



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**LEANDRO TOSE MARTINS**

**CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E CRESCIMENTO DE DEZ  
ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS EM PLANTIOS HOMOGÊNEOS NO  
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.**

**JERÔNIMO MONTEIRO - ES  
FEVEREIRO – 2012**

**LEANDRO TOSE MARTINS**

**CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E CRESCIMENTO DE DEZ  
ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS EM PLANTIOS HOMOGÊNEOS NO  
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, Área de concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Dr. Gilson Fernandes da Silva  
Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

JERÔNIMO MONTEIRO – ES  
FEVEREIRO – 2012

**CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA E CRESCIMENTO DE DEZ  
ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS EM PLANTIOS HOMOGÊNEOS NO  
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

**Leandro Tose Martins**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 28 de Fevereiro de 2012.



Prof. Dr. Carlos Pedro Boechat Soares  
UFV  
Membro Externo



Prof. Dr. José Franklim Chichorro  
CCA/UFES  
Membro Interno



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça  
CCA/UFES  
Coorientador



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva  
CCA/UFES  
Orientador

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a toda  
minha família!!!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me auxiliou em todos os momentos da minha vida, especialmente os mais difíceis.

Aos meus pais, Nelson e Tuquinha, aos quais tenho admiração incalculável, por sempre acreditarem e não medirem esforços para que eu alcançasse meus objetivos.

Ao meu irmão Vinícius, pela parceria e por transmitir sua alegria a todos a seu redor.

Ao Professor Doutor Gilson Fernandes da Silva, orientador da dissertação, pela partilha do saber e pelas valiosas contribuições para o trabalho além de me acompanhar nesta jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela vida acadêmica.

Ao Professor Doutor Adriano Ribeiro de Mendonça, coorientador da dissertação, pelo apoio, prontidão e por colaborar de forma muito importante na solução dos problemas encontrados ao longo da dissertação.

A minha namorada Joana e aos Companheiros de República, Otílio, Hugo, Xandão, Caio e Leonardo por fazerem parte do meu dia-a-dia, passando por bons momentos juntos comigo e contribuindo para superação dos momentos ruins.

Aos colegas do Laboratório de Manejo e Mensuração Florestal, Rômulo, Rafaela, Ludmila, Elter, Onair, Diego, Hassan e Ticiane, pela convivência, parceria e troca de conhecimentos.

Sou grato também aos colegas que participaram de minha coleta de dados, Guilherme, Lorena, Elter e Rafaella.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade concedida.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado que foi de extrema importância para minha manutenção no curso.

Agradeço a Vale, que proporcionou a oportunidade de desenvolver meu trabalho na Reserva Natura Vale, um ambiente ótimo de trabalho, onde tive total apoio, principalmente pelos companheiros Gilberto e Jonacir.

Aos demais amigos de mestrado, Flavinho, André, Marcos, Léo, Valéria, Jeferson e Felipe pela oportunidade que tive de conviver com eles.

Aos funcionários da UFES, Klériston Navarro e Elizângela pela atenção e pelo comprometimento profissional.

*“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode  
começar agora e fazer um novo fim”.*

*Chico Xavier*

## **BIOGRAFIA**

LEANDRO TOSE MARTINS, filho de Nelson Pinto Martins e Maria Aparecida Tose Martins, nasceu em Jaguaré no Estado do Espírito Santo no dia 16 de fevereiro de 1987.

Concluiu o ensino médio no Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (UNED-Colatina) em 2003.

Em abril de 2005 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, obtendo a graduação em fevereiro de 2010.

Em março de 2010 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Espírito Santo.

No dia 1º de dezembro de 2011, foi contratado como Analista Florestal pela Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais.

## RESUMO

MARTINS, Leandro Tose. **Caracterização dendrométrica e crescimento de dez espécies florestais nativas em plantios homogêneos no estado do Espírito Santo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-orientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça.

Este estudo teve como objetivo produzir informações de características dendrométricas e de crescimento de dez espécies nativas submetidas a plantios homogêneos. As espécies contempladas neste estudo foram o paraju (*Manilkara bella* Monach.), jequitibá rosa (*Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze), gonçalo alves (*Astronium concinnum* (Engl.) Schott), ipê felpudo (*Zeyhera tuberculosa* (Vell.) Bur), tarumã (*Vitex* sp.), guaribu amarelo (*Goniorrachis marginata* Taub), nagibe (*Kielmeyera albopunctata* Saddi), farinha seca (*Pterygota brasiliensis*), sapucaia vermelha (*Lecythis pisonis* Cambess), e cajá (*Spondias purpurea* L.). Os dados utilizados são oriundos de plantios da Reserva Natural Vale, que se localiza no município de Linhares no norte do Espírito Santo. Os plantios de cada espécie foram implantados no espaçamento de 2mx2m. Cada espécie foi caracterizada por meio do cálculo de variáveis como diâmetro médio aritmético, diâmetro médio quadrático, altura média aritmética, área basal e fator de forma. Para o paraju foi determinada a densidade básica para 7 árvores em diferentes classes de diâmetro e também a densidade para cada árvore nas posições correspondentes à 0%, 25%, 50% e 75% da altura comercial. Foram determinados também os teores de Carbono, Hidrogênio e Oxigênio. Foram ajustados cinco modelos hipsométricos, cinco modelos volumétricos, e dois modelos de crescimento para o diâmetro e para a altura em função da idade e posteriormente foram indicados os incrementos em diâmetro e altura para cada espécie. Após análise criteriosa dos dados pôde-se observar que as espécies apresentaram grandes variações quanto as variáveis dendrométricas analisadas. A densidade básica média do paraju foi de 0,745g/cm<sup>3</sup>. Pôde-se constatar que os valores de densidade básica do paraju decresceram ao longo do fuste no sentido base/topo. O teor de Carbono encontrado foi de 44,49%, de Hidrogênio foi 6,53% e de Nitrogênio foi de 0,25%. Os modelos hipsométricos selecionados foram: modelo 5 como o que melhor explica as variações ocorridas na altura para o paraju, Jequitiba rosa, gonçalo alves e sapucaia vermelha. Já para as demais espécies (ipê felpudo, tarumã, guaribu amarelo, cajá, farinha seca e nagibe) o modelo selecionado foi o 4. Para explicar as variações ocorridas no volume foram selecionados os modelos de Stoat para o paraju e para a sapucaia vermelha, o de Schumacher e Hall para o guaribu amarelo e caja, o de Husch para farinha seca, o de Ogaya para o ipê felpudo e gonçalo alves e o de Spurr linear para o jequitibá rosa, tarumã e nagibe. Para explicar o crescimento em diâmetro e altura foi selecionado o modelo Logístico para 9 das 10 espécies avaliadas. Somente para o tarumã foi selecionado o modelo exponencial. O cajá seguido pela farinha seca foram as espécies que apresentaram maior crescimento em diâmetro e altura quando comparados às demais. A espécie com menor crescimento foi o tarumã.

**Palavras-chave:** crescimento, diâmetro, altura, volume, densidade básica.

## ABSTRACT

MARTINS, Leandro Tose. **Dendrometric characterization and growth ten native forest species in homogeneous plantations in Espírito Santo**. 2012. Dissertation (Master's degree on Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES. Adviser: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-Adviser: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça.

This study aimed to produce information dendrometric and growth of ten native species subjected to homogeneous plantations. The species considered in this study were paraju (*Manilkara bella* Monach.) jequitibá rosa (*Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze), gonçalo alves (*Astronium concinnum* (Engl.) Schott), ipe felpudo (*Zeyhera tuberculosis* (Vell.) Bur), tarumã (*Vitex* sp.) guaribu amarelo (*Taub Goniorrhachis marginata*), nagibe (*Kielmeyera albopunctata* Saddi), farinha seca (*Pterygota brasiliensis*), sapucaia vermelha (*Lecythis pisonis* Cambess), and cajá (*Spondias purpurea* L.). The data used are from plantations Reserva Natural Vale, located in Linhares in northern Espírito Santo. The plantations of each species were deployed at a spacing of 2mx2m. Each species was characterized by calculating variables such as arithmetic mean diameter, quadratic mean diameter, mean height, basal area and form factor. For paraju basic density was determined to 7 trees of different classes of diameters and also the density for each tree at positions corresponding to 0%, 25%, 50% and 75% of commercial height. For the same trees used for the calculation of the density were determined the levels of Carbon, Hydrogen and Oxygen. Were fitted five hypsometric models, five volumetric models, and two growth models for the diameter and height as a function of age and were later given the increases in diameter and height for each species. After careful analysis of the data it was observed that the species showed large variation in the variables analyzed dendrometric. The mean basic density of 0.745 g/cm<sup>3</sup> was paraju. It was found that the density values paraju basic density decreased along the stem towards the base / top. The carbon content was found to be 44.49%, hydrogen was 6.53% and nitrogen was 0.25%. The hypsometric models were selected as model 5 that best explains the variations in height for the paraju, jequitibá rosa, sapucaia vermelha, gonçalo alves. As for the other species (ipe felpudo, tarumã, guaribu amarelo, cajá, farinha seca, nagibe) the selected model was the fourth. To explain the variations in volume were selected for the models Stoa paraju, sapucaia vermelha, the Schumacher and Hall for the guaribu amarelo caja, the Husch to farinha seca, to Ogaya for ipe felpudo, gonçalo alves and Spurr of the linear jequitibá rosas, trauma and nagibe. To explain the growth in diameter and height were selected for the logistic model 9 of the 10 species evaluated. Only tarumã was selected for the exponential model. Cajá followed by farinha seca were the species that grew better diameter and height when compared to the other. The species with lower growth was tarumã.

**Keywords:** growth, diameter, height, volume, basic density

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da densidade em função da posição de retirada dos discos nas árvores de paraju. ....	28
Figura 2-Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o paraju.....	33
Figura 3 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o jequitibá rosa. ....	34
Figura 4 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o ipê felpudo. ....	35
Figura 5 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o gonçalo alves.....	36
Figura 6- Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o tarumã .....	37
Figura 7 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o guaribu amarelo.....	38
Figura 8 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para a sapucaia vermelha.....	39
Figura 9 - Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para a cajá. ....	40
Figura 10 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para a farinha seca. ....	41
Figura 11 – Distribuição dos resíduos da altura, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o nagibe.....	42
Figura 12- Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o paraju.....	45
Figura 13 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o jequitibá rosa. ....	47
Figura 14 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o ipê felpudo. ....	48
Figura 15 -Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o gonçalo alves.....	49
Figura 16 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o tarumã.....	50
Figura 17 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o guaribu amarelo.....	51

Figura 18– Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o sapucaia vermelha.....	52
Figura 19 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o cajá. ....	53
Figura 20 - Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para a farinha seca. ....	54
Figura 21 -Distribuição dos resíduos de volume, em porcentagem, em função do DAP, para os modelos testados para o nagibe. ....	55
Figura 22 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o paraju. ....	59
Figura 23 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o jequitibá rosa.....	60
Figura 24 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o ipê felpudo.....	61
Figura 27 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o gonçalo alves. ....	62
Figura 26 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o tarumã.....	63
Figura 25 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o guaribu amarelo. ....	64
Figura 28 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para a sapucaia vermelha. ....	65
Figura 29 - – Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o cajá.....	66
Figura 30 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para a farinha seca.....	67
Figura 31 - Distribuição dos resíduos de diâmetro (DAP) e altura (H), em função da Idade, para os modelos testados para o nagibe. ....	68
Figura 32 - Crescimento em diâmetro para as espécies avaliadas.....	78
Figura 33 - Crescimento em altura para as espécies avaliadas.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies estudadas e suas respectivas idades em anos. ....	13
Tabela 2 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o paraju. ....	14
Tabela 3 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o jequitibá rosa. ....	15
Tabela 4 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o gonçalo alves. ....	15
Tabela 5 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o ipê felpudo. ....	16
Tabela 6 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o tarumã. ....	16
Tabela 7 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o guaribu amarelo. ....	16
Tabela 8 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o sapucaia vermelha. ....	17
Tabela 9 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o cajá. ....	17
Tabela 10 - Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para a farinha seca. ....	18
Tabela 11 - Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o nagibe. ....	18
Tabela 12 - Modelos de relação hipsométrica em função do DAP, para estimar a altura total dos povoamentos. ....	20
Tabela 13-Modelos volumétricos, selecionados para estimar o volume individual de árvores para as espécies estudadas. ....	21
Tabela 14- Modelos de crescimento, para estimar o diâmetro e altura para cada idade para cada espécie. ....	21
Tabela 15 - Resultados das variáveis dendrométricas avaliadas. ....	26
Tabela 16 - Resultados da densidade para cada classe diamétrica do paraju. ....	27
Tabela 17- Resultados dos teores de carbono, hidrogênio e oxigênio para o paraju. ....	29
Tabela 18 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o paraju. ....	33

Tabela 19 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o jequitibá rosa. ....	34
Tabela 20 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o ipê felpudo. ....	35
Tabela 21 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o gonçalo alves.....	36
Tabela 22 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o tarumã. ....	37
Tabela 23 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o guaribu amarelo.....	38
Tabela 24 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para a sapucaia vermelha. ....	39
Tabela 25 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o cajá. ....	40
Tabela 26 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para a farinha seca. ....	41
Tabela 27 – Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de relação hipsométrica ajustadas para o nagibe.....	42
Tabela 28 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o paraju.....	45
Tabela 29- Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o jequitibá rosa. ....	46
Tabela 30 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o ipê felpudo. ....	47
Tabela 31 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o gonçalo alves.....	48
Tabela 32 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o tarumã. ....	49
Tabela 33 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o guaribu amarelo.....	50
Tabela 34 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para a sapucaia vermelha.....	51
Tabela 35 -Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o cajá. ....	52

Tabela 36 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para a farinha seca. ....	53
Tabela 37 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas das equações de volume ajustadas para o nagibe.....	54
Tabela 38- Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o paraju .....	58
Tabela 39 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o jequitibá rosa .....	59
Tabela 40 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o ipê felpudo.....	60
Tabela 41 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o gonçalo alves. ....	61
Tabela 42 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o tarumã. ....	62
Tabela 43 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o guaribu amarelo .....	63
Tabela 44 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para a sapucaia vermelha. ....	64
Tabela 45 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em altura e diâmetro em função da idade para o cajá .....	65
Tabela 46 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para a farinha seca.....	66
Tabela 47 - Estimativas dos parâmetros e estatísticas dos modelos de crescimento em função da idade para o nagibe.....	67
Tabela 48 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do Paraju.....	69
Tabela 49 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do Jequitibá Rosa. ....	70
Tabela 50 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do Ipê Felpudo. ....	71
Tabela 51 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do gonçalo alves. ....	72
Tabela 52 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do tarumã.....	73

Tabela 53 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do guaribu amarelo .....	74
Tabela 54 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura da sapucaia vermelha .....	75
Tabela 55 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do cajá .....	76
Tabela 56 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura da farinha seca.....	77
Tabela 57 - Incrementos médio e corrente anual para o diâmetro e altura do nagibe .....	78

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
BIOGRAFIA.....	viii
RESUMO.....	ix
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 DIÂMETRO DAS ÁRVORES.....	4
2.2 ALTURA DAS ÁRVORES.....	5
2.2.1 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.....	6
2.3 CRESCIMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS.....	8
2.4 VOLUME DE ÁRVORES INDIVIDUAIS.....	9
2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DENSIDADE DA MADEIRA.....	10
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	12
3.2 COLETA DOS DADOS.....	13
3.3 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA.....	18
3.4 AJUSTE DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS.....	20
3.5. AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	20
3.6 MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA.....	21
3.7 CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DOS MODELOS.....	22
3.6 OBTENÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA.....	23
3.7 OBTENÇÃO DO TEOR DE CARBONO, HIDROGÊNIO E NITROGÊNIO NA MADEIRA PARA O PARAJU.....	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ESPÉCIES.....	25
4.2 DENSIDADE BÁSICA DO PARAJU.....	27
4.3 TEOR DE CARBONO, HIDROGÊNIO E NITROGÊNIO. PARA O PARAJU.....	29
4.4 AJUSTE DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS.....	30
4.5 AJUSTE DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS.....	43
4.6 AJUSTE DOS MODELOS DE CRESCIMENTO.....	55
<b>4.6.1 Crescimento em Diâmetro.....</b>	<b>55</b>

4.6.2 Crescimento em Altura .....	57
4.7 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES AVALIADAS.....	68
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>80</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O alto índice de desmatamento e conseqüente diminuição da cobertura florestal no Brasil têm se tornado motivo de preocupação mundial, sendo a expansão da fronteira agropecuária apontada como uma das principais causas da degradação florestal no país.

Desta maneira, a forma desordenada de extração dos recursos florestais vem ocasionando a inviabilidade da extração de madeira de matas nativas. As indústrias madeireiras investem cada vez mais em plantios, homogêneos ou consorciados, de espécies de elevado valor comercial e rápido crescimento. Com isso as indústrias pretendem manter a sua produção com madeiras oriundas de florestas plantadas (COSTA et al. 1998).

Segundo Shimizu (1998), o reflorestamento além de diminuir a pressão sobre as florestas naturais remanescentes, traz benefícios ecológicos, aumenta a oferta de madeira reflorestada e também a renda na propriedade rural. Ao incluir o elemento florestal em sua propriedade o produtor pode explorar novas fontes de renda e ter a possibilidade de tornar produtiva, áreas que não poderiam ser utilizadas pela agricultura convencional.

De acordo com Tonini et al (2005) o reflorestamento é uma alternativa viável, do ponto de vista econômico, ecológico e social. Essa prática é importante para recuperação de áreas degradadas, para suprir demanda de mão de obra, para proteção dos recursos hídricos e edáficos e para expectativas futuras de aumentos consideráveis nos preços dos produtos florestais resultantes dos desmatamentos e restrições legais. O autor afirma também que os trabalhos dendrométricos em geral, estão relacionados às espécies de rápido crescimento, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Espécies nativas muitas vezes deixam de ser utilizadas por não despertarem interesse, já que são poucos os estudos existentes, tendo-se assim escassez de informações relativas à sua ecologia, silvicultura e biometria.

Torna-se cada vez mais necessário estudos relacionados às espécies nativas. Sabe-se que é grande a variedade de espécies existentes nos diferentes biomas brasileiros e estas podem gerar diversos produtos como madeira, cosméticos, frutos, carvão, mel, além de poderem ser utilizadas para o sequestro de carbono.

Para que se invista em plantios, consórcios ou sistemas agroflorestais com espécies nativas é importante que pesquisadores desenvolvam estudos para espécies nativas a fim de indicar o potencial das mesmas e fornecer dados que darão subsídio aos produtores, empresas públicas e privadas para que possam investir de forma segura e garantir, além de benefícios sociais e ambientais, o retorno econômico tão almejado.

Atualmente os estudos relacionados às espécies nativas são considerados incipientes e reduzidos quando comparado às espécies ditas tradicionais (*Pinus e Eucaliptus*). Por isso é de extrema importância qualquer tipo de informação relacionada a essas espécies. Existem alguns trabalhos na literatura que visam este tipo de informação como os de Fernandes e Alencar (1993) para Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), o de Scolforo et al (1994) que estudaram equações volumétricas e fator de forma para floresta estacional submontana, Azevedo et al (1999) estudaram relações hipsométricas para quatro espécies florestais em plantios homogêneos, Chichorro et al (2003) que estudaram equações volumétricas e de Taper para estimar multiprodutos para espécies da Mata Atlântica, Tonini et al (2005), que estudaram a dendrometria de 4 espécies nativas em plantios homogêneos, Leite et al (2006), estudaram funções de afilamento para *Virola surinamensis* (ROLL.) WARB, Tonini et al (2008), que estudaram o crescimento de espécies nativas submetidas a plantios na Amazônia e Soares et al (2011) estudaram relações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies submetidas a plantios.

Existem ainda outros estudos que não foram aqui citados, porém quando comparados a diversidade de espécies brasileiras, distribuídas em seus diversos biomas, fica evidente que este tipo de informação pode ser ainda muito mais explorada, já que o Brasil possui grande disponibilidade de terras, clima favorável e disponibilidade de espécies com os mais diferentes potenciais. É necessário, portanto, esforços ainda maiores para que este tipo de informação possa ter um conhecimento significativo a ponto de chegar ao nível das espécies ditas tradicionais

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é produzir informações dendrométricas e de crescimento de dez espécies nativas em plantios: paraju (*Manilkara bella* Monach.), jequitibá rosa (*Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze), gonçalo alves (*Astronium concinnum* (Engl.) Schott), ipê felpudo (*Zeyhera tuberculosa* (Vell.) Bur), tarumã (*Vitex* sp.), guaribu amarelo (*Goniorrachis marginata* Taub), nagibe (*Kielmeyera albopunctata* Saddi), farinha seca (*Pterygota brasiliensis*), sapucaia (*Lecythis pisonis* Cambess), e cajá (*Spondias purpúrea* L.)

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento de dados como, diâmetro médio aritmético, diâmetro quadrático, área basal, altura média e fator de forma para cada espécie,
- Ajuste de modelos de volume, hipsométricos, e de crescimento em diâmetro e altura para as espécies avaliadas.
- Obtenção da densidade básica e indicação dos teores de carbono, hidrogênio e oxigênio para o paraju (*Manilkara bella* Monach).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DIÂMETRO DAS ÁRVORES

O diâmetro é a medida mais importante que se pode tomar em uma árvore (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009). É uma medida básica para o cálculo da área transversal, área basal, volume, crescimento e quocientes de forma. Quando utilizado em regressão, esta medida geralmente se constitui como variável independente por ser de fácil acesso e apresentar alta correlação com volume e com outras variáveis dependentes.

Em uma árvore o diâmetro é geralmente tomado a 1,30m em relação ao solo e chamado de diâmetro à altura do peito (*DAP*). Este está diretamente relacionado ao volume (CAMPOS e LEITE, 2006)

Mesmo sendo possível medir diâmetros em várias posições do fuste de uma árvore e até mesmo galhos, a medida mais tomada refere-se ao diâmetro com casca à altura do peito (*DAP*) (SOARES et al.,2007). Estes autores ainda afirmam que as razões principais para se tomar esta medida são: o *DAP* é uma medida facilmente avaliada e de forma confiável onde seu erro de medição e suas causas são mínimos e podem ser minimizados; o *DAP* é uma medida mais importante tomada em uma árvore, pois fornece base para cálculo de outras variáveis; as medidas de *DAP* em uma floresta permitem a definição da distribuição diamétrica da mesma, o que é essencial para tomada de decisões econômicas e silviculturais. Além disso, a medida tomada a 1,30 metros minimiza os efeitos da deformação da base da árvore e favorece a ergonomia da operação.

A suta e a fita são os instrumentos mais utilizados para se medir o diâmetro. A medida tomada com a fita é mais consistente quando comparada com as da suta, pois permite obter o mesmo valor mesmo sendo tomados por usuários diferentes. Isso se deve ao fato de que dificilmente as árvores possuem seções circulares, o que faz com que a medida tomada pela suta não capte as variações de circularidade da árvore. Por isso quando se utiliza a suta é importante que se tomem pelo menos duas medidas, sendo uma no maior diâmetro e outra no menor para que se faça uma média entre as duas medidas e se obtenha a medida mais adequada (CAMPOS e LEITE, 2006).

## 2.2 ALTURA DAS ÁRVORES

A altura de uma árvore é considerada como a distância linear partindo do solo até o topo ou até outra referência de acordo com o tipo de altura que se quer medir. Esta medida é tomada ao longo do eixo principal da árvore. (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009).

Conforme descrito por Soares et al., (2007) a altura é uma importante característica da árvore e pode ser obtida por meio de medição ou estimativa. A partir desta medida é possível computar o volume de árvores e ao relacioná-la com a idade é possível determinar a qualidade de um local. O autor ainda afirma que são utilizadas algumas definições de altura nos inventários florestais. São elas:

- Altura total: Representa a distância do solo até a parte superior da copa da árvore.
- Altura da copa: Representa a distância da inserção do primeiro galho vivo (início da copa) até o final da copa.
- Altura comercial: Representa a distância entre algum ponto na parte mais baixa do fuste até um diâmetro comercial definido ou algum defeito ou bifurcação da árvore.
- Altura do fuste: Distância entre o solo e o início da copa da árvore sendo que esta altura pode coincidir com a altura comercial.

Para a obtenção indireta da altura das árvores são utilizados equipamentos denominados hipsômetros. Atualmente existe no mercado uma nova geração de hipsômetros, os quais contêm dispositivos eletrônicos que permitem a obtenção da altura das árvores sem que se utilizem trenas para a medição das distâncias inclinadas e reduzidas (CAMPOS e LEITE, 2006).

De acordo com Couto e Bastos (1988) os aparelhos utilizados para medição de altura das árvores baseiam-se em princípios geométricos e trigonométricos. Os aparelhos baseados em princípios geométricos utilizam as relações existentes entre triângulos semelhantes como é o caso do hipsômetro de Christen e o hipsômetro Haglof. Os que são baseados em princípios trigonométricos utilizam a determinação de ângulos e distância reduzida para a estimativa da altura como é o caso dos hipsômetros de Blume-Leiss, Haga e Suunto. Os principais erros de medição de altura estão relacionados com a

árvore, o instrumento e o observador. Para que se tenha uma medida confiável desta variável é necessário que o topo e a base possam ser visualizados simultaneamente. Geralmente recomenda-se que a distância do operador à árvore seja aproximadamente à provável altura da mesma.

Segundo Curto (2011), os aparelhos mais utilizados em medições de altura baseiam-se em princípios trigonométricos. Desta forma é necessário que o mensurador se posicione a uma distância conhecida da árvore. Alguns aparelhos como o hipsômetro de Haga, Blume Leiss e Sunto a distância é predeterminada. Aparelhos como o Hipsômetro Vertex por exemplo permite maior flexibilidade na realização da medição pois o operador pode ficar a qualquer distância da árvore.

As medições referentes à altura geralmente são tomadas em apenas algumas árvores dentro de um povoamento. Isto se deve ao fato desta medição se tratar de uma obtenção difícil em campo (LINGNAU et al., 2008).

Machado e Figueiredo Filho (2009) afirmam que a altura pode ser obtida por medidas diretas, indiretas e estimadas. As medidas diretas podem ser feitas em árvores derrubadas com auxílio de uma trena. Também podem ser feitas com a utilização de varas de madeira, bambus ou hastes encaixáveis umas às outras. As medidas indiretas tem sido as mais usadas para medição da altura de árvores. Estas são tomadas sem que o mensurador tenha contato direto com a árvore. Para isso foram construídos instrumentos apropriados que recebem a designação genérica de hipsômetros. As alturas podem também ser estimadas através de relação hipsométrica ou ocularmente por uma pessoa bem treinada.

### 2.2.1 RELAÇÃO HIPSONÉTICA

Segundo Barros et al (2002) a análise de regressão vem sendo muito utilizada pela ciência e conseqüentemente no meio florestal. Vários pesquisadores a estudam em busca da relação existente entre o diâmetro e altura das árvores, relação esta denominada hipsométrica. O autor ainda afirma que vários são os modelos matemáticos que podem se adequar a esta relação, porém o uso indiscriminado desta, pode levar a erros consideráveis já que

vários são os fatores que a influenciam como posição sociológica, sítio, idade, densidade e práticas silviculturais em geral.

De acordo com Schimidt (1977), a relação hipsométrica é a regressão de altura em função do diâmetro e tem sido estudada por inúmeros autores por meio da utilização de um grande número de modelos estatísticos, os quais são mais ou menos eficientes conforme a composição do povoamento e a qualidade do local.

Segundo Zanon et al (1996), devido a necessidade de implementação do planejamento florestal, é necessário que se estudem relações biométricas, das quais se destaca a relação hipsométrica, já que esta permite conhecer com precisão a altura das árvores, propiciando a redução de custo para levantamento de dados em inventários florestais.

A estimação da altura das árvores por meio de instrumentos é uma operação muito onerosa e está sujeita a erros, por isso, procura-se medir a altura de algumas árvores e empregando-se relações hipsométricas estimar a altura das demais (COUTO; BASTOS, 1987)

As medidas de diâmetro são mais facilmente obtidas em praticamente todas as tipologias florestais quando comparadas às medidas de altura. Isso se deve ao fato destas serem mais demoradas e conseqüentemente mais caras para coleta. Em florestas altas e densas isso se torna ainda mais frequente. Por isso é comum que sejam medidos os diâmetros de todas as árvores e a altura de apenas algumas no interior das parcelas, a fim de que estes dados sejam utilizados para estabelecer uma relação que permita estimar a altura das demais árvores da parcela em função dos diâmetros que foram mensurados. (MACHADO et al.,1994)

Dentre os modelos hipsométricos, são considerados tradicionais os que descrevem as alturas das árvores em função apenas dos diâmetros medidos a 1,30m do solo (*DAP*) (SOARES et al., 2004).

Modelos hipsométricos genéricos os que apresentam como variáveis independentes características que influenciam a relação altura/diâmetro como a idade, o sítio (expresso pela média das árvores dominantes) e a densidade. (BARROS, 2002).

## 2.3 CRESCIMENTO DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

Finger et al (1996) afirmam que o crescimento diamétrico, em altura e volumétrico de espécies florestais dá subsídios à silvicultura e ao manejo das florestas pois fornece informações sobre o seu potencial e permite quantificar o tempo necessário para que as árvores alcancem determinada dimensão e avaliar economicamente o que foi investido no cultivo destas espécies. Para que se conheça as características de crescimento das espécies pode-se optar em acompanhar as medições periódicas, o que implica em um grande período de observações, ou recorrer às técnicas de análise de tronco.

O crescimento em diâmetro de uma árvore se refere ao aumento de espessura da mesma em um determinado período de tempo (Imaña Encinas et al, 2005), também é chamado de crescimento secundário e é influenciado principalmente pelo espaçamento. Este crescimento varia ao longo do tronco e por isso é avaliado por meio da variável *DAP* no início e no fim do período que se quer avaliar. Quando se quer avaliar o crescimento das variáveis dendrométricas em função do tempo, utiliza-se o incremento. O incremento corrente anual (*ICA*) expressa o crescimento ocorrido em determinada variável no período de doze meses. Já o incremento médio anual (*IMA*) expressa a média do crescimento total a certa idade da árvore.

Segundo Hess et al (2009), o comportamento do crescimento para cada região associado a fatores ambientais possibilitam a visualização em conjunto de características distintas das florestas e relacioná-las com a capacidade produtiva de cada espécie e a tomada de decisão para intervenção no povoamento. Ainda segundo estes autores, em espaçamentos reduzidos se tem árvores com menores diâmetros, sendo comum a presença de muitas árvores dominadas. Já espaçamentos maiores produzem ação positiva sobre o crescimento diamétrico, porém não tem influência significativa sobre a altura.

O crescimento em nível de povoamento a princípio é o somatório dos crescimentos das árvores individuais subtraída a mortalidade. Os modelos de crescimento e produção são classificados em: modelos de povoamento total, modelos de distribuição diamétrica e modelos de árvores individuais, e podem expressar além do volume outros parâmetros como diâmetro, área basal, altura e número médio de árvores por área. Os modelos para árvores individuais são

classificados como dependentes da distância das árvores ou espaciais e não dependentes ou não espaciais (MABVURIRA E MIINA 2002, apud FERRARI et al. 2005).

Segundo Campos e Leite (2006), a predição do crescimento caracteriza-se como um dos mais importantes elementos do manejo de florestas equiâneas, já que para fazer a gestão florestal é necessário compreender processos de crescimento e produção uma vez que o diagnóstico das florestas tem que ser decidido com base na prognose de produções futuras de acordo com informações atuais. Os autores destacam que os modelos de crescimento em nível de povoamento não explicam diretamente as variações ocorridas dentro do povoamento, e sim o crescimento com base em atributos em nível de povoamento como a idade por exemplo. Porém relações funcionais de uma variável somente em função da idade são de aplicação limitada e devem ser usadas somente em áreas homogêneas, onde não há variações significativas de densidade e capacidade produtiva.

## 2.4 VOLUME DE ÁRVORES INDIVIDUAIS

Segundo Carvalho (2010), a cubagem rigorosa caracteriza-se como o método direto de estimação do volume de árvores abatidas que é mais utilizado em inventários florestais. As duas formas mais comuns para se obter o volume de árvores são por meio dos métodos de cubagem relativos e absolutos. Dentre os relativos pode-se citar os métodos da FAO e de Hohenald. Dentre os absolutos destacam-se os métodos de Smalian, Huber e Newton.

Machado e Figueiredo Filho (2009) afirmam que os troncos das árvores variam quanto sua forma de acordo com um grande número de fatores como espécie, sítio, tratamentos culturais e aspectos genéticos podendo assim assumir diferentes formas. Em decorrência disto alguns pesquisadores florestais desenvolveram metodologias que atendessem às necessidades práticas do cálculo do volume. O volume considerado verdadeiro de uma árvore é aquele obtido por meio do método de deslocamento de água (xilômetro).

Segundo Thomas et al (2006) o volume representa uma das informações mais importantes para que se conheça o potencial produtivo de uma floresta já que o volume individual fornece base para que se faça uma avaliação do potencial produtivo de uma floresta, além da avaliação do estoque de madeira. Estes autores ainda afirmam que diversos modelos estatísticos são utilizados para estimar o volume de povoamentos florestais, e apesar da eficiência destes, é necessário que sejam testados, pois estes nem sempre se ajustam a todas as espécies e condições. Estes testes devem ser realizados por meio da utilização de estatísticas adequadas que identificarão o melhor modelo para cada caso.

De acordo com Ahrens (1981), o objetivo de uma equação volumétrica é expressar a relação existente entre o volume, *DAP* (Diâmetro tomado à 1,3m em relação ao solo) e altura total de árvores, de tal modo que seja possível se ter uma estimativa precisa do volume tendo-se observado apenas o *DAP* e altura das árvores. Para que isso seja possível é necessário que se utilizem técnicas de análise de regressão para definição dos coeficientes de um modelo descritivo.

Segundo Couto e Bastos (1987), o método da equação de volume é mais preciso quando comparado aos métodos de volume cilíndrico e da área basal. No método do volume cilíndrico o volume de madeira é tomado como a multiplicação do volume cilíndrico pelo fator de forma médio da floresta. No método da área basal, o volume é obtido pelo cálculo da área basal multiplicada pela altura média e pelo fator de forma médio. Os autores ainda relatam que é vantajoso utilizar equações de volume para o cálculo de volume sólido, já que este método permite o cálculo árvore a árvore, por meio de modelos estatísticos que são testados para obter o menor erro possível.

## 2.5 COMPOSIÇÃO QUÍMICA E DENSIDADE DA MADEIRA

Segundo Klock (2005), a madeira é o material de origem biológica mais conhecido e utilizado. O material lenhoso contém variadas substâncias que são utilizadas em vários ramos tecnológicos. É um material heterogêneo onde sua variabilidade estrutural e química reflete em várias propriedades físicas como

por exemplo a densidade, condutividade térmica e difusão da água. Por isso o conhecimento da madeira se torna de fundamental importância para sua utilização racional pela sociedade humana. Do ponto de vista químico pode-se considerar que não existem diferenças consideráveis nas diversas espécies quanto aos principais elementos existentes, que são, Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O) e Nitrogênio (N), sendo este em menor quantidade.

Segundo Foekel et al. (1971), a densidade da madeira é resultado da combinação de diversos fatores, sendo considerada assim uma característica complexa. Dentre estes fatores pode-se citar as dimensões das fibras, espessura da parede das fibras, volume dos vasos e do parênquima, proporção entre madeira primaveril e outonal e arranjo dos elementos anatômicos. Através da densidade é possível determinar propriedades físicas, e mecânicas que caracterizam espécies diferentes e diferentes regiões da mesma árvore.

De acordo com Mendes et al. (1999), é importante que ao se retirar apenas uma amostra para determinação da densidade de uma árvore se escolha bem o ponto de retirada para que a densidade represente a média, já que existem variações desta variável ao longo do fuste. Por isto geralmente esta amostra é retirada na altura do DAP.

Segundo Vale et al. (1999) a densidade reproduz a quantidade de matéria lenhosa por uma dada unidade de volume. Pode representar também o volume de espaços vazios existentes em uma madeira. Do ponto de vista tecnológico a densidade possibilita a avaliação da qualidade da madeira das espécies sendo um excelente indicador das propriedades da madeira.

A densidade básica da madeira é um fator utilizado para determinar seu peso. É representada pela massa por unidade de volume sendo geralmente dada em  $\text{g/cm}^3$  ou  $\text{kg/m}^3$ . A densidade da madeira pode variar no sentido da medula para casca e também ao longo do tronco. Desta forma é importante ressaltar que não se deve tirar a média aritmética das densidades nas diferentes posições do fuste. É necessário que se faça uma ponderação a partir do volume de seções entre pontos onde foram retirados discos-amostra. (CAMPOS e LEITE, 2006).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi desenvolvido na Reserva Natural Vale, que se localiza ao norte do Estado do Espírito Santo no município de Linhares, entre os paralelos 19° 06' a 19° 18' de latitude sul e os meridianos 39° 45' a 40° 19' de longitude oeste (ROLIM, 2006).

Possui aproximadamente 22000ha de extensão e representa 25% da área de Mata Atlântica Primária remanescente do Espírito Santo. Constitui assim a segunda maior reserva de Mata dos Tabuleiros ou Zona Tabular Costeira (Hiléia Baiana) do Estado. (ARAUJO; CHIARELO, 2006).

A área em questão representa um expressivo fragmento de mata atlântica no Brasil e forma com a REBIO de Sooretama, um significativo corredor florestal. Apresenta uma variada cobertura vegetal, com as florestas de Tabuleiro e Mussununga. Também se destaca, entre as demais formações vegetais, o campo nativo (MEDEIROS, 2008).

Os solos da RNV foram classificados em quatro classes de acordo com EMBRAPA, (1999): Argissolo amarelo, Espodossolo, Gleissolo e Neossolo Quartzarênico. O Argissolo amarelo é o tipo de solo predominante na região da Reserva, assim como em todo solo capixaba, formado por sedimentos do Grupo Barreiras, característico dessa região (JESUS; ROLIM, 2005).

O clima da região é do tipo Awi de Köppen, tropical quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Os dados do posto agrometeorológico da Reserva indicam uma precipitação pluviométrica média anual de 1200mm e temperatura média de 23,3°C (ROLIM, 2006).

Quanto à vegetação, vários enquadramentos fitogeográficos já foram propostos para a floresta da região. De acordo com a classificação oficial do IBGE (VELOSO et al., 1991) a floresta é enquadrada como Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas.

### 3.2 COLETA DOS DADOS

Para realização deste estudo foram analisadas dez espécies nativas em plantios homogêneos: paraju (*Manilkara bella* Monach.), jequitibá rosa (*Cariniana legalis*), gonçalo alves (*Astronium concinnum*), Ipê felpudo (*Zeyhera tuberculosa*), tarumã (*Vitex* sp.), guaribu amarelo (*Goniorrachis marginata*), nagibe (*Kielmeyera albopunctatai*), farinha seca (*Pterygota brasiliensis*), sapucaia (*Lecythis pisonis*), e cajá (*Spondias purpúrea*). Cada espécie está inserida em uma área de 784 m<sup>2</sup> em um espaçamento de 2m x 2m, totalizando 196 árvores. Segue na tabela 1 a idade de cada povoamento.

Tabela 1 - Espécies estudadas e suas respectivas idades em anos

Povoamentos	Idade (anos)
Paraju	22
Jequitibá rosa	23
Gonçalo alves	23
Ipê Felpudo	23
Tarumã	23
Guaribu Amarelo	22
Nagibe	23
Farinha Seca	24
Sapucaia	23
Cajá	22

Para a obtenção dos dados foi realizado o monitoramento dos povoamentos por meio das medições da circunferência tomada a 1,30m em relação ao solo (CAP) e altura total das árvores. Os dados utilizados são provenientes do monitoramento ao longo dos anos, desde o plantio até o ano de 2011.

Para a realização da cubagem, as árvores selecionadas foram divididas em seções, sendo a primeira medida de diâmetro tomada na altura de 0,40 m em relação ao solo, em seguida a 1,0m, 1,80m e posteriores medidas com intervalos de 1m ao longo do tronco, até atingir a altura correspondente ao menor diâmetro possível de ser medido com os aparelhos.

As medidas de diâmetro nas alturas 0,40m, 1,0m e 1,80m foram obtidas com a suta. Nestas posições foram tomadas duas medidas perpendiculares, sendo que o diâmetro foi dado pela média destas. A partir da

altura de 2,80m, foi utilizado o Relascópio de Bitterlich para o paraju e para o jequitibá rosa e o Criterion RD1000 para as demais espécies a fim de mensurar o diâmetro ao longo do tronco. Para a cubagem com estes aparelhos o mensurador se posicionou a uma distância de 10 metros da árvore com o auxílio de uma trena de 50m graduada em milímetros. Esta distância foi escolhida devido ser a mais propícia para visualização do fuste no interior das copas das árvores na situação específica de cada povoamento.

Os galhos comerciais também foram cubados, sendo que as medidas foram tomadas segundo a metodologia de Huber e tomadas a cada metro.

O volume individual das árvores foi obtido com a aplicação do método de *Huber* para o fuste e para os galhos nas seções até a altura com o menor diâmetro mensurado.

Segue nas tabelas 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 a frequência do número de árvores cubadas em cada povoamento por classe diamétrica e por classe de altura.

Tabela 2 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o paraju.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)					Total
	6	8	10	12	14	
6		2				2
8	1	3	1			5
10		2	1	2		5
12		1	1	3		5
14			2	3		5
16			2	3		5
18			1	4		5
20			2	3		5
22				1		1
Total	1	8	10	19	0	38

Tabela 3 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o jequitibá rosa.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)						Total
	10	12	14	16	18	20	
10	1	2					3
12		2	2				4
14		3	2				5
16	1		2				3
18			4	1			5
20				3			3
22			3	1			4
24			1	2			3
26				1			1
28				1	1		2
30					2	1	3
32					1		1
34							
36							
38							
40					1		1
Total	2	7	14	9	5	1	38

Tabela 4 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o gonçalo alves.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)					Total
	8	10	12	14	16	
8	1					1
10		1				1
12	2	2	1			5
14		1	4			5
16			3	2		5
18			2	2	1	5
20				2	1	3
22				1	2	3
24				1	1	2
Total	3	4	10	8	5	30

Tabela 5 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o ipê felpudo.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)					Total
	8	10	12	14	16	
12		2				2
14		3				3
16	1	3		1		5
18	1	3	1			5
20		2	3			5
22		1	3	1		5
24				1		1
26		1		3	1	5
28						0
30				1		1
Total	2	15	7	7	1	32

Tabela 6 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o tarumã.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)				Total
	8	10	12	14	
10	1	1			2
12		4			4
14		4	1		5
16		3	2		5
18		1	3	1	5
Total	1	13	6	1	21

Tabela 7 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o guaribu amarelo.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)								Total
	6	8	10	12	14	16	18	20	
6	1								1
8	1	2	2						5
10		2	2	1					5
12		1	2	2					5
14				3	2				5
16				2	2	1			5
18					1	2			3
20				1		3			4
22				1	1		1		3
24						3	1		4
26						2		1	3
Total	2	5	6	10	6	11	2	1	43

Tabela 8 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o sapucaia vermelha.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)						Total
	10	12	14	16	18	20	
10	1	2					3
12		2	2				4
14		3	2				5
16	1		2				3
18			4	1			5
20				3			3
22			3	1			4
24			1	2			3
26				1			1
28				1	1		2
30					2	1	3
Total	2	7	14	9	5	1	38

Tabela 9 -Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o cajá.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)				Total
	12	14	16	18	
20			2		2
22		2			2
24	1	2			3
26		2	2		4
28		3	2		5
30			4		4
32		3	3		6
34	1		2	3	6
36		1		2	3
38			1	1	2
40			1		1
42				1	1
44					
46					
48				1	1
50				1	1
52					
54					
56				1	1
Total	2	13	17	10	42

Tabela 10 - Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para a farinha seca.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)			Total
	14	16	18	
16	2			2
18	3	1		4
20	2	4		6
22	1	4		5
24	1	3	2	6
26		4	1	5
28		2	1	3
30			1	1
32			2	2
Total	9	18	7	34

Tabela 11 - Distribuição de frequência das árvores selecionadas para cubagem por classes de diâmetro e altura para o nagibe.

Centro de Classe de Diâmetro (cm)	Centro de Classe de Altura (m)				Total
	12	14	16	18	
12		2			2
14		5			5
16	1		4		5
18		1	4		5
20		4		1	5
22		3	1	1	5
24			2		2
26			2		2
Total	1	15	13	2	31

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA

Para caracterizar as espécies escolhidas em relação aos seus atributos dendrométricos, foram estimadas a média aritmética dos diâmetros ( $\bar{d}$ )(cm), o diâmetro médio quadrático ( $q$ )(cm), área basal ( $B$ )(m<sup>2</sup>/ha), altura média ( $\bar{H}$ )(m) e Fator de forma ( $f$ ). As fórmulas de cálculo destas variáveis, de acordo com Soares et al. (2007) e utilizadas por Santos (2011) são descritas a seguir:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n DAP_i}{n}$$

em que:

- $\bar{d}$  = média aritmética dos diâmetros em cm.  
 $DAP_i$  = diâmetro a 1,30 m do solo da  $i$ -ésima árvore;  
 $n$  = tamanho da amostra.

$$q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DAP_i^2}{n}}$$

em que:

- $q$  = diâmetro médio quadrático em cm.  
 $DAP_i$  = diâmetro a 1,30 m do solo da  $i$ -ésima árvore;  
 $n$  = tamanho da amostra.

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{A}$$

em que:

- $B$  = área basal, em m<sup>2</sup>/ha;  
 $g_i$  = área seccional da árvore  $i$ , em m<sup>2</sup>;  
 $n$  = tamanho da amostra;  
 $A$  = área da unidade de amostra, em ha.

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}$$

em que:

- $\bar{H}$  = média aritmética das alturas, em m;  
 $H_i$  = altura da árvore  $i$ , em m;  
 $n$  = tamanho da amostra.

$$f = \frac{v_{real}}{v_{cil}}$$

Em que:

- $f$  = fator de forma comercial com casca;  
 $v_{real}$  = volume comercial cubado, com casca, em m<sup>3</sup>;  
 $v_{cil}$  = volume de um cilindro definido pelo  $DAP$  e pela altura comercial, em m<sup>3</sup>.

### 3.4 AJUSTE DOS MODELOS HIPSOMÉTRICOS

Com os pares de dados de diâmetro e altura das árvores, obtidos a partir dos dados de inventário, foram ajustados modelos de relação hipsométrica para cada espécie em estudo. Para isso optou-se por utilizar modelos que expliquem a variação da altura total das árvores em função do *DAP*, idade e altura dominante, conforme apresentado na Tabela 12. A altura dominante foi calculada segundo o princípio de Asman que considera que esta é a média das alturas das 100 árvores mais grossas por hectare.

Tabela 12 - Modelos de relação hipsométrica em função do *DAP*, para estimar a altura total dos povoamentos.

Modelo	Ajuste
1	$H = B_0 + B_1 DAP + \varepsilon$
2	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
3	$LogH = B_0 + B_1 \left( \frac{1}{DAP} \right) + \beta_2 \left( \frac{1}{I} \right) + B_3 \left( \frac{I}{DAP} \right) + \varepsilon$
4	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 H_{dom} + \varepsilon$
5	$H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 H_{dom} + \beta_3 I + \beta_4 DAP^2 + \beta_5 I^2 + \varepsilon$

Fonte: Autor

em que:

$H$  = altura total da árvore; em metros;

$H_{dom}$  = altura dominante;

$DAP$  = diâmetro a 1,30m do solo; em cm;

$\beta_i$  = parâmetros do modelo; e

$I$  = idade (anos);

$\varepsilon$  = erro aleatório.

### 3.5. AJUSTE DE MODELOS VOLUMÉTRICOS

Com a obtenção dos dados de cubagem foi possível ajustar modelos que permitem estimar o volume em função da altura e do *DAP*. Os modelos avaliados foram os de Schumacher e Hall , Spurr linear , Stoate e Husch e Ogaya conforme descritos na Tabela 13.

Tabela 13-Modelos volumétricos, selecionados para estimar o volume individual de árvores para as espécies estudadas.

Modelo	Ajuste
Schumacher e Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} H^{\beta_2} + \varepsilon$
Spurr Linear	$V = \beta_0 + \beta_1 (DAP^2 H) + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$
Husch	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$
Ogaya	$V = DAP^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$

Fonte: Autor

em que:

$V$  = volume, em m<sup>3</sup>;

$DAP$  = diâmetro a 1,30 m do solo, em cm;

$H$  = altura total, em m;

$\beta_i$  = parâmetros dos modelos;

$\varepsilon$  = erro aleatório.

### 3.6 MODELOS DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E ALTURA

Por meio de utilização dos dados de diâmetro e altura para cada espécie em cada idade, foram ajustados os modelos descritos na tabela 14. Os modelos avaliados foram o Exponencial e o Logístico. Logo após ajuste foi determinado através dos modelos selecionados, os diâmetros e alturas em cada idade para cada espécie e os respectivos Incrementos Corrente Anual (*ICA*) e Incremento Médio Anual (*IMA*) para o diâmetro e altura.

Tabela 14- Modelos de crescimento, para estimar o diâmetro e altura para cada idade para cada espécie.

Modelo	Ajuste
Exponencial	$Y = e^{\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{I}\right)} + \varepsilon$
Logístico	$Y = \left(\frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{(-\beta_2 I)}}\right) + \varepsilon$

em que:

- $Y$  = diâmetro (cm), ou altura (m)
- $\beta_i$  = parâmetros dos modelos;
- $I$  = Idade (anos);
- $\varepsilon$  = erro aleatório.

### 3.7 CRITÉRIO PARA SELEÇÃO DOS MODELOS

Para a seleção dos modelos foi considerado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro-padrão residual absoluto ( $S_{yx}$ ) e relativo ( $S_{yx}\%$ ) além da análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação adotado na análise foi o proposto por Kvalseth (1985) apud Silva et al. (2008) que preconiza que esta maneira de calcular o  $R^2$  atende a maioria de algumas exigências necessárias para a seleção de modelos, conforme é apresentada a seguir:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}$$

em que:

- $R^2$  = coeficiente de determinação;
- $y$  = valor observado da variável dependente;
- $\hat{y}$  = valor estimado da variável dependente;
- $\bar{y}$  = média dos valores observados da variável dependente.

Para comparação dos modelos, além dos valores de ( $S_{yx}$ ) e de ( $S_{yx}\%$ ) foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado, devido aos modelos testados apresentarem número de variáveis independentes diferentes e com isso número de parâmetros também diferentes. Sua fórmula é apresentada a seguir:

$$R_{aj}^2 = 1 - \left( \frac{n-1}{n-k-1} \right) (1 - R^2)$$

em que:

- $R_{aj}^2$  = coeficiente de determinação ajustado;

$R^2$  = coeficiente de determinação;

$n$  = tamanho da amostra;

$k$  = número de regressores.

Além disso foram utilizados os erros-padrões obtidos pelas seguintes fórmulas:

$$S_{yx} = \sqrt{QMR}$$
$$S_{yx}(\%) = \left( \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \right) 100$$

em que:

$S_{yx}$  = Erro-padrão residual;

$S_{yx}(\%)$  = Erro-padrão relativo;

$QMR$  = Quadrado médio do resíduo;

$\bar{Y}$  = Média observada da variável dependente.

### 3.6 OBTENÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA

Para o cálculo da densidade foram selecionadas sete árvores distribuídas nas diferentes classes diamétricas para o Paraju. O cálculo foi realizado somente para esta espécie pelo fato de ser a única onde houve a derrubada de árvores. Foram retirados discos nas posições onde foi feita a cubagem das árvores e destes foram selecionados quatro de forma distribuída ao longo do fuste de forma que o primeiro disco foi retirado na posição que corresponde a 0% da altura, o segundo na posição próxima à 25% da altura comercial da árvore, o terceiro próximo a altura correspondente a 50% e o quarto na altura próxima à 75%. Os discos foram descascados e de cada um foram utilizadas duas cunhas opostas para determinação da densidade básica da madeira. As cunhas foram submersas em água até atingirem a saturação completa da madeira. Para determinação do volume foi aplicado o método da imersão por meio da variação do peso líquido. Em seguida as amostras foram colocadas em estufa com temperatura inicial de 50°C, que foi aumentada gradativamente até atingir uma temperatura final por volta de 103°C e mantida

nesta condição até peso constante, desta forma foi obtida a massa seca com o auxílio de uma balança digital.

O cálculo da densidade básica foi realizado pela seguinte relação:

$$D_b = M_s / V_u$$

Em que:

$D_b$ = Densidade básica (kg/m<sup>3</sup>);

$M_s$ = Massa seca em estufa a 103°C (kg);

$V_u$ = Volume saturado (m<sup>3</sup>).

### 3.7 OBTENÇÃO DO TEOR DE CARBONO, HIDROGÊNIO E NITROGÊNIO NA MADEIRA PARA O PARAJU.

Para obtenção destas variáveis foi retirado um disco na altura do *DAP* para cada árvore de paraju que foi utilizada para o cálculo de densidade básica. De cada disco foram retiradas duas cunhas opostas. Estas foram trituradas, moídas e peneiradas em duas peneiras (de 30µm e de 60µm). Logo após foram condicionadas em frascos identificados com o número da árvore e enviadas para o Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade Federal de Viçosa – MG. O método utilizado para determinação dos teores dos nutrientes foi o por cromatografia gasosa realizada no Analisador Elementar Perkin Elmer Modelo 2400 série II.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DENDROMÉTRICA DAS ESPÉCIES

Na Tabela 15 são apresentados os resultados das variáveis dendrométricas analisadas para cada espécie estudada. De uma maneira geral, nota-se uma grande amplitude de variação em relação às variáveis dendrométricas consideradas para as espécies avaliadas, onde é possível verificar por exemplo variáveis como a diâmetro médio aritmético, diâmetro médio quadrático, número de árvores remanescentes e área basal, que obtiveram coeficiente de variação acima de 29%. A média aritmética dos diâmetros, variou de 13,41 à 32,29 para o paraju e cajá, respectivamente. É importante ressaltar que estes valores, além de serem representativos do comportamento do crescimento de cada espécie, são influenciados por processos silviculturais. No caso deste estudo todas as espécies foram plantadas em um mesmo espaçamento, porém ao serem analisados os números de indivíduos remanescentes percebe-se também grande variação, desde 38 para o tarumã até 124 para o paraju. Sendo assim é grande a diferença em termos de sobrevivência para cada espécie, o que certamente influenciou a grande variação das variáveis dendrométricas.

A área basal dos povoamentos também variaram consideravelmente, desde 8,29m<sup>2</sup>/ha para o tarumã, até 59,28m<sup>2</sup>/ha para o cajá. Estes valores estão diretamente ligados ao número de árvores remanescentes e os valores de diâmetros das mesmas. No caso do cajá, apesar de possuir um número reduzido de indivíduos remanescentes, possui um valor de diâmetro médio bem superior às demais espécies, que faz com que esta tenha elevado valor de área basal. No caso do tarumã o reduzido número de indivíduos remanescentes associado às árvores com diâmetros menores foi fator decisivo para o baixo valor de área basal.