

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E ÓLEO DE REBROTAS DE GALHOS E  
FOLHAS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* DUCKE) EM PLANTIOS  
COMERCIAIS SUBMETIDOS À PODA E ADUBAÇÃO**

**PATRICIA SAYURI TAKEDA**

Manaus, Amazonas  
Outubro, 2008

**PATRICIA SAYURI TAKEDA**

**AVALIAÇÃO DE BIOMASSA E ÓLEO DE REBROTAS DE GALHOS E  
FOLHAS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* DUCKE) EM PLANTIOS  
COMERCIAIS SUBMETIDOS À PODA E ADUBAÇÃO**

**ORIENTADOR: DR. PAULO DE TARSO BARBOSA SAMPAIO**

Co-Orientador: **Dr. Adrian Martin Pohlit**

Fonte financiadora: **CNPq/Prospecção, caracterização e produtividade de óleos de diferentes espécies na Amazônia Central.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais área de concentração em Silvicultura Tropical.

Manaus, Amazonas  
Outubro, 2008

T136

Takeda, Patricia Sayuri

Avaliação de biomassa e óleo de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em plantios comerciais submetidos à poda e adubação/ Patricia Sayuri Takeda .--- Manaus: [s.n.], 2008.  
XIV, 73 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) -- INPA/UFAM, Manaus, 2008

Orientador : Paulo de Tarso Barbosa Sampaio

Co-orientador : Adrian Martin Pohlit

Área de concentração : Silvicultura Tropical

1. Pau-rosa. 2. Óleo essencial. 3. Manejo. 4. Silvicultura de plantios.  
I. Título.

CDD 19. ed. 583.931

**Sinopse:**

Estudou-se a produção de biomassa e a produtividade e qualidade do óleo proveniente de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em plantios comerciais localizados no município de Maués, no estado do Amazonas, Brasil.

**Palavras-chave:**

Silvicultura de plantios, poda, biomassa da rebrota, óleo essencial, linalol.

*Dedico*

*Aos meus amados pais, Ernesto e Teruko, e  
às minhas queridas irmãs Alexandra e  
Priscila.*

## **Agradecimentos**

À Deus por tudo o que está acontecendo em minha vida e por todos que fazem parte dela.

Aos meus pais, Ernesto e Teruko Takeda, por todo o sacrifício, esforço, dedicação e apoio, me proporcionando sempre o melhor; às minhas irmãs Alexandra e Priscila, pela paciência e amizade; e aos cunhados Paulo e Marcos.

A minha família de coração Wilson (dindinho), Odinéia (dindinha), Ana, Carol e Cris, por fazerem parte da minha vida.

Ao INPA, à UFAM, à secretaria da Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical - CPST e à coordenação e professores do curso de Ciências de Florestas Tropicais - CFT pela oportunidade de complementar meus estudos, especialmente ao Dr. José Francisco e a Ana Clycia.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida, e à FAPEAM, pela apoio financeiro fundamental para o projeto.

Ao Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio pela orientação, paciência e por proporcionar todo o apoio necessário para o desenvolvimento do projeto, tentando, sempre que possível, diminuir as dificuldades e imprevistos encontrados durante a realização da pesquisa.

Ao Dr. Adrian Martin Pohlit pela co-orientação.

Aos Sr. Zanoni Magaldi e Carlos Magaldi, pela disponibilização da área para a realização do estudo em Maués, e por toda estrutura e apoio em campo. Assim como à todos os trabalhadores que ajudaram firme e forte nas atividades de campo, sendo fundamentais para a realização das coletas.

À Dra. Suely Costa, pela paciência e grande ajuda nas análises e interpretação dos dados.

Ao Dr. Luiz Augusto G. de Souza, pela contribuição na metodologia do projeto; à Eva Atroch pelo auxílio durante parte das atividades laboratoriais; ao Ribamar, Embrapa – Maués, pelo auxílio em campo; e à Luzinete e aos motoristas Jesus e João Coelho, pela ajuda sempre que necessário.

Ao Laboratório de Sementes – CPST, em especial ao Lúcio, pela disponibilização de espaço e materiais.

Ao Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP), pela ajuda nas análises químicas, em especial à Morgana, Andreza, Kleber e Jonas.

Ao Laboratório de Princípios Ativos da Amazônia (LAPAAM) – CPPN, pelo apoio na condução das atividades de extração de óleo.

Ao Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis (LAPEC), da UFAM, pelas análises realizadas.

Ao Laboratório de Química Analítica, do Centro de Biotecnologia da Amazônia – CBA, pela grande ajuda na realização das análises cromatográficas, principalmente pela urgência e eficiência.

À M.Sc. Vânia Varela por me receber em sua casa e pela ajuda no início do mestrado.

A minha turma de Mestrado, que se tornou tão especial em tão pouco tempo e que deixará saudades. Em especial aos que diretamente estiveram presentes nos momentos que mais precisei, e principalmente pela amizade: Heloíse, Fabiana, Geângelo, Murilo, Sheron e Everton.

Aos amigos por proporcionarem momentos agradáveis em Manaus: Joaquim dos Santos, Marta Rocha, Lena, Charles, Vilma, Érica, Cleyton, Romeu e Alex.

Aos amigos de casa: Paulinho, Geise, Luciana, Tatiana e Priscila. Apesar do pouco tempo que moramos juntos, foi o suficiente para construir uma grande amizade.

A “turma” pela amizade e pelos bons momentos: André W. Santos, Danival Freitas e José Renato Cavallazzi., e em especial, a Viviany M. Freitas e a Daniela Dias, amigas de longas conversas.

Às amigas da minha querida Belém do Pará, que apesar da distância sempre estiveram presentes, em especial a Maria Félix-da-Silva, Karina Muto, Kamila Muto, Raquel Ohashi, Ely Simone Gurgel, Roberta Lavareda e Susiele Tavares.

À minha Ninna.

À todos que direta ou indiretamente me ajudaram na conquista desse título.

**MUITO OBRIGADA.**

*“Quando a gente acha que tem  
todas as respostas, vem a vida e muda  
todas as perguntas...”*

*Luis Fernando Veríssimo*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo geral .....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
3.1. Biologia e manejo do pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) em condições de plantio.....	4
3.1.1. <i>Botânica e ecologia da espécie</i> .....	4
3.1.2. <i>Importância econômica, extrativismo e comercialização do óleo de pau-rosa</i> .....	5
3.1.3. <i>Manejo de plantios de pau-rosa</i> .....	8
3.1.3.1. <i>Produção de biomassa</i> .....	8
3.1.3.2. <i>Uso da poda no manejo de plantio de pau-rosa</i> .....	9
3.2. Outros fatores que influenciam no manejo dos plantios .....	10
3.2.1. <i>Idade e espaçamento</i> .....	11
3.2.2. <i>Nutrição de plantas</i> .....	13
3.2.3. <i>Adubação</i> .....	15
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>18</b>
4.1. Caracterização da área de estudo .....	18
4.2 Caracterização dos plantios de pau-rosa .....	18
4.3. Implantação dos experimentos.....	20
4.3.1. <i>Delineamento experimental</i> .....	20
4.3.1.1. <i>Experimento 1</i> .....	21
4.3.1.2. <i>Experimento 2</i> .....	22
4.4. Descrição das técnicas utilizadas nos tratamento .....	23
4.4.1. <i>Poda da copa das árvores</i> .....	23
4.4.2. <i>Adubação das árvores</i> .....	26
4.5. Parâmetros avaliados.....	27
4.5.1. <i>Variáveis dendrométricas</i> .....	27

4.5.2. Biomassa dos galhos e folhas de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke .....	27
4.5.3. Análise química dos nutrientes dos galhos e folhas.....	28
4.5.4. Biomassa da rebrota de galhos e folhas de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke.....	28
4.5.5. Rendimento do óleo essencial de <i>A. rosaeodora</i> .....	29
4.5.6. Quantificação do linalol do óleo essencial.....	30
4.6. Análise estatística dos dados .....	31
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
5.1. Avaliação inicial das árvores de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) em plantios comerciais de 3 e 5 anos de idade.....	32
5.1.1. Características dendrométricas e produção de biomassa de galhos e folhas de plantios de pau-rosa aos 3 e 5 anos de idade.....	32
5.1.4. Teores de nutrientes da biomassa de galhos e folhas das árvores nos plantios de 3 e 5 anos de idade .....	35
5.2. Avaliação da influência da poda e adubação na produção de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) no plantio de 3 anos de idade, após 12 meses .....	37
5.2.1. Produção de biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa.....	37
5.2.2. Avaliação do comprimento e diâmetro da rebrota e do número de rebrotas por planta de pau-rosa .....	39
5.3. Avaliação da influência da poda e adubação na produção de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) no plantio de 5 anos de idade, após 12 meses .....	42
5.3.1. Produção de biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa.....	42
5.3.2. Avaliação do comprimento e diâmetro da rebrota e do número de rebrotas por planta de pau-rosa .....	45
5.4. Avaliação da influência da poda e adubação no rendimento e quantidade de linalol do óleo das rebrotas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) nos plantios de 3 e 5 anos de idade, após 12 meses .....	47
5.4.1. Rendimento do óleo das rebrotas de galhos e folhas do plantio de 3 anos de idade .....	47
5.4.2. Rendimento do óleo das rebrotas de galhos e folhas do plantio de 5 anos de idade .....	50
5.4.3. Quantidade de linalol no óleo das rebrotas de galhos e folhas dos plantios de 3 e 5 anos de idade .....	52
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>67</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Plantio de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) com 3 anos de idade, localizado no município de Maués, no estado do Amazonas..... 19
- Figura 2. Plantio de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) com 5 anos de idade, localizado no município de Maués, no estado do Amazonas..... 20
- Figura 3. Esquema do delineamento do plantio de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) de 3 anos de idade..... 21
- Figura 4. Esquema do delineamento do plantio de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) de 5 anos de idade..... 22
- Figura 5. Árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) com copas podadas a 50 %: (A) Desenho esquemático da poda a 50 %; (B) Árvore podada do plantio de 3 anos de idade; e (C) Árvore podada do plantio de 5 anos de idade. .... 24
- Figura 6. Árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) com copas podadas a 100 %: (A) Desenho esquemático da poda a 100 %; (B) Árvore podada do plantio de 3 anos de idade; e (C) Árvore podada do plantio de 5 anos de idade. .... 25
- Figura 7. Rebrotas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) após a poda e adubação..... 29
- Figura 8. Quantidade média, por planta, de biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) do plantio de 3 anos de idade, após 12 meses..... 38
- Figura 9. Quantidade média, por planta, de biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) do plantio de 5 anos de idade, após 12 meses..... 44
- Figura 10. Curva analítica obtida pelo método do padrão externo para a determinação das concentrações do linalol no óleo essencial extraído de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) dos plantios de 3 e 5 anos de idade..... 52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade de adubo aplicada nos experimentos dos plantios econômicos de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), de 3 e 5 anos de idade, localizados em Maués-AM, sob diferentes espaçamentos. ....	26
Tabela 2. Comparação de médias pelo teste de Tukey entre as intensidades de poda, as variáveis dendrométricas e a biomassa da copa das árvores de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), em plantios de 3 e 5 anos de idade. ....	33
Tabela 3. Matriz correlação entre as variáveis dendrométricas e a biomassa da copa e da rebrota da copa das árvores de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), no plantio de 3 anos de idade. ....	34
Tabela 4. Matriz correlação entre as variáveis dendrométricas e as biomassas da copa e da rebrota da copa das árvores de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), no plantio de 5 anos de idade. ....	35
Tabela 5. Médias dos teores de nutrientes na biomassa de galhos e folhas da copa das árvores de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), em plantios de 3 e 5 anos de idade. ....	36
Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para a biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) do plantio de 3 anos de idade, aos 12 meses após a poda e adubação. ....	38
Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) para o número, comprimento e diâmetro das rebrotas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) do plantio de 3 anos de idade, aos 12 meses, após poda e adubação. ....	40
Tabela 8. Comparação de médias, pelo teste de Tukey, do número de rebrotas por planta (NR), comprimento (CR) e diâmetro da rebrota (DR) de árvores do plantio de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) de 3 anos de idade, após 12 meses. ....	41
Tabela 9. Análise de variância (ANOVA) para a biomassa da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) do plantio de 5 anos de idade, aos 12 meses após a poda e adubação. ....	43
Tabela 10. Análise de variância (ANOVA) para o número, comprimento e diâmetro das rebrotas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) do plantio de 5 anos de idade, aos 12 meses, após poda e adubação. ....	45
Tabela 11. Comparação de médias, pelo teste de Tukey, do número de rebrotas por planta (NR), comprimento (CR) e diâmetro da rebrota (DR) de árvores do plantio de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) de 5 anos de idade, após 12 meses. ....	46
Tabela 12. Análise de variância (ANOVA) do rendimento de óleo dos galhos e folhas de rebrotas de pau-rosa ( <i>A. rosaeodora</i> ) do plantio de 3 anos de idade, aos 12 meses, após poda e adubação. ....	48

Tabela 13. Comparação de médias, pelo teste de Tukey, do rendimento de óleo de galhos e folhas das rebrotas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ) do plantio de 3 anos de idade, aos 12 meses.....	49
Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) do rendimento de óleo dos galhos e folhas de rebrotas de pau-rosa ( <i>A. rosaeodora</i> ) do plantio de 3 anos de idade, aos 12 meses, após poda e adubação. ....	50
Tabela 15. Comparação de médias, pelo teste de Tukey, do volume e do rendimento de óleo de galhos e folhas das rebrotas de pau-rosa ( <i>A. rosaeodora</i> ) do plantio de 5 anos de idade, aos 12 meses. ....	51
Tabela 16. Valores médios do teor de linalol no óleo essencial das rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa ( <i>Aniba rosaeodora</i> ), nos plantios de 3 e 5 anos de idade. ....	53

## RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biomassa e a produtividade do óleo de galhos e folhas de árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) em plantios comerciais com idades de 3 e 5 anos, submetidos à poda e adubação, localizados no município de Maués, estado do Amazonas, Brasil. O plantio de 3 anos possui 1.240 árvores com espaçamento de 1,5 m x 2,0 m, e o plantio de 5 anos possui 335 árvores e espaçamento de 3 m x 4 m. Foi utilizado um delineamento experimental inteiramente ao acaso, com esquema fatorial de 2 x 2 (intensidade de poda e adubação), composto por 4 tratamentos. Foram utilizados dez repetições para cada tratamento, por plantio. As copas foram podadas e quantificadas a biomassa dos galhos e folhas, através do método direto. Para a adubação foram utilizados os adubos: calcário dolomítico, uréia (45 % N), superfosfato triplo (40 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), cloreto de potássio (60 % K<sub>2</sub>O). A avaliação da rebrota da copa foi obtida pelo número, comprimento e diâmetro das rebrotas. Após 12 meses, as árvores foram novamente podadas e determinada a biomassa da rebrota produzida e qualificado e quantificado o óleo de galhos e folhas. Para a avaliação da produtividade do óleo essencial foram selecionadas três amostras aleatórias de cada tratamento. A extração do óleo foi feita por hidrodestilação, utilizando o aparelho de Clevenger. A qualidade do óleo foi determinada através de cromatografia gasosa acoplada à espectroscopia de massas (CG-EM), assim como a quantificação do linalol, determinado por cromatografia gasosa com detector de ionização de chamas (CG-DIC). A maior produção de biomassa total da copa de árvores de pau-rosa foi obtida no plantio de 5 anos de idade, com 24 ton/ha, enquanto que no plantio de 3 anos produziu uma quantidade inferior, com cerca de 5 ton/ha. O plantio de 3 anos produziu maior quantidade de biomassa das rebrotas (16 ton/ha), em apenas 12 meses da aplicação da poda, enquanto o plantio de 5 anos produziu quantidade inferior (13 ton/ha). Os tratamentos com poda a 100 % tiveram melhores respostas na produção de biomassa das rebrotas de galhos e folhas, em ambos os plantios. A adubação não foi um fator determinante na produção de biomassa das rebrotas da copa, no intervalo de tempo de 12 meses. O rendimento de óleo, no plantio de 3 anos, foi maior no tratamento com poda a 100% e adubação, tanto de galhos quanto de folhas, com 2,43 % e 4,28 %, respectivamente, enquanto que no plantio de 5 anos, o maior rendimento de óleo dos galhos foi obtido no tratamento com poda a 50 % e adubação. O teor de linalol encontrado nos óleos de galhos foi superior ao dos óleos das folhas, com 64 % de linalol nos galhos e 50 % nas folhas do plantio de 3 anos, e 65 % de linalol nos galhos e 38 % nas folhas do plantio de 5 anos. O conteúdo de óleo essencial e de linalol nas folhas e galhos finos, mostrou que é mais rentável a extração de óleo destas partes vegetais do que os obtidos da madeira. Além de evitar a extinção da espécie, proporciona maior produção, principalmente se for adotado o sistema de podas periódicas.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the production of biomass and productivity of oil branches and leaves of rosewood (*Aniba rosaeodora*) trees in commercial plantations with ages of 3 and 5 years, subject to pruning and fertilization, located in Maués, states of Amazonas, Brazil. The planting of 3 years has 1,240 trees with spacing of 1.5 m x 2.0 m and the planting of 5 years has 335 trees with spacing of 3 m x 4 m. A completely randomized design was used for the experiment, with factorial of 2 x 2 (intensity of pruning and fertilization), composed of 4 treatments, with ten replicates were used for each treatment, for plantation. The crowns were pruned and quantified the biomass of branches and leaves, through the direct method. For fertilization were used dolomitic limestone, urea (45 % N), triple superphosphate (40 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), potassium chloride (60 % K<sub>2</sub>O). The evaluation of sprout of the crown was made by resulting in the number, length and diameter of sprouts. After 12 months, the trees were pruned again; determining the amount of biomass produced the sprout and quantified and qualified the oil of branches and leaves. To the evaluation of the productivity of essential oil were selected three random samples of each treatment. The extraction of oil was made by hidrodistillation, using apparatus for Clevenger. The quality of the oil was determined by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC-MS), and the quantification of linalool, determined by gas chromatography with flame ionization detector (GC-FID). The highest total biomass production of the crowns of trees, rosewood (*Aniba rosaeodora*) was obtained from the planting of 5 years old, with 24 ton/ha, whereas in the planting of 3 years produced a smaller quantity, with about 5 ton/ha. The planting of 3 years produced the largest quantity of biomass of sprout (16 ton/ha) in only 12 months of implementation of pruning, while the planting of 5 years produced smaller quantity (13 ton/ha). The treatments with pruning to 100 % of which had better answer with respect to the production of biomass of sprout of branches and leaves, in both plantations. The fertilizer was not a determining factor in the production of biomass of sprout of the crown, in plantations of 3 and 5 years, in the time interval of 12 months. The production of oil in the planting of 3 years was higher in treatment with a 100 % pruning and fertilization, as both branches of leaves, with 2.43 % and 4.28 % respectively, while the planting of 5 years the higher production of branches oil was obtained in treatment with a 50 % pruning and fertilization. The content of linalool found in oils of branches was higher than that of oils from the leaves, with 65 % of linalool in branches and 50 % in the leaves, in the planting of 3 years, and 65 % of linalool in branches and 38 % in the leaves of planting of 5 years. The content of essential oil and linalool in the branches and leaves showed that it is more profitable to extract oil from these parts of the plant that made of wood. In addition to prevent the extinction of species, provides increased production, especially if it is adopted the system of periodic pruning.

## 1. INTRODUÇÃO

A floresta amazônica apresenta grande número de espécies vegetais capazes de melhorar as condições socioeconômicas dos moradores desta região. Entre estas espécies encontra-se o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) cujo óleo destilado tanto da madeira quanto dos galhos e folhas possuem grande demanda na indústria de perfumaria fina.

A exploração desta espécie durante décadas seguiu o modelo extrativista, com o corte seletivo de todas as árvores de áreas próximas das usinas de destilação, ocasionando o quase desaparecimento das populações naturais no estado do Pará e em grande parte do estado do Amazonas. Devido a isso, a atual política do governo do Amazonas é racionalizar a exploração dos recursos remanescentes, tendo em 2006 elaborado, a Instrução Normativa SDS 002/2006, com novas regras que fazem parte das diretrizes do Programa Zona Franca Verde, na qual estabelece procedimentos e exigências que disciplinam a exploração do pau-rosa, o seu manejo florestal sustentável, o plantio, bem como os parâmetros técnicos de reposição da matéria-prima utilizada para obtenção do óleo essencial pelas usinas de destilação, além de estimular o uso de técnicas que possibilitem a rebrota de árvores adultas, como o corte de galhos e folhas das árvores de pau-rosa.

Estudos comprovaram vantagens em plantios submetidos à poda da copa das árvores, com os estabelecimentos rápidos, vigorosos e em grande número das brotações de galhos e folhas por árvore em relação às brotações de cepas e mudas, devido à presença do sistema radicular já formado das árvores podadas e das gemas adventícias e lignotúberos nas bases das árvores (Reis & Reis, 1997).

A produção de brotações vigorosas é de grande interesse para o produtor, pois a biomassa aérea está diretamente relacionada à produtividade de óleo (Sampaio *et al.*, 2000), levando em consideração que galhos e folhas de pau-rosa apresentam maior produtividade de óleo quando comparado com a quantidade produzida pela madeira desta espécie (Ohashi *et al.*, 1997).

O manejo dos plantios através da poda da copa das árvores como fonte renovável de biomassa, poderá tornar-se uma alternativa sustentável de exploração, com baixo custo de implantação, possibilitando investimentos em outras atividades como a adubação do solo dos plantios para maximizar a produtividade de biomassa de galhos e folhas em menor espaço de tempo.

Os dados gerados neste estudo poderão contribuir para o manejo de plantios desta espécie através do uso de folhas e galhos e pela definição da influência da percentagem de corte da copa e da adubação na produção de biomassa da rebrota das árvores e óleo essencial de folhas e galhos em plantios de diferentes idades e espaçamentos.

Estes resultados serão de grande valor pelo avanço no conhecimento científico que auxiliarão nos programas de plantio, conservação e manejo do pau-rosa, contribuindo desta maneira para a elaboração de políticas e para o uso sustentável da espécie.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Avaliar a produção de biomassa e a produtividade e qualidade do óleo proveniente de rebrotas de galhos e folhas de árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) em plantios comerciais com idades de 3 e 5 anos, submetidos à poda e adubação.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Quantificar a biomassa de galhos e folhas de árvores de pau-rosa em plantios com 3 e 5 anos de idade;
- Determinar a biomassa da rebrota de galhos e folhas, após 12 meses da poda da copa, em plantios de 3 e 5 anos;
- Avaliar a influência das intensidades de poda na produção de biomassa da rebrota de galhos e folhas;
- Avaliar a influência da adubação na capacidade de rebrota de galhos e folhas em plantios de 3 e 5 anos;
- Avaliar o rendimento e o teor de linalol do óleo essencial das rebrotas de galhos e folhas nos plantios de 3 e 5 anos de idade.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1. Biologia e manejo do pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) em condições de plantio

##### 3.1.1. Botânica e ecologia da espécie

A espécie *Aniba rosaeodora* Ducke, pertence à família Lauraceae, conhecida popularmente como pau-rosa, pau-rosa-mulatinho, pau-rosa-itaúba e pau-rosa-imbaúba (Brasil), cara-cara, “rosewood” (Guiana), “bois-de-rose”, “bois-de-rose-femelle” (Guiana Francesa). É uma árvore de grande porte, podendo atingir 30 m de altura e 2 m de diâmetro. O tronco é retilíneo e ramificado no ápice, formando uma copa pequena. Possui casca pardo-amarelada ou pardo-avermelhada, que se desprende em grandes placas. As folhas são coriáceas ou rígido-cartáceas, simples, alternas, obovadas, elípticas ou obovado-lanceoladas, com 6-25 cm de comprimento e 2,5-10 cm de largura. As flores são amarelo-ferruginosas, hermafroditas e diminutas; o sistema de reprodução é de fecundação cruzada, garantida pela ocorrência de dicogamia sincronizada. O fruto é uma baga glabra, de coloração violáceo-escura quando maduro, elipsóide ou subglobosa, com 2-3 cm de comprimento e 1,5-2 cm de diâmetro; está inserido em uma cúpula espessa de 1 cm de comprimento e provida de lenticelas lenhosas; contém 1 semente ovóide, com 2,6 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro. Os frutos são muito apreciados por pássaros, os quais atuam como predadores principalmente pássaros da família dos Psitacídeos, atacando os frutos imaturos, e, possivelmente, dispersores da semente (Alencar & Fernandes, 1978; Kubitzki & Renner, 1982; Ohashi & Rosa, 2004).

A fenologia reprodutiva é irregular, apresentando variações conforme a localização geográfica. A floração ocorre de outubro a fevereiro, época de elevada precipitação, começando a decrescer de fevereiro a abril. No período de julho a dezembro, aumenta o número de árvores com poucas ou novas folhas. A frutificação entre janeiro e agosto, embora existam ocorrências durante todo o ano. A espécie é perenifólia, com mudança das folhas ocorrendo durante a frutificação. Este comportamento anual deve ser levado em consideração para a aplicação dos tratamentos silviculturais e manejo da regeneração natural (Magalhães & Alencar, 1979; Ohashi & Rosa, 2004).

O pau-rosa ocorre no Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Peru, Colômbia e Equador. No Brasil, está distribuída na Amazônia, ocorrendo desde o Amapá e estende-se pelos estados do Pará e do Amazonas. É uma espécie da floresta de terra firme e da campinarana, preferindo as cabeceiras dos igarapés em suas partes mais altas, tanto em latossolos amarelos e vermelhos quanto em solos arenosos (Ohashi & Rosa, 2004).

### *3.1.2. Importância econômica, extrativismo e comercialização do óleo de pau-rosa*

Os óleos essenciais são definidos pela International Standard Organization (ISO) como produtos obtidos de partes das plantas, pela destilação por arraste com vapor d'água, sendo geralmente, líquidos de aparência oleosa à temperatura ambiente; devido à volatilidade, são também denominados de óleos voláteis; ou apenas de essências, devido ao aroma agradável e intenso (Vitti & Brito, 2003).

O pau-rosa é uma das espécies produtoras de óleo essencial, apresentando aroma agradável, do qual é extraído o linalol, que é muito utilizado como fixador de perfumes. A obtenção do óleo é feita a partir da destilação a vapor de qualquer parte da planta, sendo principalmente extraída da madeira, que por muito tempo foi explorada da floresta primária levando a quase extinção da espécie (Ohashi *et al.*, 1997).

O extrativismo tradicional do pau-rosa começa com o abate das árvores, de junho a dezembro, que são desdobradas em cavacos de 0,75 m a 1,5 m de comprimento. O tronco é reduzido a lascas de madeira de 2 a 3 cm de largura e 3 a 5 mm de espessura com uma trituradora. A destilação é feita em alambiques com capacidade variável de 900 a 1.000 litros, 200 a 500 Kg de serragem, circulando o vapor por uma serpentina instalada no fundo do alambique, em seguida passa por um condensador para ser resfriado, liquefazendo-se e sendo decantado em depósito, devido à densidade do óleo ser menor que a da água há a separação, e posteriormente é recolhido. Uma tonelada de madeira produz apenas 9 Kg de óleo, sendo necessárias cerca de 20 toneladas de madeira para produzir a quantidade de um tambor de 180 Kg, como é transportado (Terezo, 1972; Ohashi *et al.*, 1997).

O óleo extraído do pau-rosa apresenta diferenças no aroma, rendimento e propriedades físico-químicas no óleo produzido das diferentes partes da planta. Essas alterações, observadas em outras pesquisas, podem indicar uma possível variação na qualidade do óleo, onde as alterações nas propriedades físico-químicas podem estar relacionadas à função

fixadora de perfume, que indica a sua qualidade (Raoul, 1985; Ribeiro *et al.*, 1999; Ohashi & Rosa, 2004).

Através de estudos feitos por Leite *et al.* (2001) verificaram-se diferenças na quantidade de óleo produzida nos diferentes componentes vegetais, onde o rendimento do óleo obtido de folhas e galhos jovens (2,4 %), produzindo maior quantidade do que o obtido com a madeira (1,1 %). Outros estudos mostram que a produção de óleo a partir de folhas jovens de pau-rosa foi de 1,72 % com cerca de 57 % de linalol, sendo que em áreas onde o plantio foi realizado sob sombra, obteve maior percentual de linalol (60,1 %) contido no óleo das folhas grandes (Freitas *et al.*, 2005).

O rendimento na produção de óleo pode ser influenciado por diferentes fatores como: a estação de coleta do material, da idade da árvore, do local de ocorrência do material genético (procedência), além do tempo transcorrido da derrubada da árvore até o início da extração. Em termos de estação de coleta, foi encontrado que, para o pau-rosa (*A. rosaeodora*) ocorrente na Amazônia Central, a coleta de folhas no período de menor precipitação teve rendimento de 2,3 %, enquanto que no período chuvoso o rendimento foi de 2,1 % (Lima *et al.*, 2007). A explicação para o menor rendimento de óleo na estação chuvosa é devido à relativa rapidez na circulação da água pelas células oleíferas e pelo linalol ser mais solúvel em água em comparação aos óxidos e terpenos (Araújo *et al.*, 1971). Esses resultados confirmam os estudos realizados por Ohashi *et al.* (1997) e Chaar (2000) sobre a produtividade de óleo a partir de galhos, folhas e tronco, ressaltando que o rendimento de óleo sofre significativas variações ao longo dos meses do ano.

A época de coleta do material vegetal influencia outras espécies como a copaíba, que segundo estudo feito por Oliveira *et al.* (2006) indicaram que nos meses de menor precipitação pluviométrica (setembro a novembro) ocorreu as maiores produções de óleo-resina para as espécies *Copaifera reticulata* e *C. duckei*, no município de Mojú, no estado do Pará.

A espécie *Eucalyptus citriodora* Hook. apresenta variações no rendimento de óleo essencial e de citronelal de acordo com a época de coleta, obtendo-se maior rendimento de óleo de folhas coletadas nos meses mais secos do ano, considerando que nesse período a concentração é maior em função do menor teor de umidade nas folhas, proporcionando melhor qualidade da essência (Andrade & Gomes, 2000; Vitti & Brito, 2003). Porém, esses resultados diferem do encontrado por Castro *et al.* (2008), que obteve maior rendimento de óleo, da mesma espécie de eucalipto, no período chuvoso (fevereiro). Essa variação ocorreu provavelmente devido ao local de cultivo, que interfere no desenvolvimento fisiológico da

planta e da produção de óleo, como o encontrado por Chalchat *et al.* (2001) citado por Castro *et al.* (2008), analisando os óleos essenciais obtidos de folhas de *E. camaldulensis* Dehnh., encontraram diferenças nos rendimentos de óleo em plantas cultivadas na Tailândia (1,0 % a 2,6 %), no Marrocos (0,8 % a 1,3 %) e em Israel, com rendimento médio de 0,5 % de óleo em plantas.

De acordo com Araújo *et al.* (1971), a idade da folha pode afetar a qualidade do óleo, onde folhas mais velhas apresentam maior proporção de terpenos e óxidos de linalol, enquanto que as jovens são mais ricas em linalol. O óleo essencial de pau-rosa de alta qualidade apresenta cerca de 90 % do componente principal que é o linalol. O óleo produzido no Brasil tem boa aceitação no mercado internacional, pelo seu elevado teor de linalol (80 % em plantas adultas e cerca de 90 % em plantas jovens), muito embora o seu odor o coloque em segundo plano em relação ao óleo obtido na Guiana Francesa, que além de possuir maior teor de linalol (97 %), devido à predominância do linalol levógiro, mais aceito na indústria de perfumaria (Morais *et al.*, 1972; Raoul, 1985).

A exportação do óleo essencial do pau-rosa em sua maioria tem sido para os Estados Unidos, Japão, França, Inglaterra e Argentina, girando em torno de 85 % da produção, porém tem ocorrido uma redução ao longo dos anos. De acordo com Sampaio *et al.* (2000), em 1995, o estado do Amazonas exportou 41 toneladas de óleo a um preço de US\$ 29,31/Kg. No ano de 2000, somente 4 toneladas de óleo foram exportadas. O principal fator responsável pela redução da produção e exportação está sendo a substituição do óleo natural de pau-rosa por correspondentes sintéticos satisfatórios e seus baixos preços em relação ao produto natural, e a inexistência de uma política florestal para o setor também contribuíram para o declínio da exportação do óleo nas últimas décadas (Sampaio *et al.*, 2000; May & Barata, 2004).

O sucesso na produção do óleo essencial de pau-rosa e a redução dos problemas econômicos baseados nas espécies poderão ser obtidos através do desenvolvimento de técnicas de manejo adequado da espécie, assim como melhoria na nutrição da planta, do melhoramento genético e também pelo avanço nos métodos de extração.

### 3.1.3. Manejo de plantios de pau-rosa

#### 3.1.3.1. Produção de biomassa

O pau-rosa é considerado por Vieira (1970) citado por Alencar & Fernandes (1978) uma espécie heliófila, necessitando de luz solar para maior incremento em diâmetro e altura. Porém, na fase inicial de desenvolvimento, as mudas de pau-rosa necessitam de sombreamento para sobrevivência como pode ser visto em estudos feitos por Araújo *et al.* (2005) com plântulas em clareiras abertas em capoeiras, demonstraram que houve maior sobrevivência de mudas de pau-rosa nas clareiras com maior taxa de sombreamento, enquanto que o maior crescimento em altura e diâmetro foi observado nas mudas que receberam maior incidência luminosa e em clareiras com maior abertura.

Segundo May & Barata (2004), o crescimento inicial do pau-rosa (até os dois anos de idade) a pleno sol é muito pobre, apresentando plantas amareladas e raquíticas, enquanto que quando plantadas sob sombra em galerias dentro de uma floresta secundária apresentam bom desenvolvimento após quatro anos. Em contrapartida, após seis anos ocorre o inverso, com plantas recebendo radiação solar direta chegando ter 6 a 7 m de altura e folhagem substancial. O mesmo foi observado por Sampaio *et al.* (2007), onde a radiação solar direta em plantas de pau-rosa, proporcionou maior produção de biomassa da copa após sucessivas podas está altamente relacionada com a maior disponibilidade de luz. Este comportamento evidencia o pau-rosa como uma espécie com características clímax (May & Barata, 2004).

Estudos revelam, em termos médios, que a distribuição da biomassa de uma árvore de pau-rosa é de 86,2 % para o tronco, 6,17 % para galhos e 7,63 % para folhas (Sampaio *et al.*, 2000; Sampaio *et al.*, 2005). Apesar da maior proporção de biomassa ser do tronco, existe projetos de pesquisa investigando a possibilidade de manejo sustentável da espécie através de nova metodologia de exploração em substituição ao método predatório tradicional de corte raso, com o uso de outras partes da árvore para produção de óleo, como galhos e folhas obtidos pela poda das copas das árvores, considerando uma alternativa para o manejo da espécie (Sampaio *et al.*, 2005).

### 3.1.3.2. *Uso da poda no manejo de plantio de pau-rosa*

A poda ou a desrama é a eliminação de ramos de uma planta para que ela adquira uma forma e produção compatível com a finalidade desejada, podendo acompanhar a árvore desde a sua origem até o seu envelhecimento (Simão, 1998).

Segundo Sampaio *et al.* (2005), árvores de pau-rosa plantadas sob floresta primária apresentaram diferenças de comportamento quanto à sobrevivência e produção de biomassa da rebrota quando submetidas à poda da copa e corte do tronco a um metro de altura. A poda da copa proporcionou maior produção de biomassa da rebrota quando comparada às árvores não podadas e às brotações de cepas. Outro parâmetro importante foi a não mortalidade das árvores submetidas à poda, em contraposição o corte do tronco a um metro do solo, ocorreu elevada mortalidade das rebrotas.

O sucesso do manejo dos plantios de pau-rosa utilizando a técnica de poda da copa das árvores, visando à produção de óleo, leva em consideração à capacidade de rebrota de árvores adultas, o crescimento desses novos brotos, além da produtividade de óleo a partir de galhos e folhas (Sampaio *et al.*, 2000). Estudos feitos por Sampaio *et al.* (2007), mostram que árvores de pau-rosa submetidas a sucessivas podas não interferiram na capacidade de rebrota, obtendo um elevado número de brotos por fuste.

A eficiência da poda da copa na produção de biomassa da rebrota é evidenciado por estudos feito por Leite *et al.* (2001), no qual o pau-rosa apresenta poder de rebrota satisfatório, sendo necessário podar árvores de 1 ou 2 anos de idade, o que ocasiona a quebra da dormência das gemas, fazendo com que se ramifique, produzindo muitos ramos secundários e rebrotas de até três novos troncos dependendo da altura da poda. O aumento da produtividade das rebrotas e melhoria no vigor dos brotos, com o uso da poda, pode ser atribuído a maior reserva de carboidratos nas raízes e troncos que não foram cortados (Reis & Reis, 1997).

Estudos feitos por Chaar (2000) indicam que as podas periódicas geram revigoração da planta, aumento da produção de massa vegetal e volume das folhas e galhos, além de tornar esses componentes vegetais mais espessos, contribuindo com isto para a obtenção de maior volume de óleo extraído.

O vigor dos brotos é bastante afetado pela competição dos fatores ambientais e espaço, onde em plantios com espaçamentos mais densos ocorre maior competição por água, luz e nutrientes, ocasionando uma redução na quantidade de reservas disponíveis para brotação. Em

espaçamentos maiores esta competição tende a diminuir, aumentando o crescimento em diâmetro das árvores e resultando na melhoria do vigor das brotações (Reis & Reis, 1997).

### **3.2. Outros fatores que influenciam no manejo dos plantios**

Os plantios florestais são considerados como a forma mais apropriada de uso do solo, por reduzirem os impactos causados pelo desmatamento e por outras culturas intensivas, entretanto precisam estar em harmonia com as prioridades ecológicas e sociais da região (Poggiani *et al.*, 1998). Indicadores da FAO comprovam a importância da atividade: entre 2000 e 2005, as plantações repuseram 22 % da devastação florestal e supriram 35 % da demanda mundial de madeira (Piva, 2006).

No Brasil, tem-se verificado nos últimos anos, uma grande preocupação com a preservação das florestas naturais, bem como com a recuperação de áreas degradadas e recomposição de matas ciliares destruídas ou perturbadas. Grandes esforços têm sido feitos por órgãos de pesquisas, organizações não-governamentais e empresas ligadas ao setor ambiental, com objetivo de desenvolver técnicas de implantação e manejo sustentável de florestas e plantios de espécies nativas de cada região (Botelho *et al.*, 1996).

Na Amazônia brasileira, áreas com plantios florestais ainda são muito reduzidas e incipientes, e em sua maioria a existência é desconhecida, principalmente quando se refere aos plantios em propriedades privadas. Entretanto, existem muitos projetos de pesquisa com plantios experimentais que visam à reabilitação de áreas degradadas, através de programas de reflorestamento, que tem como objetivo o estudo do comportamento ecológico, fisiológico, fenológico, entre outros, de espécies nativas e/ou exóticas (Green, 2004).

O manejo dos plantios com espécies florestais de alto valor econômico possibilitam a produtividade econômica, diminui a pressão de exploração das populações naturais e, acima de tudo, contribui para conservação das populações naturais remanescentes, beneficiando o meio ambiente absorvendo o dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo o aquecimento global decorrente da alta concentração desse gás na atmosfera (Higuchi *et al.*, 1998; Sampaio *et al.*, 2005). Segundo Thibau (2000), a análise química das plantas, em diversos estudos, mostra que a biomassa ou a matéria vegetal desidratada compõe-se de 44 % de carbono, que é incorporado ou fixado durante a fotossíntese. Florestas jovens em crescimento, ou em regeneração, possuem um índice de área foliar muito superior aos tecidos lenhosos ocasionando alta produtividade primária e elevada fixação de carbono.

Com os incentivos e exigências dos órgãos públicos ambientais, os plantios florestais estão sendo estabelecidos em grandes extensões de áreas improdutivas, abandonadas pela agricultura migratória, pastagens, desmatamento e outros usos da terra.

Estudos sobre a condução silvicultural de espécies nativas da Amazônia ainda são escassas, onde empresas envolvidas com empreendimentos de reflorestamento e proprietários de florestas plantadas têm arcado com os custos da falta de informações técnicas para práticas de plantio, poda, desbastes e manejo do solo entre outros fatores (Figueiredo, 2001).

Os plantios florestais apresentam vários fatores que afetam os seus manejos, entre eles podem ser citadas as idades do plantio, espaçamento, adubação, nutrição de plantas, entre outros.

### *3.2.1. Idade e espaçamento*

A idade de corte e o espaçamento são intimamente relacionados, ou seja, os plantios em espaçamentos menores, normalmente, exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição entre plantas ocorre mais precocemente, antecipando a estagnação do crescimento (Poggiani *et al.*, 1998).

A floresta plantada em espaçamento reduzido exige desbaste ou corte em idade muito jovem (três a quatro anos), pois há uma estagnação do crescimento, provocando grande exportação de nutriente, o que não é interessante quando se pensa em sustentabilidade do solo (Paiva *et al.*, 2001).

Para a escolha do espaçamento do plantio nos planejamentos florestais, é fundamental o conhecimento da espécie, e não apenas o uso final do produto, pois envolve outros fatores de ordem ecológica e silvicultural de suma importância. O espaçamento tem uma série de implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico. Diferenças significativas na taxa de sobrevivência, nas taxas de crescimento das plantas, na qualidade da madeira e idade de corte têm sido detectadas, bem como nas práticas de exploração e manejo florestal e, conseqüentemente, nos custos de produção (Castro *et al.*, 1998).

A diferenciação entre espaçamentos pode variar de acordo com a espécie, ou seja, espécies diferentes podem apresentar comportamentos diferentes dentro de um mesmo plantio. Considerando-se a diversidade de comportamento das espécies florestais e as diferentes qualidades de madeira exigidas para cada uso, considera-se que o espaçamento

ideal para celulose não seja o mesmo indicado para produção de lenha, carvão ou madeira para serraria (Poggiani *et al.*, 1998).

É bastante conhecido de que plantios mais densos produzem maior volume total de madeira que aqueles menos densos. Por outro lado, os espaçamentos maiores produzem um número mais elevado de árvores com maior volume individual (Balloni & Simões, 1980).

Segundo Castro *et al.* (1998) avaliando diferentes tipos de espaçamentos em plantios de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) verificou que a biomassa obteve maior produção nos espaçamentos menores, devido o maior número de árvores por unidade de área. Com relação aos outros parâmetros como altura, DAP e sobrevivência não sofreram influência dos espaçamentos, sugerindo que aos sete anos de idade ainda não ocorre a concorrência por luz e/ou nutrientes do solo.

O mesmo foi observado por Higa & Sturion (2000), estudando a capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis* Labill., aos quatro anos de idade, submetido ao sistema de talhadia, em seis diferentes espaçamentos que não afetaram na capacidade de brotação das touças, altura e número de brotos, influenciando apenas os diâmetros das cepas, com diâmetros maiores em espaçamentos maiores. No entanto, observou que a sobrevivência das plantas e a porcentagem de brotação das cepas foram inferiores no espaçamento de 1 m<sup>2</sup>.

Segundo Rondon (2002), trabalhando com sete espaçamentos para *Schizolobium amazonicum*, aos 5 anos de idade, no norte de Mato Grosso, concluiu que nos espaçamentos mais amplos (4 x 3m e 4 x 4 m) as plantas apresentaram altura e diâmetro médias superiores, ocorrendo o inverso com os espaçamentos menores, e obtendo maior produção de biomassa total nos espaçamentos maiores (4 x 4 m e 4 x 2 m).

De acordo com estudos feitos por Rondon (2006) com a espécie *Tectona grandis* L.F., aos 76 meses de idade, testando sete tipos de espaçamentos, as maiores circunferências à altura do peito (CAP) foram obtidas nos maiores espaçamentos, não verificando influencia do espaçamento no crescimento em altura das plantas. Enquanto que o menor espaçamentos testado (3 x 2 m) possibilitou maior produção de biomassa total.

A influência de diferentes espaçamentos sobre a produção de biomassa varia com a espécie, a idade das plantas e a qualidade de sítio. Em espaçamentos mais densos, a maior competição entre plantas resulta na estabilização do acúmulo de biomassa em menor idade que aquela observada em espaçamentos mais amplos (Bernardo, 1995).

Levando em consideração os resultados de altura e biomassa, verifica-se a necessidade de estudos de árvores em idade mais avançada, de maneira que se possa inferir sobre a época

em que ocorrerá o equilíbrio na produção de biomassa nos diferentes espaçamentos para as condições de sítio (Rondon, 2006).

### 3.2.2. *Nutrição de plantas*

A nutrição de plantas envolve a absorção dos materiais brutos do ambiente, necessários para os processos bioquímicos essenciais, a distribuição desses materiais dentro da planta e sua utilização no metabolismo e no crescimento, exigindo uma demanda nutricional relativamente simples, que sob condições ambientais favoráveis, a maioria dos vegetais clorofilados utiliza energia luminosa para transformar CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O em compostos orgânicos usados como fonte de energia (Raven *et al.*, 2001).

O carbono, o oxigênio e o hidrogênio são considerados como macronutrientes orgânicos, adquiridos a partir do CO<sub>2</sub> atmosférico e da água presente no solo, e incorporados às plantas pelo processo de fotossíntese. Como consequência da fotossíntese, esses três nutrientes constituem praticamente todas as moléculas orgânicas dos vegetais e são responsáveis pelo maior peso da planta ou da matéria seca (cerca de 94-97% do peso seco de uma planta). Os demais nutrientes (6-3 % restantes) fazem parte dos minerais presentes no solo (Peres, 2002).

A separação entre macro e micronutrientes baseia-se apenas na concentração em que o elemento aparece na matéria seca, a qual vai ser refletida nas quantidades exigidas, contidas, ou fornecidas (pelo solo, adubo ou por ambos) no processo de formação, não tendo correlação com uma maior ou menor essencialidade, considerando todos os elementos igualmente essenciais, porém, em quantidades diferentes (Malavolta *et al.*, 1997; Peres, 2002). As concentrações dos macronutrientes e micronutrientes são diferentes e distribuídos ao longo da planta, aumentando da base para o ápice da árvore, mas assemelham-se os teores com os encontrados nas folhas, tecidos de maior atividade do metabolismo energético da planta, onde se localizam as maiores concentrações de nutrientes (Ferraz *et al.*, 1997).

As folhas apresentam elevada concentração de nutrientes, podendo ser considerada como grande potencial na ciclagem de nutrientes, apesar do pequeno percentual de biomassa total das árvores, encontrando a seguinte ordem da quantidade total dos nutrientes: N > Ca > K > Mg > P (Gonçalves, 1995; Ferraz *et al.*, 1997; Schumacher & Caldeira, 2001). Esses teores das folhas podem ser influenciados pela altura de onde foram coletadas as amostras,

devido a influência da arquitetura da copa e da capacidade fotossintética das folhas; a idade das folhas, onde a concentração pode ser influenciada pela mobilidade do elemento químico na planta e o período sazonal, pois em períodos chuvosos há maior circulação de água dentro da planta, fazendo com que ocorra maior diluição dos nutrientes, diminuindo a concentração dos mesmos (Magalhães & Blum, 1999).

Quando se considera o estoque de nutrientes nos diferentes compartimentos da planta no geral o teor dos nutrientes sofre variações de acordo com o estado de desenvolvimento da planta (Ferraz *et al.*, 1997; Moraes Neto, 2003), onde os troncos apresentam maiores estoques de nutrientes, entre 46-57 % dos nutrientes da árvore quando comparado com estoques das folhas, porém quanto menores as plantas, mais nutrientes são alocados nas folhas devido a maior atividade fotossintética e crescimento das árvores, demonstrando que a planta adota diferentes estratégias de alocação de nutrientes durante as fases de crescimento (Ferraz *et al.*, 1997).

Os conteúdos dos nutrientes na planta refletem o estado nutricional da mesma, bem como a fertilidade do solo. Por isso, é importante conhecer os intervalos de teores de cada nutriente no tecido que indicam deficiência, suficiência ou toxicidade (Gonçalves, 1995). No caso de macronutrientes, a quantidade adequada corresponde a uma sobra de nutriente absorvido, o qual pode se acumular no vacúolo sem provocar resposta no crescimento. Para os micronutrientes, essa sobra pode provocar toxidez nos tecidos e reduzir o crescimento da planta. E considera-se deficiência de um nutriente no tecido aquela concentração em que abaixo dela a planta está crescendo menos do que seu potencial e acima dela o incremento deixa de ser exponencial (Peres, 2002).

Essa deficiência de nutrientes afeta diretamente o incremento da árvore, produzindo menor biomassa foliar, e com essa diminuição na biomassa há uma redução na produtividade e qualidade de óleos essenciais, como foi verificado por Mafeis *et al.* (2000), onde a omissão de alguns elementos nutricionais, como potássio e boro, em *Eucalyptus citriodora* Hook, fez com que o teor de citronelal no óleo não atingisse valores superiores a 70 %.

Esses motivos demonstram a necessidade de estudos sobre a nutrição das plantas, pois através deles poderão ser corrigidos problemas no plantio, através do emprego de adubação para manter a produtividade, tornando-o produtivo em longo prazo.

### 3.2.3. Adubação

O desenvolvimento das plantas depende de vários fatores externos e internos, entre eles está a qualidade do sítio, que apresenta influência na fase inicial de crescimento das plantas com maiores crescimentos nesta fase para os parâmetros: altura total, diâmetro do caule ao nível do solo e à área da copa, diminuindo esta influência com o aumento da idade, variando para cada espécie (Botelho *et al.*, 1996; Souza *et al.*, 2001). Entretanto, não se pode considerar que os sítios influenciam apenas na fase inicial do plantio, visto que à medida que as árvores se desenvolvem, alguns fatores, como a profundidade do solo, a compactação e a disponibilidade de água e nutrientes, podem tornar-se limitantes ao crescimento, reduzindo o desenvolvimento da planta (Kageyama *et al.*, 1992, citado por Botelho *et al.*, 1996; Castro, 1995; Botelho *et al.*, 1996).

Sistemas de manejo adequado do solo, através das práticas agrícolas como a adubação, aumenta a disponibilidade de nutrientes corrigindo deficiências existentes no solo ou na planta, sendo importante para o crescimento das árvores e para a sustentabilidade do ecossistema florestal ao longo dos ciclos de corte, pois repõe parte dos nutrientes exportados com a colheita (Castro, 1995; Silva, 2005).

A necessidade de adubação decorre do fato de que nem sempre o solo é capaz de fornecer todos os nutrientes que as plantas precisam para um adequado crescimento. As características e quantidade de adubos a aplicar dependerão de fatores como a necessidade nutricional da espécie florestal, da fertilidade do solo, da forma de reação dos adubos com o solo, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica (Gonçalves, 1995).

Nas adubações de espécies florestais, freqüentemente, são utilizados os elementos N, P, K, e com menor freqüência o B e Zn. Para a correção do solo, quando necessária, aplica-se Ca e Mg, processo chamado de calagem. Em plantações florestais é comum o uso de adubo simples, formado por apenas um composto químico. Além dos adubos simples, existem os adubos formados a partir da mistura de dois ou mais fertilizantes, os quais, representados por formulações, são denominados de adubos mistos (Bellote & Silva, 2003). A formulação do fertilizante varia de região para região e de acordo com a cultura que será aplicada. De maneira geral, na atividade florestal, o fósforo é colocado em maior quantidade que os outros elementos, por ser normalmente aquele presente em menor concentração no solo e ter influência significativa sobre a produção (Gonçalves, 1995; Bellote & Silva, 2003).

Com relação à deficiência dos macronutrientes, os sintomas visuais e as maiores respostas à adubação têm sido observados no campo, com mais freqüência, na seguinte

ordem:  $P > N > K > Ca > Mg$ , e para os micronutrientes,  $B > Zn$ . (Gonçalves, 1995). Por isso, recomendações de adubações minerais de plantios utilizadas referem-se sempre aos elementos N, P e K, Enquanto que para a adubação com micronutrientes, notadamente B, Cu e Zn, é ainda bastante indefinida em relação a sua aplicação e a resposta da espécie para esses nutrientes (Bellote & Ferreira, 1993).

A adubação além de proporcionar o aumento no incremento das árvores influencia na produtividade de rebrotas, na quantidade de óleos, látex e outros exsudados produzidos pelas plantas, devido o equilíbrio nutricional disponibilizado para as mesmas (Murbach *et al.*, 1999; Maffeis *et al.*, 2000; Roque *et al.*, 2004). Como na seringueira, a adubação fosfatada aumenta a produção de borracha seca até certo nível de dose de potássio (aproximadamente 160 Kg/ha de  $K_2O$ ), após esse nível ocorre o decréscimo acentuado da produtividade (Murbach *et al.*, 1999). A calagem afeta a produtividade de borracha seca, por neutralizar a acidez do solo e disponibilizar mais Ca, diminuindo a concentração de Zn das folhas, com teores de Ca foliar próximo a 7,8 g/Kg, associados à máxima produção de borracha seca (Roque *et al.*, 2004).

Os resultados dos primeiros estudos sobre a adubação de povoamentos para rebrota de cepas foram para espécies de eucalipto, relatados por Balloni & Silva (1978, citado por Barros *et al.*, 1997) e Rezende *et al.* (1980, citado por Barros *et al.*, 1997), para definir a melhor época e o melhor modo de aplicação do fertilizante, encontrando respostas bem variáveis, havendo casos em que não foram observados ganhos, devido à pobreza do solo. Outros estudos mostram que a produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, em povoamentos conduzidos por brotação, é bem distinta entre os compartimentos da planta, onde a copa da árvore é a parte que melhor responde à adubação, aumentando a produção de biomassa; e são altamente relacionados à idade, reforçando a necessidade de estratégias de adubação levando em consideração o conhecimento do potencial produtivo do sítio, da taxa de crescimento do plantio, da eficiência de utilização de nutrientes e da disponibilidade de nutrientes no solo (Barros *et al.*, 1997; Farias *et al.*, 1997).

Uma das únicas desvantagens encontradas em relação à adubação são os custos para o produtor, pois existe a necessidade da compra dos insumos e da contratação de mão-de-obra para a sua aplicação, o que corresponde, aproximadamente, a 35 % do valor total da implantação (adubação completa), sendo esse custo apenas inicial, durante a implantação do plantio florestal (Silva, 2005).

Por esses motivos pode-se afirmar que a adubação é um tratamento importante, principalmente para florestas de rápido crescimento que tendem a ter melhor resposta à

adubação e ciclos mais curtos, ou seja, maior capacidade de absorver e de exportar nutriente (Silva, 2005).