são florestas renováveis, o que dá a esta espécie uma grande importância quando se fala da utilização da madeira, aliada à preservação do meio ambiente.

2.3. Caracterização da espécie

2.3.1. Área de ocorrência

Segundo Pereira (1998), o eucaliptal de Inhamacari cobre uma área de 87,36 hectares que se encontram subdivididos em sete talhões, onde a *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* são espécies plantadas. A espécie *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* ocupam uma área de 30,76 hectares (talhões 3, 5, 33 e 42), correspondendo a uma proporção de 0,35 em relação à área total, e a espécie *Eucalyptus cloeziana* ocupa 56,6 hectares (talhões 36, 39 e 41), correspondendo a uma proporção de 0,65.

As árvores de *Eucalyptus cloeziana* são originárias da Austrália, com 50 à 70 cm de DAP, 10 a 40 m até 55 m de altura, com tronco erecto e casca persistente, fibrosa e pouco macia, em áreas menos favoráveis ao crescimento as árvores são tortuosas e com menos de 10 m de altura. A ocorrência das árvores é registada na latitude de 15° 45' a 26° 15' Sul e altitude de 75-950 m (Chippendale *et al.*, 1975).

De acordo com Hall *et al.* (1975) citados por Moura *et al.* (1993), o *Eucalyptus cloeziana* F. Muell ocorre no leste de Queensland, na Austrália, em altitudes variando de 70 a 900 m, chegando a 55 m de altura e diâmetro de até dois metros.

2.3.2. Sítio

Eucalyptus cloeziana é uma das espécies mais importantes no sul de África para reflorestamento, essencialmente nas regiões de chuva de verão, plantada com sucesso no Congo, Kenya, Malawi, Nigéria, África do Sul, Zimbabwe, Uganda e Zâmbia (FAO, 1974).

O clima é caracterizado como quente e subúmido a húmido, temperatura média do mês mais quente e mais frio de 29-34 °C e de 5-18 °C, suportando geada fraca até 5 dias/ano, a precipitação média varia de 550-2300 mm/ano, concentrando-se no verão, não se adaptando em regiões com deficiência hídrica severa e apresenta baixa capacidade de brotação de cepas (Chippendale *et al.*, 1975).

Segundo Chippendale *et al.* (1975), *E. cloeziana* desenvolve-se melhor em solo argiloso e profundo de origem vulcânica ocorrendo, também, em solo de profundidade média, arenosos derivados de granito, os solos devem ser bem drenados e de baixa-média fertilidade. Apresentando boas condições de competição, em sua zona de ocorrência natural a espécie povoa em solos francos relativamente férteis e bem drenados de origem aluvial ou vulcânica. Comparando com *E. grandis* e *E. urophylla* seu crescimento inicial é mais lento.

2.3.3. Utilização

De acordo com Trugilho *et al.* (2003), a madeira possui alta densidade de 820 kg/m³, durável com ampla utilização e indicam o potencial como fonte de tanino na casca. A madeira atende as exigências da construção civil, postes, dormentes, tábuas, etc., podendo atender a indústria moveleira de maior valor agregado. Entre os eucaliptos, *E. cloeziana* é considerado uma das

melhores espécies para postes. No Brasil sua madeira é empregada para produção de lenha e carvão (Oliveira *et al.*, 1999).

No sul de África é utilizada para postes telefónicos e de transmissão de energia devido principalmente à rectidão de seu fuste (FAO, 1974).

É uma espécie rústica e de crescimento rápido, é adequada para reflorestamentos destinados à produção de madeira para diversos usos. É adaptada para solos rasos e pedregosos, desenvolve-se melhor em regiões subtropicais como o sudeste e sul do Brasil. É também, ocasionalmente, cultivada como árvore de sombra na zona rural (Boland *et al.*, 1994).

2.4. Distribuição diamétrica

A distribuição de diâmetros de um povoamento corresponde a determinar a frequência das árvores de acordo com classes de diâmetro previamente fixadas. A amplitude das classes de diâmetro pode ser ajustada em função da espécie e da dimensão das árvores, mas a amplitude mais usual é a de 5 cm. Neste caso, considera-se a primeira classe de diâmetro com o valor central de 5, a “classe dos 5”, fechada à esquerda e aberta à direita: [2,5;7,5[. Ou seja, as árvores com diâmetro igual a 7,5 cm já são contabilizadas na classe com valor central de 10 cm, a “classe dos 10” (a qual fica portanto [7.5;12.4]) (Tomé, 2007).

Segundo Tomé (2007), a distribuição de diâmetros obtida é posteriormente reduzida ao hectare e graficamente, é representada por um histograma ou, algumas vezes, por um polígono de frequências. A distribuição de diâmetros é um indicador da estrutura do povoamento, dando informações preciosas sobre as técnicas de silvicultura a seguir para um determinado povoamento.

Se as árvores de um povoamento forem agrupadas em certos intervalos de diâmetros à altura do peito, obtém-se a distribuição diamétrica. Além das frequências, também a área basal, volume ou incrementos em área basal, em volume e valores monetários podem ser plotados em classes

diamétricas. A distribuição de frequência não estabelece relações entre DAP e certas quantidades como, por exemplo, ALTURA/DAP, mas indica as frequências de variáveis específicas definidas dentro de intervalos de diâmetros (Loetsch *et al.*, 1973).

Segundo Loetsch *et al.* (1973), as distribuições são classificadas em três tipos: unimodal, decrescente e multimodal.

As distribuições unimodais são características de povoamentos equiâneos. A unimodalidade indica que a regeneração ocorre em ciclos e não continuamente.

As distribuições decrescentes são importantes porque ocorrem em alguns tipos de florestais naturais com alta diversidade de espécies e variação de idades. As distribuições decrescentes ocorrem principalmente: Florestas naturais, Povoamentos florestais manejados com uma espécie em várias idades; Povoamentos florestais manejados com várias espécies e idades.

A análise da distribuição diamétrica, permite inferir sobre o passado e o futuro das comunidades vegetais. Sob o ponto de vista de produção, a estrutura diamétrica de uma floresta permite caracterizar o estoque de madeira disponível antes de uma exploração, além de fornecer informações que auxiliam na tomada de decisões sobre a necessidade de reposição florestal. Conhecendo-se a estrutura diamétrica de um povoamento, será possível avaliar melhor o comportamento da espécie, considerando que todo manejo e actividades de exploração comercial provocam alterações na estrutura diamétrica. Além disso, a análise da distribuição diamétrica permite estimar o número de árvores por unidade de área e por classe de diâmetro, permitindo obter informações mais detalhadas da estrutura do povoamento (Scolforo & Mello, 1997).

2.5. Ajuste de Modelos

Para estimar o volume, busca-se relacionar variáveis como o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura total da árvore com o seu volume. Na operacionalização do inventário, o DAP é uma variável de fácil obtenção, o que não ocorre com a altura (Silva *et al.*, 2007).

Segundo Couto & Bastos (1987), a determinação da altura das árvores em pé por meio de instrumentos é uma operação onerosa e sujeita a erros.

Segundo Barros *et al.* (2002), vários modelos estatísticos podem adequar-se à relação hipsométrica. Porém, o uso indiscriminado de tal relação pode levar a erros consideráveis, uma vez que vários factores podem influenciá-la, tais como posição sociológica, sítio, idade, densidade e práticas silviculturais em geral.

As relações hipsométricas, ou seja, as funções relacionando DAP e altura total da árvore, são bastante sensíveis às variações de sítio (Couto & Bastos, 1987).

Segundo Schneider (1986), citado por Silva *et al.* (2007), para a determinação de uma relação hipsométrica são necessários, em média, 30 a 40 alturas distribuídas em toda a amplitude diamétrica.

A análise de regressão tem sido usada com ênfase na solução de grande parte dos problemas florestais, especialmente quando se pretende obter estimativas de parâmetros da floresta com o mínimo de custo e tempo, utilizando-se de relações matemáticas que possibilitam obter essas estimativas de forma indirecta através de equações de regressão (Schneider, 1998).

Segundo Thomas *et al.* (2006), 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.

A escolha de equações é uma fase importante no trabalho do inventário florestal, já que qualquer erro de tendência na estimativa do volume ou peso por árvore terá reflexos na estimativa da população, causando uma sub ou super avaliação da produção (Campos *et al.*, 1985).

2.6. Equações hipsométricas

A relação entre a altura e o diâmetro das árvores é denominada de relação hipsométrica, na qual, a associação existente entre essas duas variáveis permite determinar funções estatísticas para descrever a altura como variável resposta a partir do diâmetro da árvore, sem perda significativa de precisão, trazendo grande vantagem pela diminuição do tempo gasto no levantamento de dados, com conseqüente redução de custos (Finger *et al.*, 2000).

Uma relação hipsométrica tem como variável dependente a altura da árvore, normalmente a altura total, podendo, contudo, trabalhar-se com a altura comercial. Como variável independente, a principal e o DAP, empregando-se, em alguns casos, a idade, a altura dominante e combinações dessas variáveis (De Sousa *et al.*, s.d).

Segundo Caldeira *et al.* (2003), a relação hipsométrica é uma opção de trabalho controvertida, mas de grande utilização. É um aspecto de suma importância a ser considerado na colecta de informações, sendo de grande utilidade prática principalmente em populações com árvores de grande porte.

2.6.1. Factores que influenciam a relações hipsométricas

Os factores que influenciam as relações hipsométricas são: a idade, sítio, densidade, posição sociológica, tamanho da copa e espécie (Barros *et al.*, 2002).

A evolução das curvas de relação hipsométrica (h/d) é mais íngreme nas idades iniciais, suavizando e deslocando-se, ligeiramente, para cima e para a direita ao longo do tempo.

A medida que aumenta a idade, as curvas que descrevem a relação altura-diâmetro se deslocam para cima e para a direita, acompanhando o crescimento em diâmetro e altura, sendo as curvas nas idades jovens mais íngremes em relação as curvas nas idades mais velhas (Bartoszeck *et al.*, 2004).

Em sítios bons, as melhores condições locais aceleram o crescimento, favorecendo a formação de classes sociológicas, nestes sítios tem-se uma curva de altura íngreme, enquanto em sítios pobres as curvas para uma mesma espécie são mais achatadas (Zanon *et al.*, 1996).

Scolforo (1997), citado por Caldeira *et al.* (2003), realça que, na relação altura e diâmetro, pode-se considerar duas situações: a primeira refere-se a povoamentos em sítios bem definidos, bem formados e conduzidos. Nesta situação espera-se uma correlação alta entre as variáveis diâmetro e altura, pois haverá maior homogeneidade na população considerada.

Na segunda situação, em povoamentos mais antigos, mal formados ou mal conduzidos, ou em sítios não bem definidos. Neste caso, espera-se uma correlação baixa entre as variáveis diâmetros e altura. Haverá. Então, uma heterogeneidade na população considerada.

Segundo Tonon (1998), citado por Bartoszeck *et al.* (2004), em povoamentos de Bracatinga, obteve os resultados que indicaram que a densidade, seja inicial ou actual, exerce forte efeito sobre o crescimento em diâmetro das árvores que compõem o povoamento, porém pouco ou quase nenhum efeito sobre o crescimento em altura, especialmente o das árvores dominantes.

A relação entre altura e diâmetro depende fundamentalmente da posição sociológica da árvore no povoamento, e que difere da posição sociológica da árvore dentro das classes. Esta curva mostra ser mais inclinada em povoamentos jovens equiâneos de sítios bons, porém, em sítios pobres, torna-se mais plana. Salienta, que a inclinação da curva de altura é característica para cada espécie (Azevedo, 1999).

Segundo Scolforo (1999) citado por Caldeira *et al.* (2003), diz que, o comprimento da copa também influencia a relação hipsométricas, pois quanto maior a copa menor será a razão h/d.

2.6.2. Tipos de equações hipsométricas

As equações hipsométricas classificam-se em: equações de uma entrada, de duas e de três entradas.

2.6.2.1. Equações hipsométricas de uma entrada

Segundo Rondeux (1993), nas equações hipsométricas de uma entrada, a altura é geralmente função apenas do diâmetro, sendo estas relações ajustadas para aplicação no povoamento onde foi feita a recolha de dados. Este tipo de relações é muito utilizado em manejo florestal para o cálculo do volume das árvores e dos povoamentos.

2.6.2.2. Equações hipsométricas de duas entradas

Segundo Beguin & Raullier (1995), citados por Almeida & Marques (2006), para uma dada espécie, a relação altura-diâmetro de um povoamento pode variar em função do tempo ou idade, da altura média, da altura dominante, do diâmetro médio, da qualidade da estação e da densidade.

Destas dependências e para aplicação generalizada a uma região, surgem as relações hipsométricas gerais que são vulgarmente utilizadas em modelos de produção (Tomé, 1998; citado por Almeida & Marques, 2006).

Estas relações permitem estimar a altura em função do diâmetro e de vários parâmetros do povoamento: altura dominante, índice de qualidade, idade, diâmetro médio, densidade, etc. (Almeida & Marques, 2006).

III. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

A área do estudo localiza-se no Posto Administrativo de Machipanda, na região fronteiriça com Zimbabwe, no distrito de Manica, província de Manica em Moçambique. Denomina-se floresta de Inhamacari, nome proveniente do rio Inhamacari que atravessa a região. O Posto Administrativo de Machipanda localiza-se na parte Oeste do distrito de Manica como ilustra a figura 1.

O eucaliptal de Inhamacari situa-se na floresta de Inhamacari, pertencente à CEFLOMA, do Departamento de Engenharia Florestal, da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, da Universidade Eduardo Mondlane. Encontra-se no norte de Machipanda, no distrito de Manica, na província de igual nome. Faz fronteira com o Zimbabwe e situa-se nas seguintes coordenadas: Latitude: de 18°55'45" sul a 18°57'56" sul; Longitude: de 32°41'52" a 32°44'17" (Chamba & Rokyta, 1994).

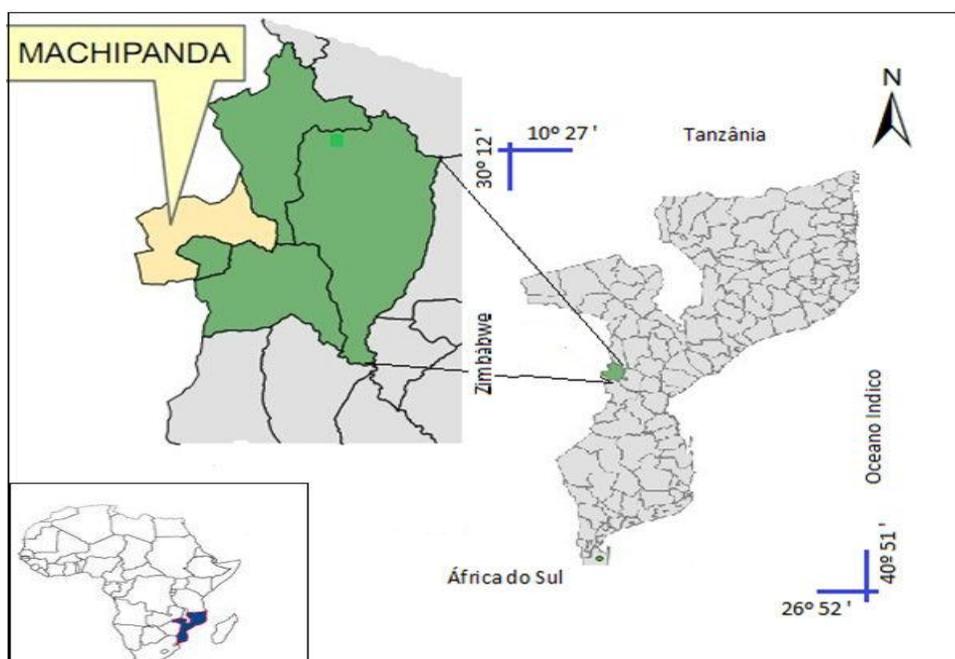


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo em Moçambique.

Fonte: Tuzine *et al.*, 2011.

Segundo Guacha (2003), a floresta de Inhamacari pertence ao DEF da UEM. Ocupa uma área aproximadamente igual a 994 ha, dos quais 498 ha correspondem a floresta nativa e 496 ha estão destinados a plantações.

A floresta contém recursos naturais como água (vários riachos que ocorrem na floresta), animais (galinha e porco de mato, coelhos, macacos e ratos comestíveis), frutos silvestres, diversas espécies de madeira usadas como combustível lenhoso e para construção, plantas medicinais, áreas de pastagem e agricultura (DEF, 1999).

3.1.1. Clima

A floresta de Inhamacari caracteriza-se por um clima húmido, com uma PMA de 930 mm e uma TMA de 19,3 °C. Quanto a distribuição, as maiores quantidades de precipitação registam-se nos meses de Novembro a Março onde atingem cerca de 100 mm (Figura 2) e as maiores temperaturas observam-se nos meses de Outubro a Março, alcançam 20 °C (Figura 3). A altitude varia de 940-1620 m. E o clima variado de moderado frio a moderado quente, sendo modificado pela altitude (Frechauth, 2011).

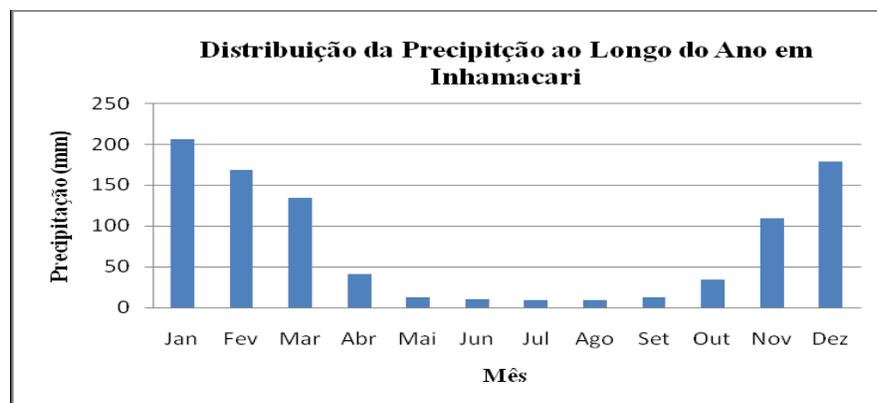


Figura 2: Distribuição anual da precipitação.

Fonte: US GIS, 2001, citado por Frechauth, 2011.

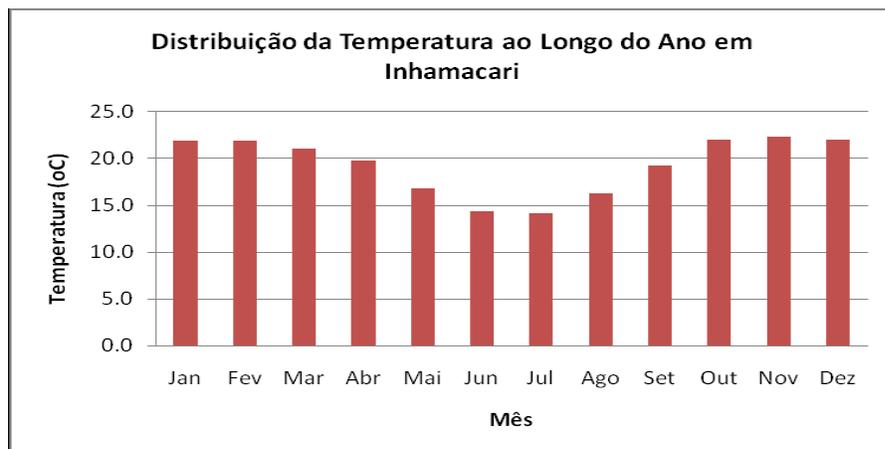


Figura 3: Distribuição anual da temperatura.

Fonte: US GIS, 2001, citado por Frechauth, 2011.

3.1.2. Relevo e solos

Segundo o INIA, citado por Pereira (1998), os solos de Inhamacari são vermelhos à acastanhados, arenosos à argilosos, óxidos, de textura média e dístricos.

3.1.3. Vegetação

Os levantamentos efectuados na mata de Inhamacari indicam a existência de seis tipos de uso e cobertura de solo, destacam-se as plantações de Pinus, plantações de Eucalipto, mistura de Pinus e Eucalipto, mistura de Pinus e mata nativa.

As espécies que constituem as plantações de Eucalipto são: *Eucalyptus cloeziana* com maior predominância, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, e em vários talhões mistura de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.

3.2. Obtenção dos dados no campo

A unidade amostral usada foi o transecto, onde todos dados foram colectados em 14 transectos. Mediu-se DAP de todas árvores inclusas nos transectos no universo de 3395 árvores para

distribuição diamétrica. Os transectos tinham largura constante de 20 metros e, como a forma dos talhões é irregular, o comprimento dos transectos era variável de acordo com a forma do talhão. O comprimento dos talhões foi corrigido de acordo com a inclinação do terreno. O comprimento corrigido multiplicado pela largura do transecto providenciou a área corrigida de cada transecto, área na projecção horizontal. Com as áreas de cada transecto foi possível calcular-se a intensidade de amostragem por cada talhão e para *E. cloeziana*.

A Tabela 1 mostra o número de transectos alocados e por talhão e a Tabela 2 dá as áreas dos diferentes transectos, intensidades de amostragem de *Eucalyptus cloeziana* e por talhão e o número total de transectos (N) por talhão e, conseqüentemente, para *E. cloeziana*. Ao número total de transectos por talhão, refere-se ao número de transectos de largura de 20 metros que podem caber num talhão, orientados do norte ao sul.

Onde:

$$\text{Proporção} = \frac{\text{Área ocupada pelo } E. \text{ cloeziana (ha)}}{\text{Área total eucaliptal (ha)}}$$

$$\text{Área dos transectos (ha)} = \frac{\text{Comprimento (m)} \times \text{Largura (m)}}{10000}$$

Tabela 1: Área, proporção e número de transectos alocados de *Eucalyptus cloeziana* e por Talhão

Espécie	Área (ha)	Proporção	Transectos	Talhão	Área (ha)	Proporção	Transectos
<i>E. cloeziana</i>	56.6	0.65	14	36	11	0.1943	4
				39	26.1	0.4611	6
				41	19.5	0.3445	4
Total					56.6	1	14

Tabela 2: Área amostrada, intensidade de amostragem por talhão e total para o *Eucalyptus cloeziana*

Talhão	A (ha)	N	n	Transectos	Área dos transectos (ha)	a (ha)	i (%)
39	26,1	20	6	1	0,185	2,822	10,81
				2	0,25		
				3	0,38		
				4	0,76		
				5	0,255		
				6	0,992		
36	11	13	4	1	0,45	1,84	16,73
				2	0,61		
				3	0,54		
				4	0,24		
41	19,5	18	4	1	0,4	2,066	10,59
				2	0,583		
				3	0,663		
				4	0,42		
At	56,6						
Nt		51					
nt			14				
at						6,728	
I (%)							11,89

Onde:

A_t = Área total; N_t = Número total de transectos; n_t = Número total de transectos amostrados; a_t = Área total amostrada; I (%) = intensidade de amostragem;

A = Área total do talhão; N = número total de transectos no talhão; n = número de transectos amostrados no Talhão; a = área amostrada do talhão; i (%) = intensidade de amostragem do talhão.

Para toda a plantação do *Eucalyptus cloeziana* de Inhamacari obteve-se uma área amostrada de 6,728 hectares, correspondendo a uma intensidade de amostragem de 11,89 %. Uma intensidade considerada suficientemente grande para povoamentos considerados puros.

Os transectos foram estabelecidos de uma extremidade do talhão à outra, no sentido sul norte ou norte-sul. Com o DAP medido no campo de cada transecto e cada talhão fez-se a distribuição diamétrica com intervalo de classe de 5 cm e considerou-se DAP mínimo de 5 cm, depois achou-se o número de árvores por hectare em cada talhão.

Foram abatidas 16 árvores de *E. cloeziana*, de classes diamétricas variando de 20 a 38 cm. Destas árvores mediu-se o diâmetro à altura do peito e a altura total do fuste. Com os diâmetros e as alturas das árvores abatidas foram ajustadas 12 equações hipsométricas usando o pacote estatístico Excel e por fim seleccionou-se uma.

3.3. Ajuste dos modelos

3.3.1. Modelos Hipsométricos

A partir dos pares de dados reais da altura e diâmetro à altura do peito, obtidos através da medição de algumas árvores no campo, foi possível ajustar modelos hipsométricos. Para o ajuste foram testados os seguintes modelos, para área florestal estudada:

Tabela 3: Modelos hipsométricos testados no ajuste

Modelo	Variável independente	Equações	Autor(es)
1	Diâmetro à Altura do Peito (DAP) - d	$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \beta_3(d^3) + \varepsilon_i$	S/autor
2		$h = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{d^2}\right) + \varepsilon_i$	Soares <i>et al.</i> (2006) ³
3		$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \beta_2(d^2) + \varepsilon_i$	Trorey (1932) ¹
4		$h = \beta_0 + \beta_1(d) + \varepsilon_i$	Campos e Leite (2002) ²
5		$h = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon_i$	S/autor
6		$h = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2\left(\frac{1}{d^2}\right) + \varepsilon_i$	S/autor
7		$h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d)$	Henricksen ²
8		$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon_i$	Stofel ¹
9		$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d^2) + \varepsilon_i$	S/autor
10		$\ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2\left(\frac{1}{d}\right) + \varepsilon_i$	Silva (1980) ²
11		$\ln h = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{1}{d}\right) + \beta_2\left(\frac{1}{d^2}\right) + \varepsilon_i$	Azevedo <i>et al.</i> (1999) ²
12		$\ln h = \beta_0 + \left(\frac{\beta_1}{d}\right) + \varepsilon_i$	Curtis (1967) ¹

¹ Modelos citados por Machado *et al.* (2008); ² Modelos citados por Scolforo (1993); ³ Modelo citado por Azevedo *et al.* (2011).

Onde:

d = Diâmetro à Altura do Peito (DAP) em cm;

ln = logaritmo natural;

h = altura total em m.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = coeficientes a serem estimados

ε_i = erro associado.

3.3.2. Critério de selecção do melhor modelo

Para selecção do melhor modelo foram observados os seguintes critérios estatísticos de escolha:

- Análise da variância;
- Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{Ajustado});
- Erro padrão da estimativa em m^3 (S_{y_x}) e em percentagem ($S_{y_x}\%$);
- Resíduos médios e
- Análise gráfica dos resíduos, para verificar a ocorrência ou não de tendenciosidade nas estimativas da variável dependente.

3.3.2.1. 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 selecção (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 deve-se levar em consideração os graus de liberdade da regressão e do erro em função do nível de probabilidade desejado. Neste trabalho foi considerada a probabilidade de 95% ($p < 0,05$).

3.3.2.2. Coeficiente de determinação

Segundo Machado *et al.* (2002), o coeficiente de determinação (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.

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

Onde:

R^2 = Coeficiente de determinação;

$SQ_{\text{resíduo}}$ = Soma dos quadrados dos resíduos;

SQ_{total} = Soma dos quadrados totais

3.3.2.3. Coeficiente de determinação ajustado

Segundo Weber (2007), como o coeficiente de determinação cresce à medida que se inclui uma nova variável ao modelo matemático, a comparação de diferentes equações de regressão múltipla foi feita com o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{Ajustado}).

Por esse critério, quanto mais próximo de 1 for o valor do coeficiente de determinação ajustado, melhor será o ajuste da linha de regressão.

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

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.

3.3.2.4. Erro padrão da estimativa

O Erro padrão da estimativa mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha da regressão. Ele indica a precisão do ajuste de um modelo matemático, e somente deve ser utilizado como comparador quando as variáveis dependentes apresentarem a mesma unidade de medida.

Assim, quanto menor o erro padrão da estimativa (S_{yx} e $S_{yx}\%$), melhores são as estimativas obtidas com a equação (Thomas, 2006).

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{\text{resíduo}}}$$

Onde:

S_{yx} = Erro padrão da estimativa;

$QM_{\text{res.}}$ = Quadrado Médio do resíduo, obtido na análise da variância.

Em seguida, foi calculado o S_{yx} (%) de todos os modelos testados através da fórmula:

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

Onde:

S_{yx} = Erro padrão da estimativa;

\bar{y} = Média aritmética real da variável dependente.

Para o presente estudo, calculou-se os valores estimados usando a seguinte equação:

$$VE = \exp\left(\ln(d_{0,i}) + \frac{(S_{yx})^2}{2}\right)$$

Onde:

$\ln(d_{0,i})$ = Valor da equação logaritmizada;

S_{yx} = Desvio padrão da estimativa;

Para o cálculo de Índice de Furnival usou-se as seguintes fórmulas:

Para equações que se transformou a variável dependente (equação geral):

$$IF = S_{yx} * \sqrt{\frac{1}{\text{Geomean}(y')}}$$

Para equações que se transformou a variável dependente para logaritmo neperiano:

$$IF = \exp\left(\frac{\sum \ln \hat{y}}{n}\right) * S_{yx}$$

Em percentagem:

$$IF(\%) = \frac{IF}{\bar{y}} * 100$$

Onde:

IF = Índice de Furnival;

S_{yx} = Erro padrão da estimativa;

\bar{y} = Média geral da variável dependente

Geomean (y') = Média geométrica de derivada da variável dependente.

3.3.2.5. Resíduos médios

Este parâmetro mede os erros médios do modelo, descrevendo a magnitude direccional e o tamanho esperado da sobre e sub-estimação dos valores. O melhor modelo deve ter a estatística próxima de zero. O teste sobre os resíduos médios serve para comparar os valores observados dos estimados, através da média residual, usando o teste *t de student*. Quando o $t_{\text{calculado}}$ for menor que $t_{\text{crítico}}$, conclui-se que os valores estimados pela regressão não diferem estatisticamente dos valores observados (Colpini, 2009).

Segundo Murteira (1999), realça que o teste serve para verificar a qualidade do ajuste do modelo, partindo de princípio que qualquer instrumento preditivo é sempre acompanhado pela compreensível preocupação de avaliar o respectivo grau de precisão do mesmo. No presente trabalho usou-se as seguintes fórmulas:

$$\text{med}_r = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

$$t_{\text{calculado}} = \frac{\text{med}_r}{S_r}$$

$$t_{\text{crítico}} = \text{tinv}(\alpha, n - 1)$$

Onde:

med_r = Resíduos médios;

S_r = Erro padrão residual;

n = tamanho da amostra;

α = grau de significância, 5%

3.3.2.6. Análise gráfica dos resíduos

A análise da distribuição gráfica dos valores residuais é um critério importante por possibilitar 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 (Scolforo *et al.*, 2004).

Os valores residuais foram obtidos pela diferença entre os valores observados da variável dependente (volume) e os valores estimados pela equação.

$$\text{res} = y_i - \hat{y}_i$$

Em percentagem:

$$\text{res}(\%) = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} * 100$$

Os gráficos de resíduos foram construídos utilizando como ordenada os resíduos percentuais e como abscissa os valores de altura estimada em metros, ou seja, variável dependente estimada, onde para a realização dos ajustes foi utilizado o pacote estatístico Excel.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Distribuição diamétrica

Na Tabela 4 tendo em conta o Coeficiente de Variação, pode-se dizer que no talhão 39, há maior dispersão de DAP no transecto 5, onde no talhão 36 se nota maior dispersão no transecto 4 e por fim no talhão 41, no transecto 3.

Tabela 4: Estatísticas descritivas dos transectos

Variável	Talhão													
	39						36				41			
	Transectos													
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4
Média	27,3919	26,3111	28,5323	29,8571	29,8313	33,0427	26,1720	30,2691	28,8458	29,9138	32,3730	23,2328	23,5012	24,2467
Moda	23	26	36	30	36	22	26	30	26	24	25	18	16	30
Variância	48,1345	27,9362	53,7075	65,5411	89,4745	100,4698	26,7374	45,7307	37,2860	47,3838	80,9352	89,8917	115,0648	106,7218
Desvio padrão	6,9379	5,2855	7,3285	8,0957	9,4591	10,0235	5,1708	6,7624	6,1062	6,8836	8,9964	9,4811	10,7268	10,3306
Erro padrão	0,5703	0,3940	0,4654	0,3825	0,7478	0,4704	0,3270	0,3898	0,4174	0,6391	1,1334	0,6033	0,5272	0,8379
Mínimo	13	15	13	12	12	2	13	15	15	15	13	10	5	7
Máximo	52	51	52	54	60	70	42	49	52	46	52	56	80	47
Amplitude	39	36	39	42	48	68	29	34	37	31	39	46	76	40
CV (%)	25	20	26	27	32	30	20	22	21	23	28	41	46	43
Observações	148	180	248	448	160	454	250	301	214	116	63	247	414	152

Um aspecto importante das populações, em especial das espécies florestais de interesse económico, diz respeito a sua distribuição por classe de tamanho. Todos toros com diâmetro abaixo de 10 cm podem ser destinadas para energia, na utilização de lenha por exemplo, ou como estacas. As maiores que 10 cm são utilizadas nas fábricas de celulose e papel, e as maiores que 15 cm são recomendadas para serração.

Analisando os histogramas de distribuição diamétrica dos diferentes talhões de *Eucalyptus cloeziana*, notou-se que o número de árvores por hectare está concentrado nas classes diamétricas de intervalos [20-25[, [25-30[e [30-35[em cm, para o talhão 39, onde nestas classes se observa mais de 100 indivíduos por hectare por cada classe.

No talhão 36, os indivíduos estão concentrados nas classes diamétricas [25-30[e [30-35[em cm onde podemos verificar que chegam a atingir mais de 120 indivíduos por hectare em cada acima mencionada.

Para o talhão 41, o maior número de árvores por hectare encontrou-se nas classes diamétricas de [10-15[, [15-20[, [20-25[, [25-30[, [30-35[e [35-40[em cm, observando-se que assim tem o potencial para exploração tanto de estacas, assim como de postes.

O *Eucalyptus cloeziana* tem o seguinte valor de número de árvores por hectare, ou seja, apresenta como densidade: 504,6 árvores por hectare. Tendo em conta os resultados observados nas figuras 4 e 5, pode-se dizer que os histogramas de distribuição diamétrica dos talhões do *Eucalyptus cloeziana* em Inhamacari, mostram que o número de árvores por hectare nos talhões está concentrado nas classes diamétricas maiores, ou seja, nas classes diamétricas de [20-25[e [30-35[em cm. O povoamento de *Eucalyptus cloeziana* da floresta de Inhamacari, apresenta distribuição diamétrica com tendência de uma floresta normal em todos talhões (Figuras 4 & 5).

Nas primeiras idades, o número de árvores por hectare foi maior nas menores classes diamétricas. Com o passar do tempo, o número de árvores por hectare diminuiu nas menores classes diamétricas e aumentou nas classes diamétricas centrais, o que fez com que o maior número de indivíduos concentrasse na parte central (Figuras 4 & 5).

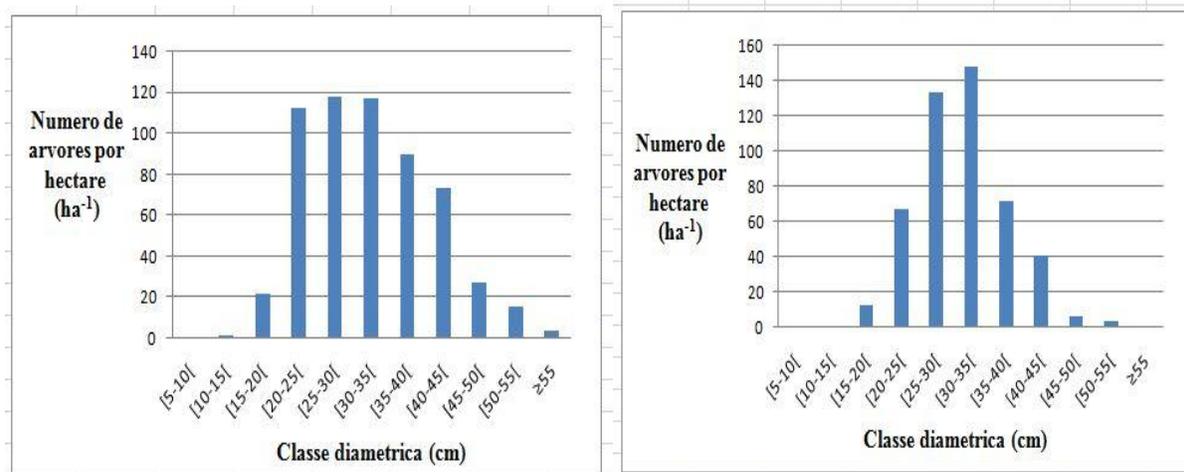


Figura 4: Distribuição diamétrica dos talhões 39 e 36

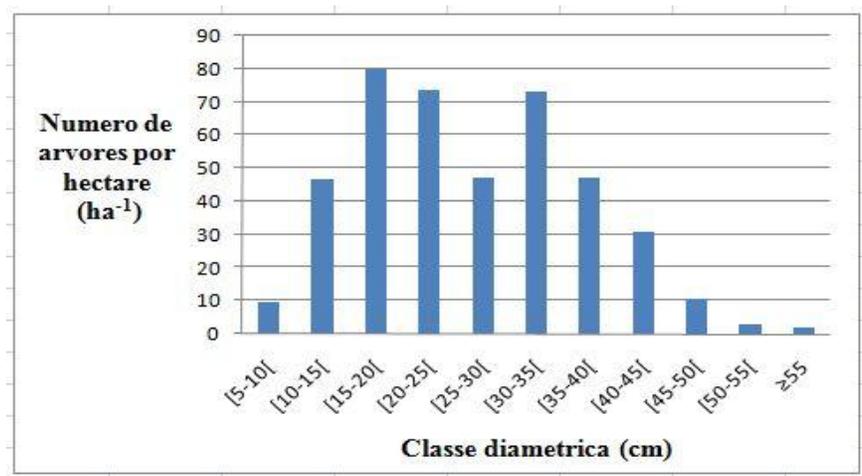


Figura 5: Distribuição diamétrica do talhão 41

Segundo Zunguze (2012), que fez um estudo da espécie de *Eucalyptus spp*, encontrou que a espécie *Eucalyptus cloeziana* em relação a frequência, para os povoamentos de 6 anos de idade, a maior frequência é de indivíduos com idades compreendidos entre intervalos de [15-20[em cm, seguida por indivíduos de [10-15[em cm e pouca frequência abaixo de 10 cm de diâmetro, para idade de 11 anos a maior frequência regista-se nos intervalos de [20-25[em cm, seguida de

[15-20[em cm e [10-15[em cm e poucos indivíduos acima de 25 cm de diâmetro e abaixo de 10 cm, e para eucaliptos com idade maior que 30 anos regista maior frequência de indivíduos nos intervalos entre [35-40[, [30-35[e [40-45[em cm.

Este caso dos histogramas de distribuição dos diâmetros também foi encontrado por Machado *et al.* (2002), estudando a dinâmica da distribuição diamétrica dos povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella*), na Região Metropolitana de Curitiba, PR e por Leite *et al.* (2005), em um estudo sobre a distribuição de *Eucalyptus sp.*, submetido a desbaste, na Bahia.

Houve maior concentração de indivíduos nas classes centrais da distribuição, esse factor muito comum em florestas plantadas, pois, em sua grande maioria, são florestas formadas por uma única espécie embora sejam de anos diferentes, como é o caso do *Eucalyptus cloeziana*. Diante disso, esse é o método mais apropriado no caso de plantações ou outros povoamentos florestais cuja distribuição de diâmetros se aproxime da distribuição normal (Machado & Filho, 2006).

Este tipo de comportamento dos histogramas de distribuição diamétrica foi encontrado por Nogueira *et al.* (2006), que estudou *Tectona grandis*, por Arce (2004), em uma pesquisa sobre a modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh, por Carelli Neto (2008), que estudou a dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* de 6 a 18 anos, em diferentes espaçamentos e Finger (1982), estudando a distribuição de diâmetros em acácia negra (*Acacia mearnsii*) em diferentes povoamentos e idades.

4.2. Equações hipsométricas

Na Tabela 5 pode-se ver as 12 equações ajustadas, das quais 7 aritméticas e 5 logarítmicas, com os seus respectivos coeficientes estimados, onde nas equações 8 e 9 se verificam valores semelhantes no intercepto e diferente da inclinação da recta, pois isto deve-se a duplicação do diâmetro na equação 9.

Tabela 5: Equações hipsométricas ajustadas para *Eucalyptus cloeziana*

Modelo	Equação ajustada
1	$h = 26,6848 - 2,7674 * (d) + 0,1824 * (d^2) - 0,0028 * (d^3)$
2	$h = 39,3667 - 6992,2123 * \left(\frac{1}{d^2}\right)$
3	$h = -39,0807 + 4,2633 * (d) - 0,0624 * (d^2)$
4	$h = 12,2624 + 0,6107 * (d)$
5	$h = 48,3711 - 512,1202 * \left(\frac{1}{d}\right)$
6	$h = 21,0895 + 1018,2521 * \left(\frac{1}{d}\right) - 20621,5134 * \left(\frac{1}{d^2}\right)$
7	$h = -30,3959 + 18,0377 * \ln(d)$
8	$\ln h = 1,2331 + 0,6430 * \ln(d)$
9	$\ln h = 1,2331 + 0,3215 * \ln(d^2)$
10	$\ln h = 13,3736 - 2,1519 * \ln(d) - 77,5797 * \left(\frac{1}{d}\right)$
11	$\ln h = 3,0381 + 38,0100 * \left(\frac{1}{d}\right) - 758,2900 * \left(\frac{1}{d^2}\right)$
12	$\ln h = 4,0413 - 18,2645 * \left(\frac{1}{d}\right)$

Os parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 6, obtidos nas equações matemáticas, não foram muito significativos, pois em todos casos os valores de $F_{\text{calculado}}$ são maiores que os valores de $F_{\text{crítico}}$. Este facto pode ter ocorrido devido à baixa relação da variável dependente (altura) com a independente (diâmetro), ou seja, árvores com diâmetro grande apresentaram alturas pequenas e árvores com diâmetro pequeno apresentaram alturas grandes.

Uma das possíveis razões seria porque esse povoamento apresenta árvores de idades diferentes, sem um espaçamento definido e sem ocorrência de tratos silviculturais, como desrama e desbaste, o que o torna mais heterogéneo.

O modelo que melhor apresentou uma relação da altura com o diâmetro à altura do peito da árvore foi o modelo 3 de Trorey, pois nele obteve-se o melhor resultado tanto para o coeficiente de determinação de 52,3203 %, como para o erro padrão da estimativa foi de 12,2093 %.

Em relação à estatística F, verifica-se que os valores foram significativos em todos os 12 (doze) modelos estudados, sendo que o modelo 2 de Soares *et al.*, foi o mais significativo entre eles, confirmando assim a escolha deste como o melhor modelo estatístico (Tabela 6).

Tabela 6: Coeficientes e parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste dos modelos de altura de *Eucalyptus cloeziana*.

Modelos	Coeficientes				R ² Ajustado (%)	Syx (%)	IF (%)	F _{calculado}	F _{crítico}
	β_0	β_1	β_2	β_3					
1	26,6848	-2,7674	0,1824	-0,0028	48,9468	12,6339		5,7937	3,4903
2	39,3667	-6992,2123			52,1334	12,2332		17,3371	4,6001
3	-39,0807	4,2633	-0,0624		52,3203	12,2093		9,2300	3,8056
4	12,2624	0,6107			43,5519	13,2846		12,5731	4,6001
5	48,3711	-512,1202			50,2077	12,4769		16,1251	4,6001
6	21,0895	1018,2521			50,0793	12,4930		8,5238	3,8056
7	-30,3959	18,0377			47,2934	12,8368		14,4594	4,6001
8	1,2331	0,6430			48,9249		13,0271	15,3685	4,6001
9	1,2331	0,3215			48,9249		13,0271	15,3685	4,6001
10	13,3736	-2,1519	-77,5797		53,0026		12,4963	9,4583	3,8056
11	3,0381	38,0100	-758,2900		52,3464		12,5832	9,2381	3,8056
12	4,0413	-18,2645			51,9830		12,6311	17,2389	4,6001

Os modelos 1, 6 e 10 podem ser eliminados pois estes mostram que os seus coeficientes testados separadamente, usando teste *t student* são insignificativos. Onde se pode dizer que o coeficiente angular (β_1), que dá a inclinação da recta é significativo nos modelos 3, 4, 7, 8 e 9, para dizer que nestes modelos se nota variação ou linearidade entre a variável altura e a variável diâmetro. O

coeficiente linear (β_0) é insignificativo para os modelos 1, 3, 6, 7 e 10, o coeficiente (β_2) é insignificativo para os modelos 1, 3, 6, 10 e 11. O coeficiente (β_3) é insignificativo no modelo 1.

Para testar os coeficientes de regressão separadamente, cujas hipóteses nulas para o coeficiente linear (β_0) e os coeficientes angulares (β_1 , β_2 e β_3), devem ser iguais a zero respectivamente, o valor de $t_{\text{calculado}}$ é menor que o valor de t_{critico} e assim não se rejeitam as hipóteses, logo não há evidências suficientes que mostrem que os coeficientes de regressão são diferentes de zero, por isso podem ser eliminados.

Na Tabela 7, pode-se observar as 5 melhores equações matemáticas, seleccionadas para a análise gráfica dos resíduos em percentagem. Devido as equações apresentarem diferente número de coeficientes, a análise da variação total dos dados deve ser realizada com base no coeficiente de determinação, ajustado para o número de coeficientes de cada modelo matemático. Para a selecção destes 5 modelos seguiu-se primeiramente erro padrão da estimativa em percentagem [Syx (%)] e coeficiente de determinação [R^2 Ajustado (%)].

Observa-se que duas das equações seleccionadas apresentaram um coeficiente de determinação ajustado em torno de 52 % e três delas apresentaram um valor de erro padrão da estimativa em torno 12 %, o que demonstra que a variação total dos dados foi bem explicada apenas por três equações (Tabela 7).

Tabela 7: Coeficientes e parâmetros estatísticos de regressão seleccionada para análise gráfica dos resíduos em percentagem

Modelos	Coeficientes				R ² Ajustado (%)	Syx (%)	IF (%)	F _{calculado}	F _{critico}
	β_0	β_1	β_2	β_3					
2	39,3667	-6992,2123			52,1334	12,2332		17,3371	4,6001
3	-39,081	4,2633	-0,0624		52,3203	12,2093		9,2300	3,8056
5	48,3711	-512,1202			50,2077	12,4769		16,1251	4,6001
11	3,0381	38,0100	-758,2900		52,3464		12,5832	9,2381	3,8056
12	4,0413	-18,2645			51,9830		12,6311	17,2389	4,6001

Ao realizar a verificação da regressão, mediante uma análise gráfica dos resíduos o modelo de Trorey mostrou-se o mais apropriado para a estimativa da altura total em um povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, pois foi notado que não houve uma diferença expressiva entre os 5 modelos seleccionados (Figura 6). Portanto para a selecção do modelo matemático que melhor se ajustou aos dados de *Eucalyptus cloeziana*, foram utilizados o coeficiente de determinação, o erro padrão da estimativa em percentagem e análise gráfica dos resíduos, resultando assim no modelo 3 de Trorey.

Notou-se que o R²Ajustado do modelo de Trorey 52,3203 % é menor que o coeficiente de determinação ajustado do modelo de Silva 53,0026 %. No entanto, pelo critério de importância, o erro padrão da estimativa em percentagem vem em primeiro lugar e este encontrou-se mais favorável a todos os modelos ajustados.

Segundo Scolforo (1998), Finger (1992) e Garcia & Leite (2006) citados por Miguel (2009), ao se tratar de equações hipsométricas, o R²Ajustado para os referidos modelos testados podem ser considerados satisfatórios, onde diversos pesquisadores afirmam que raramente esta estatística passará de 80 %. Neste caso ressaltam que uma melhoria destes parâmetros poderia ser obtida se os povoamentos não fossem conduzidos sobre rebrota, uma vez que esta técnica silvicultural faz com que os plantios apresentem uma maior heterogeneidade, diminuindo-se assim a correlação entre a variável diâmetro e altura.

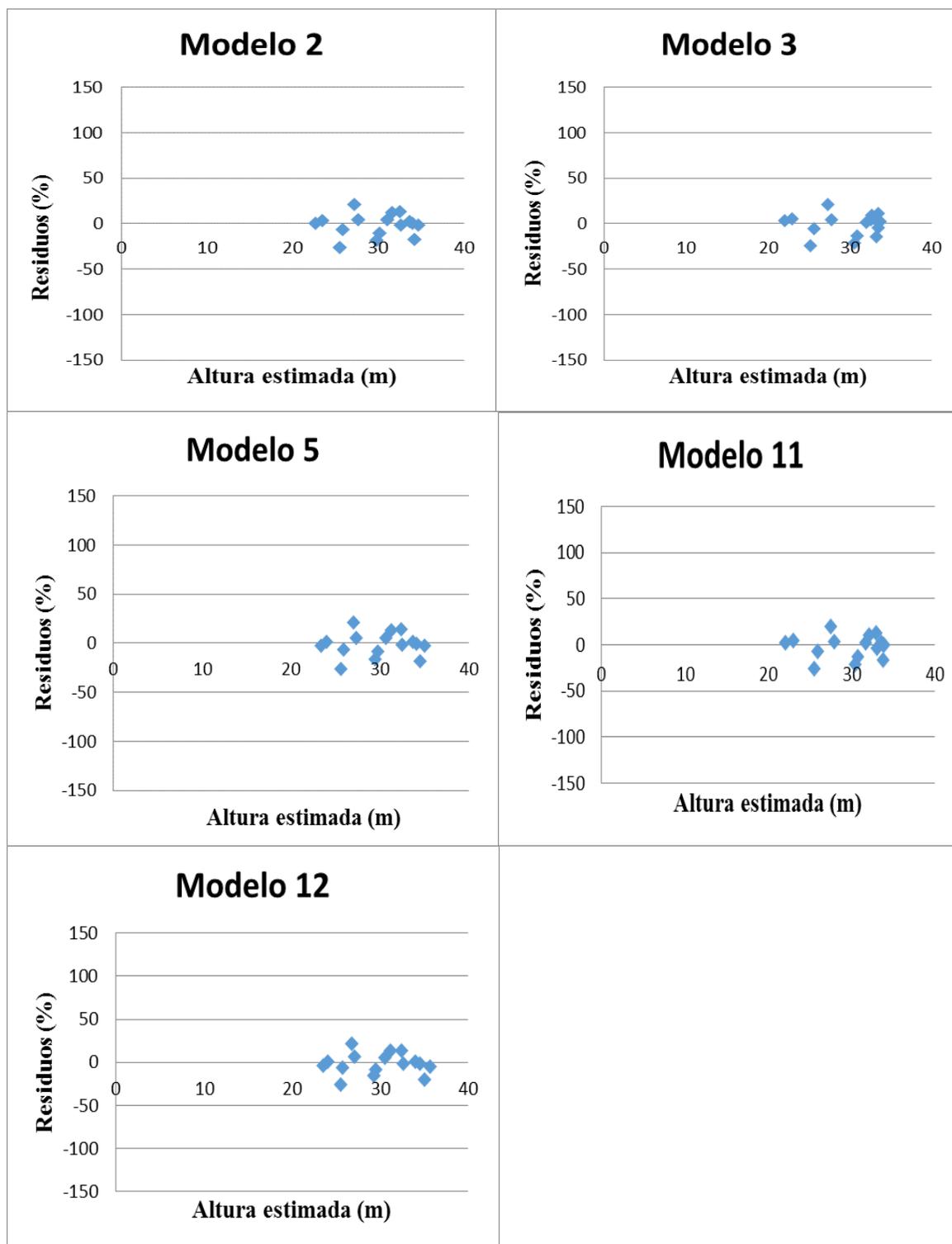


Figura 6: Gráficos de dispersão dos resíduos em percentagem em função da Altura estimada (m)

Resultados semelhantes foram encontrados em um povoamento implantado pelo sistema convencional de clones de *Eucalyptus urophylla*, onde o modelo de Trorey apresentou ser o melhor modelo, mostrando uma maior uniformidade na distribuição dos resíduos. Este modelo também já havia apresentado o menor erro padrão da estimativa e com isso mostrou-se mais favorável aos demais modelos na estimativa da altura total para o referido povoamento estudado (Miguel, 2009).

Segundo Drapper & Smith (1966), citados por Weber (2007), a forma mais adequada de se avaliar a análise gráfica dos resíduos em sua forma relativa (percentagem) é em função da variável dependente estimada, observando a tendenciosidade (super ou subestimativas) da estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão. O modelo 3 de Trorey foi o melhor, pois aderiu ao eixo horizontal central de altura em função do diâmetro à altura do peito (DAP) de *Eucalyptus urograndis* (Machado *et al.*, 2002).

Tendo em conta os valores de ajustes calculados de coeficiente de determinação de 52,3203 %, erro padrão da estimativa de 12,2093 % para melhor modelo, pode-se dizer que resultados próximos foram encontrados por Bila (2011), estudando relações hipsométricas de ecossistemas de mopane *Colophospermum mopane* em Mabalane; Barros *et al.* (2002), com o tema comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos e Batista *et al.* (2001), estudando desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta.

Segundo Sanqueta *et al.* (2009), a relação hipsométrica é mais instável que a relação volumétrica e implica em correlações menores entre a variável DAP e a altura, o que resulta em maiores valores do erro padrão da estimativa, não raramente ultrapassando 25 %.

Estudando o comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade em um povoamento de *Pinus elliotti* no estado do Paraná, concluiu que, o modelo de Trorey apresentou valores estatísticos superiores aos demais modelos testados. Onde notou que relação hipsométrica não é

uma relação dendrométrica muito forte devido a grande variabilidade de alturas para a mesma classe de diâmetro, resultando em estatísticas de ajustes muito baixos com valores não desejados em análise de regressão (Machado *et al.*, 1994).

Segundo Machado *et al.* (2008), estudando um povoamento de *Araucaria angustifolia* na cidade de Curitiba PR, também obteve as melhores estimativas com o modelo de Trorey para a variável altura total.

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Com base nos resultados das análises estatísticas realizadas, pode-se concluir para o povoamento de *Eucalyptus cloeziana*, estudado na floresta de Inhamacari, o seguinte:

A distribuição diamétrica apresentou uma curva de forma normal, ou seja, característica de uma floresta plantada.

A análise da distribuição diamétrica, indica que o maior número de árvores por hectare em todos talhões encontra-se no intervalo de classe [30-35[em cm, onde chegam a atingir 70 árvores por hectare.

O modelo de Trorey apresentou estatísticas de ajuste e precisão sutilmente mais favoráveis aos demais, motivo este pelo qual se tornou o mais apropriado para a obtenção da variável altura total e pode ser descrita pela equação ajustada número 3:

$$h = -39,0807 + 4,2633 * (d) - 0,0624 * (d^2)$$

5.2. Recomendações

Recomenda-se que os estudos idênticos sejam feitos no mesmo povoamento com o uso de maior número de amostras de dados primários adquirido de modo que se consiga verificar os devidos erros.

Recomenda-se o uso de modelos de países vizinhos com as mesmas condições do sítio.

Recomenda-se também que seja feita a sua validação do melhor modelo, para que venha ser usado com certeza nos estudos posteriores.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAF. (2009). Associação de Produtores de Florestas Plantada do Estado da Bahia. Florestas plantadas reduzem pressão sobre matas nativas.

ALMEIDA, L. R. & MARQUES, C. P. (2006). Caracterização dendrométrica dos Povoamentos de Pinheiro Silvestre em Trás-os-Montes e Alto Douro. Universidade de trás-os-Montes e Alto de Douro, Quinta de Prados, 5001-911. VILA REAL.

ARACRUZ. (2007). Eucalipto e meio ambiente em tempos de aquecimento global.

ARCE, J. E. (2004). Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* March através de distribuições diamétricas probabilísticas. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 149-164.

AZEVEDO, C. P. de; MUROYA, K.; GARCIA, L..C.; LIMA, R. M. B. de; MOURA, J. B. de & NEVES, E. J. M. (1999). Relação hipsométrica para quatro espécies florestais em plantio homogêneo e em diferentes idades na Amazônia ocidental. Boletim de Pesquisa Florestal. Colombo, n. 39, p. 5-29.

AZEVEDO, G. B.; SOUSA, G. T. O.; SILVA, H. F., BARRETO, P. A. B. & NOVAES, A. B. (2011). Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no planalto da conquista na Bahia. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol. 7.

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBEI JUNIOR, F. W. & SCOLFORO, J. R. S. (2002). Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. Boletim de Pesquisa Florestal. v. 45, p. 3-28.

BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. & OLIVEIRA, E. B. (2004). Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de Bracatinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. Revista Árvore. Viçosa, v. 28, n. 4, p. 517-533.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. & MARQUENSINI, M. (2001). Desempenho de modelos de relações hipsométricas: estudo em três tipos de floresta. Scientia Forestalis, n.60, p. 149-163.

BERTOLA, A. (2006). Eucalipto verdades mentiras.

BILA, J. M. (2011). Relações Hipsométricas de Ecossistemas de Mopane em Mabalane na província de Gaza. Pesquisa Florestal Brasileira, IIAM, Maputo.

BOLAND, D.J., BROOKER, M.I.H., CHIPPENDALE, G.M., HALL, N., HYLAND, B.P.M., JOHNSTON, R.D., KLEINIG, D.A. & TURNER, J.D. (1994). Forest Trees of Australia. 4th edition. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.

BRANDÃO, F. G. (2007). Estimativa da altura total de eucalyptus sp. Utilizando lógica fuzzy e neuro fuzzy. Monografia (Graduação em Ciência da Computação). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais. 62p.

CALDEIRA, M. V. W.; SCBUMABER, M. V.; SCBEEREN, L. W. & WATZLAWICK, L. F. (2003). Relação Hipsométrica para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze na Região Oeste do Estado de Paraná. Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba. Vol. 1, no. 2. p. 78-88.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L. & PAULA NETO, F. (1985). Ainda, sobre a selecção de equações de volume. Revista Árvore. Vol. 9, no. 2, p. 115-126.

CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. do A.; ROSOT, N.C. & EMERENCIANO, D. B. (1989). Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do estado do Paraná. Revista Florestal, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 96-115.

CARELLI NETTO, C. (2008). Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de Pinus taeda L. em diferentes idades e espaçamentos. 105 f. Dissertação (Mestrando em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CHAMBA & RAKITA. (1994). Inventário Florestal das Plantações de Inhamacari. U.E.M, F.A.E.F, D.E.F.

CHIPPENDALE, G. M.; HALL, M. & JOHNSTON, R D. (1975). Forest trees of Australia, Canberra, Forestry and Timber Bureau, 334p.

CIB. (2008). Guia do Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S. & SILVA, V. S. M. (2009). Determinação do volume, do factor de forma e da percentagem da casca de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Aberta na região noroeste de Mato Grosso. Acta Amazonica. Vol. 39. n. 1. Brazil. 104p.

COUTO, H. T. Z. & BASTOS, N. L. M. (1987). Modelos de Equações de Volume e Relações Hipsométricas para Plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. IPEF, no. 37. São Paulo. p. 33-44.

CRUZ, G. L. (1965). Livro Verde das Plantas Medicinais e Industriais do Brasil. 1 ed. Belo Horizonte, MG: Velloso. 426p.

DE SOUZA, C. A. M.; DE ALMEIDA, A. Q.; DE ALMEIDA, V. V. S. & DA SILVA, G. F. (S/ed). Comparação entre Modelos de Relações Hipsométricas para estudo de uma floresta de *Eucalyptus urophylla*. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro de Latino Americano de Pós-Graduação-Universidade do Vale do Paraíba. Cca-UFES.

DEF/UEM. (1999). Inventário Florestal e levantamento dos Conflitos e Uso de Terra na Floresta de Inhamacari. Relatório das Actividades de Julho. Machipanda.

FAO. (1974). Tree planting practices in African savannas. Rome.

FIGUEIREDO, E. O. (2005). Método da Variável Fictícia para Ajuste de Modelos Volumétricos Estáveis e Compatíveis em Povoamentos Florestais. 28p. (Embrapa Acre. Documentos, 95).

FINGER, C. A. G. (1982). Distribuição de diâmetros em Acacia negra (*Acacia mearnsii* Wild.) em diferentes povoamentos e idades. Curitiba. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 129p.

FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P.; SCHNEIDER, P. R. & COELHO, L. (2000). Curvas de Altura-Diâmetro de Acacia negra (*Acacia mearnsii* Wild). Ciência Rural, Vol. 30, no 3. UFSM-FATEC-CEPEF. 296p.

FRECHAUTH, V. G. (2011). Planeamento de uso de terra usando imagem satélite de alta resolução da parte norte de inhamacari. Tese de Licenciatura. UEM/FAEF/DEF, Maputo. 57p

GUACHA, A. S. (2003). Avaliação da eficiência técnica de conversão de toros de *Pinus taeda* na serra portátil de disco. Tese de Licenciatura. UEM/FAEF/DEF, Maputo. 48p.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L. & CARVALHO, A. (2005). Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamento de *Eucalyptus sp.* submetidos a desbaste. Revista Árvore, v.29, n.2, p. 271-280.

LIMA, W. P. (1996). Impacto Ambiental do Eucalipto. 2ed. São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Paulo. 33p.

LOETSCH, F. & HALLER, K. E. (1973). Forest Inventory. Volume 1, 2nd edition. Germany.

LOPES, R. J. F. & ARAÚJO, J. H. B. (2007). Influências bióticas e abióticas que podem vir a comprometer o desenvolvimento do Eucalyptus citriodora Hook, no campus da UTFPR, Campo Mourão - Paraná. II Congresso Científico da Região Centro - Ocidental do Paraná.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B. & FIGUEIREDO FILHO, A. (2002). Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Guarapuava. Revista Ciências Exatas e Naturais, vol. 4, n. 2, p. 41- 50.

MACHADO, S. A. & FILHO, A. F. (2006). Dendrometria. 2 ed. Guarapuava: Unicentro Editora. 316p.

MACHADO, S; BAILEY, R; BASSO, S & BEVILACQUA, V. (1994). Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Estado do Parana. Cerne, vol. 1, n. 1, p. 5-12.

MACHADO, S. A.; NACIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. S.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M. & TÉO, S. J. (2008). Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. PFB, Colombo, n.56, p. 5-16.

MARZOLI, A. (2007). Inventário Florestal Nacional — Avaliação Integrada das Florestas de Moçambique-DNTF edição Ebanó Lda, Maputo — Moçambique.

MIGUEL, E. P. (2009). Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás. Curitiba: UFPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 161p.

MINAG. (2006). Estratégia Nacional de Reflorestamento: Por um Desenvolvimento de Plantações Florestais Sustentáveis. Maputo-Moçambique. 22p.

MOURA, V. P. G.; MELO, J. T. & SILVA, M. A. (1993). Comportamento de procedências de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell aos nove e meio anos de idade, em Planaltina, DF, área de cerrado. Scientia Forestalis, Piracicaba, n.46, p. 52-62.

MURTEIRA, B. J. F. (1999). Análise exploratório de dados – Estatística Descritiva. Instituto Superior de Economia e Gestão de Lisboa. Editado por McGraw-Hill de Portugal. 327p.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H. T.; COUTO, L. (2006). Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos à desbaste. Revista.Árvore, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 377-387.

OLIVEIRA, J. T.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W. & FILHO, M. T. (1999). Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: avaliações dendrométricas das árvores. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 56, p. 113–124.

PEREIRA, C. (1998). Inventário do Eucalipital de Inhamacari. U.E.M- F.A.E.F-D.E.F. Maputo 16p

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, R. C. V. & SHIMIZU, J. Y. (2000). Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

POGGIANI, F. (2006). As florestas plantadas e a ecologia. Revista Opiniões online, Ribeirão Preto, v. 5, 19p.

PRADO, N. J. (2008). País avança em plantios de coníferas e exóticas. Revista da madeira online. n. 110.

RONDEUX, J. (1993). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Press. Agronomiques de Gembloux. 526p.

SANQUETTA, C. R.; WATZALAWICK, L F.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V. & SIQUEIRA, J. D. P. (2009). Inventários Florestais: Planejamento e Execução; 2. Ed, Multi-Graphic Gráfica e Editora – Curitiba.

SCHNEIDER, P. R. (1998). Análise de Regressão aplicada a Engenharia Florestal. 2 ed.. Santa Maria: UFSM/CEPEF. 124p.

SCOLFORO, J. R. S. (1993). Mensuração florestal 3: relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: ESAL/FAEPE. 292 p.

SCOLFORO, J. R. S. & MELLO, J. M. (1997). Inventário Florestal. Lavras. UFLA/FAEPE.

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. 18p.

SILVA, J. A. (1980). Relação hipsométrica de espécies da Floresta Nacional do Tapajós. Embrapa – CPATU. Belém- Brazil. 36p.

SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; RODRIGUES, F. L. & PETERNELLI, L. A. (2007). Análise da influência de diferentes tamanhos e composições de amostras no ajuste de uma relação hipsométrica para *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 685-694.

THOMAS, C.; ANDRADE, C. M.; SCHNEIDER P. R. & FINGER, C. A. G. (2006). Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327.

TOMÉ, M. (2007). Inventariação de Recursos Florestais, Caracterização e monitorização de povoamentos e matos. Volume II Textos pedagógicos do GIMREF, TP-2.

TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; LIMA, J. T. & CARDOSO, D. P. (2003). Determinação do teor de taninos na casca de Eucalyptus spp. Cerne, Lavras, V. 9, n. 2. P. 246-254.

TUZINE, M. S.; ROSOT, N. C. & CENTENO J. A. S. (2011). Identificação de tipologias florestais em Machipanda, Moçambique, a partir da segmentação de imagens IKONOS. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto Anais Curitiba

WEBER, K. S. (2007). Manejo da Bracatinga (mimosa scabrella Benth.) baseado no diamétrico de árvores individuais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Paraná. Brasil. 125p.

ZANON, M. L. B.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; KLEIN, J. E. M. & COELHO, M. C. B. (1996). Funções para Descrever a Relação Altura e Diâmetro de Eucalyptus dunnii Maiden. Ciência Rural, Santa Maria, Vol. 26, No. 1. p. 87-90.

ZUNGUZE, A. X. (2012). Quantificação de carbono sequestrado em povoamentos de Eucalyptus spp na Floresta de Inhamacari-Manica. Tese de Licenciatura. UEM/FAEF/DEF, Maputo. 44p

ANEXOS

Anexo 1: Anova das equações de regressão para as 5 consideradas melhores.

Equação 2

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.743804664								
R Square	0.553245378	55.3245							
Adjusted R Squ	0.521334333	52.1334							
Standard Error	3.646725745	12.2332							
Observations	16								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>gnificance</i>	<i>Fcritico</i>	<i>Probabilidade</i>		
Regression	1	230.5594788	230.5595	17.3371	0.000956	4.6001	0.000955558		
Residual	14	186.1805212	13.29861						
Total	15	416.74							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	<i>Tcritico</i>
Intercept	39.3667	2.469628691	15.94033	2.27E-10	34.06986	44.66351	34.06985815	44.66351	2.13145
1/d^2	-6992.2123	1679.291992	-4.16379	0.000956	-10593.9	-3390.49	-10593.93538	-3390.49	

Equação 3

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.7660128								
R Square	0.5867756	58.6776							
Adjusted R Sc	0.5232026	52.3203							
Standard Erro	3.6396021	12.2093							
Observations	16								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>gnificance</i>	<i>Fcritico</i>	<i>Probabilidade</i>		
Regression	2	244.5328519	122.2664	9.2300	0.0032	3.8056	0.003200434		
Residual	13	172.2071481	13.2467						
Total	15	416.74							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	<i>Tcritico</i>
Intercept	-39.0807	27.54940599	-1.41857	0.17955	-98.5976	20.4362	-98.5975697	20.43618	2.13145
d	4.2633	1.938383285	2.199429	0.04655	0.075715	8.45096	0.075714609	8.45096	
d^2	-0.0624	0.033021835	-1.89066	0.08117	-0.13377	0.00891	-0.13377249	0.008906	

Distribuição diamétrica e relações hipsométricas para *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, localizado na floresta de Inhamacari.

Equação 5

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.731622454								
R Square	0.535271416	53.5271							
Adjusted R Square	0.502076517	50.2077							
Standard Error	3.719360451	12.4769							
Observations	16								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	<i>Fcritico</i>	<i>Probabilidade</i>		
Regression	1	223.0690097	223.069	16.1251	0.001276	4.6001	0.001276		
Residual	14	193.6709903	13.83364						
Total	15	416.74							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	<i>Tcritico</i>
Intercept	48.3711	4.714838918	10.25933	6.8E-08	38.25878	58.48343	38.25878	58.48343	2.13145
1/d	-512.1202	127.532399	-4.01561	0.001276	-785.65	-238.59	-785.65	-238.59	

Equação 11

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.76616092								
R Square	0.58700256	58.7003							
Adjusted R Square	0.52346449	52.3464							
Standard Error	0.12780601	3.751052038	IF	IF(%)	12.5832				
Observations	16								
ANOVA									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	<i>Fcritico</i>	<i>Probabilidade</i>		
Regression	2	0.301813394	0.150907	9.2386	0.003189024	3.8056	0.003189024		
Residual	13	0.212346876	0.016334						
Total	15	0.51416027							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	<i>Tcritico</i>
Intercept	3.0381	0.967241207	3.140952	0.007806	0.948460916	5.127656082	0.948460916	5.127656	2.13145
1/d	38.0100	53.67044996	0.708211	0.491318	-77.93796701	153.9579483	-77.93796701	153.9579	
1/d^2	-758.2900	720.7855803	-1.05203	0.311948	-2315.452531	798.8726144	-2315.452531	798.8726	

Distribuição diamétrica e relações hipsométricas para *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, localizado na floresta de Inhamacari.

Equação 12

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.742860324								
R Square	0.55184146	55.1841							
Adjusted R Square	0.519830136	51.9830							
Standard Error	0.128292444	3.765328794	IF	IF(%)	12.6311				
Observations	16								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>	<i>Fcritico</i>	<i>Probabilidade</i>		
Regression	1	0.283734954	0.283735	17.2389	0.000977786	4.6001	0.000977786		
Residual	14	0.230425316	0.016459						
Total	15	0.51416027							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	<i>Tcritico</i>
Intercept	4.0413	0.162629628	24.84942	5.57E-13	3.692445802	4.39005752	3.692445802	4.390058	2.13145
1/d	-18.2645	4.398993683	-4.15198	0.000978	-27.69944064	-8.8296345	-27.69944064	-8.82963	

Anexo 2: Resíduos das equações de regressão para as 5 consideradas melhores.

Equação 2

RESIDUAL OUTPUT			
<i>Observatio</i>	<i>Predicted H</i>	<i>Residuals</i>	<i>R%</i>
1	23.51132823	0.688671772	2.84575
2	22.7284641	0.071535902	0.31375
3	25.91598412	-1.655984118	-6.826
4	27.22742744	7.172572558	20.8505
5	27.62217352	1.277826482	4.42154
6	25.55490753	-5.254907529	-25.886
7	29.84582829	-4.545828294	-17.968
8	30.12078434	-2.820784338	-10.333
9	31.05252045	1.34747955	4.15889
10	31.59756012	4.302439882	11.9845
11	32.53835257	5.061647431	13.4618
12	32.70591262	-0.605912621	-1.8876
13	33.65875648	0.641243518	1.86951
14	33.97145935	0.028540651	0.08394
15	34.25915216	-5.159152164	-17.729
16	34.64938868	-0.549388682	-1.6111
Media		-3.9968E-15	
Desvio Padrao		3.523071777	
Erro Padrao		0.880767944	
Tcalculado		-4.53786E-15	
Tcritico		2.131449546	
Probabilidade		1	

Equação 3

RESIDUAL OUTPUT			
<i>Observation</i>	<i>Predicted H</i>	<i>Residuals</i>	<i>R%</i>
1	22.916361	1.283638967	5.304293
2	22.0801804	0.71981955	3.157103
3	25.6681379	-1.40813787	-5.80436
4	27.2778964	7.122103597	20.70379
5	27.7745254	1.125474639	3.894376
6	25.2376033	-4.93760332	-24.3232
7	30.6042053	-5.30420533	-20.9652
8	30.9460001	-3.64600006	-13.3553
9	32.0497958	0.350204178	1.080877
10	32.6295768	3.270423223	9.109814
11	33.4145398	4.185460244	11.13154
12	33.5115965	-1.41159652	-4.3975
13	33.6554869	0.644513099	1.879047
14	33.48607	0.513930004	1.511559
15	33.1917868	-4.09178678	-14.0611
16	32.5162376	1.583762372	4.644464
Media		-1.7542E-14	
Desvio Padrao		3.388285191	
Erro Padrao		0.847071298	
Tcalculado		-2.0708E-14	
Tcritico		2.131449546	
Probabilidade		1	

Equação 5

RESIDUAL OUTPUT			
<i>Observation</i>	<i>Predicted H</i>	<i>Residuals</i>	<i>R%</i>
1	23.98443125	0.215568747	0.89078
2	23.38963431	-0.589634308	-2.5861
3	25.90969505	-1.649695047	-6.8001
4	27.03276559	7.367234407	21.4164
5	27.38257445	1.517425548	5.25061
6	25.61020957	-5.310209568	-26.159
7	29.47368276	-4.173682759	-16.497
8	29.74855437	-2.448554369	-8.9691
9	30.7117898	1.688210203	5.21053
10	31.30043367	4.599566331	12.8122
11	32.36735069	5.232649312	13.9166
12	32.56492791	-0.464927914	-1.4484
13	33.73910114	0.560898858	1.63527
14	34.14554572	-0.14554572	-0.4281
15	34.53002032	-5.430020322	-18.66
16	35.0692834	-0.969283399	-2.8425
	Media	-5.10703E-15	
	Desvio Padra	3.59324357	
	Erro Padrao	0.898310892	
	Tcalculado	-5.68514E-15	
	Tcritico	2.131449546	
	Probabilidad	1	

Distribuição diamétrica e relações hipsométricas para *Eucalyptus cloeziana* F. Muell, localizado na floresta de Inhamacari.

Equação 11

RESIDUAL OUTPUT						
Observation	Predicted InH	Residuals	Ho	Hestimada	Residuos	R%
1	3.12857969	0.057772943	24.2	23.0288293	1.17117073	4.8395485
2	3.08782614	0.038934399	22.8	22.1091892	0.69081077	3.0298718
3	3.2464646	-0.057635698	24.26	25.9100724	-1.65007241	-6.8016175
4	3.30533249	0.232724077	34.4	27.4811324	6.9188676	20.112987
5	3.32217872	0.041662877	28.9	27.9480074	0.95199261	3.2940921
6	3.22953471	-0.218913823	20.3	25.47511	-5.17510998	-25.493153
7	3.40812534	-0.177320943	25.3	30.4562896	-5.15628957	-20.380591
8	3.41754251	-0.110655809	27.3	30.7444564	-3.44445642	-12.617056
9	3.44709509	0.031063336	32.4	31.6665929	0.73340707	2.2636021
10	3.46251379	0.118223507	35.9	32.1586343	3.74136574	10.421632
11	3.48535317	0.141650881	37.6	32.9015693	4.69843067	12.495826
12	3.48886034	-0.020004308	32.1	33.0171633	-0.91716328	-2.8572065
13	3.50504602	0.030099333	34.3	33.5559169	0.74408311	2.1693385
14	3.5087913	0.017569229	34	33.6818287	0.31817133	0.935798
15	3.51145492	-0.140716742	29.1	33.7716639	-4.67166387	-16.053828
16	3.51375064	0.015546741	34.1	33.8492835	0.25071653	0.7352391
				Media	-0.04973371	
				Desvio Padra	3.44999272	
				Erro Padrao	0.86249818	
				Tcalculado	-0.05766239	
				Tcritico	2.13144955	
				Probabilidad	0.95477868	

Equação 12

RESIDUAL OUTPUT						
Observation	Predicted InH	Residuals	Ho	Hestimada	Residuos	R%
1	3.17151178	0.014840855	24.2	24.040532	0.159468	0.65895726
2	3.15029861	-0.02353807	22.8	23.535928	-0.73593	-3.2277524
3	3.24017545	-0.05134655	24.26	25.749235	-1.48924	-6.138645
4	3.28022926	0.257827301	34.4	26.801524	7.598476	22.088594
5	3.29270504	0.071136555	28.9	27.137988	1.762012	6.09692747
6	3.22949444	-0.21887355	20.3	25.475671	-5.17567	-25.495916
7	3.36728349	-0.13647909	25.3	29.239279	-3.93928	-15.570271
8	3.37708666	-0.07019996	27.3	29.527326	-2.22733	-8.1587028
9	3.41144002	0.066718401	32.4	30.559313	1.840687	5.68113141
10	3.43243374	0.148303552	35.9	31.207649	4.692351	13.0706161
11	3.47048486	0.156519187	37.6	32.418017	5.181983	13.7818705
12	3.47753137	-0.00867534	32.1	32.647257	-0.54726	-1.7048507
13	3.51940773	0.015737622	34.3	34.043435	0.256565	0.74800312
14	3.5339034	-0.00754287	34	34.540511	-0.54051	-1.5897387
15	3.54761551	-0.17687734	29.1	35.017397	-5.9174	-20.334697
16	3.56684809	-0.0375507	34.1	35.69739	-1.59739	-4.6844269
				Media	-0.0424	
				Desvio Pad	3.663769	
				Erro Padrac	0.915942	
				Tcalculado	-0.04629	
				Tcritico	2.13145	
				Probabili	0.963686	