



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

**PLANTIOS DE PAU-ROSA (*ANIBA ROSAEODORA DUCKE*) ESTABELECIDOS
EM ÁREAS COM HISTÓRICO DE USO POR ATIVIDADES AGRÍCOLAS E
PECUÁRIAS**

PEDRO MEDRADO KRAINOVIC

Manaus, Amazonas

Abril, 2011

PEDRO MEDRADO KRAINOVIC

**PLANTIOS DE PAU-ROSA (*ANIBA ROSAEODORA DUCKE*) ESTABELECIDOS
EM ÁREAS COM HISTÓRICO DE USO POR ATIVIDADES AGRÍCOLAS E
PECUÁRIAS**

ORIENTADOR: Dr. PAULO DE TARSO BARBOSA SAMPAIO

Co-orientador: Dr. Newton Paulo de Souza Falcão

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, do Instituto de Pesquisas da Amazônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais área de concentração em Silvicultura Tropical.

Fonte financiadora: CNPq/Identificação e seleção de procedência e progênies de pau-rosa na Amazônia Central

Manaus, Amazonas

Abril, 2011

K89

Krainovic, Pedro Medrado

Plantios de pau-rosa (*Aniba Rosaedora Ducke*) estabelecidos em áreas com histórico de degradação por atividades agrícolas e pecuárias / Pedro Medrado Krainovic. --- Manaus : [s.n.], 2011.

xvi, 105 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2011

Orientador : Paulo de Tarso Barbosa Sampaio

Co-orientador : Newton Paulo de Souza Falcão

Área de concentração : Ciências de Florestas Tropicais

1. Pau-rosa. 2. Óleo essencial. 3. Solo. 4. Manejo da copa. 5. Biomassa.
I. Título.

CDD 19. ed. 634.973931

Sinopse:

Estudou-se o solo, o rendimento e a qualidade do óleo proveniente de galhos e folhas de plantios comerciais de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), estabelecidos sobre áreas com histórico de degradação pelas atividades agrícolas e pecuárias no município de Maués, no Estado do Amazonas, Brasil.

Dedico

*Às pessoas mais importantes da minha
vida, meus pais Martinho e Ariadna, e
ao meu irmão Ivo.*

Agradecimentos

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

A minha família: Meus pais, Martinho Krainovic e Ariadna Medrado Krainovic , e ao meu irmão Ivo Medrado Krainovic, por todo amor, sacrifício, esforço, dedicação e apoio, para me proporcionar sempre o melhor, em todos os momentos da minha.

Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazonia (INPA) e a 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, coordenador do programa e a Ana Clycia, secretaria do programa e todos demais do corpo do programa como Valdecira, Lira e outros.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida, pelo 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 superar os imprevistos encontrados durante a realização da pesquisa.

Ao Dr. Newton Paulo de Souza Falcão 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.

Ao Dr. Afranio pelos momentos de ajuda e descontração em Maués, além da ajuda com as análises de física do solo.

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

Aos Drs. Luiz Augusto G. de Souza e Henrique Nascimento pela contribuição na metodologia do projeto.

Ao Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP), pela ajuda nas análises químicas, em especial ao Edvaldo, Orlando e Mozanei.

Ao Flávio pelo apoio técnico na infraestrutura e obtenção do material de trabalho.

Ao Laboratório de Biomoléculas da Amazônia, pertencente a UFAM, em especial ao Dr. Valdir Veiga pelo apoio na condução das atividades de extração de óleo e análises qualitativas .

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.

A toda a minha turma de Mestrado, em especial aos companheiros de casa Gustavo, Janaina, Rafael, Robson e Rodrigo que estiveram presentes em todos os momentos e principalmente pela amizade e companheirismo.

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

MUITO OBRIGADO.

*“Há homens que lutam um dia, e são bons;
Há outros que lutam um ano, e são melhores;
Há aqueles que lutam muitos anos, e são muito bons;
Porém há os que lutam toda a vida
Estes são os imprescindíveis.”*

Bertold Brecht

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	XII
LISTA DE TABELAS.....	XIV
RESUMO GERAL.....	XVI
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
CAPITULO I.....	5
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS COM HISTÓRICO DE DEGRADAÇÃO SOB PLANTIOS HOMOGENEOS DE PAU-ROSA.	5
RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Caracterização da área de estudo	8
2.2. Caracterização dos plantios de pau-rosa, da capoeira e da floresta.	9
2.3. Amostragem.....	11
2.3.1. Física do solo	11
2.3.2. Química do solo	12
2.3.3. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.....	12
2.4. Descrição das técnicas utilizadas	13
2.4.1. Física do solo	13

2.4.2. Classificação do solo	14
2.4.3. Análises químicas das amostras de solo.....	14
2.4.4. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.....	15
2.5. Análise dos dados.....	16
3. RESULTADOS	18
3.1. Física do solo	18
Química do solo.....	25
3.3. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.....	33
4. DISCUSSÃO.....	36
5. CONCLUSÕES	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPITULO II.....	47
BIOMASSA DA COPA DE PAU-ROSA (ANIBA ROSAEODORA DUCKE), VISANDO A PRODUÇÃO ÓLEO A PARTIR DE GALHOS E FOLHAS.....	47
RESUMO	47
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1. Caracterização da área de estudo	50
2.2. Caracterização dos plantios de pau-rosa, da capoeira e da floresta.	51
2.2. Amostragem.....	53
2.2.1. Marcação, poda da copa e pesagem das árvores.....	53
2.3. Descrição dos métodos e dos parâmetros avaliados.	53
2.3.1. Variáveis dendrométricas.....	53
2.3.2. Biomassa dos galhos e folhas de Aniba rosaeodora Ducke.....	54
2.3.3. Rendimento do óleo essencial de A. rosaeodora.	55
2.3.4. Estimativa da qualidade do óleo essencial	57
2.3.5. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.....	57
2.4. Análise dos dados.....	58

3. RESULTADOS	59
3.1. Variáveis dendrométricas	59
3.2. Nutrição foliar.....	60
3.2.1. Relação entre a nutrição e as variáveis dendrométricas	60
3.3. O óleo e os métodos de destilação.....	62
4. DISCUSSÃO	65
5. CONCLUSÕES	71
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
CONCLUSÃO GERAL	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação dos pontos aleatórios de coleta do solo no interior de cada sítio em estudo.	11
Figura 2: Desenho esquemático da coleta de folhas nas árvores (vista superior).	13
Figura 3: Diagrama da ACP com os dados de textura dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 0-10 cm.	19
Figura 4: Diagrama da ACP com os dados de textura dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade 10 a 20 cm.	20
Figura 5: Gráficos das análises de variância para densidade e porosidade dos cinco sítios. (a) Densidade de 0 a 10 cm; (b) Densidade de 10 a 20 cm; (c) Porosidade de 0 a 10 cm e (d) Porosidade de 10 a 20 cm.	22
Figura 6: Perfis dos solos dos cinco sítios. (a) Plantio de 4 anos; (b) Plantio de 10 anos; (c) Plantio de 20 anos; (d) Capoeira e (e) Floresta secundária tardia.	23
Figura 7: Presença da linha de carvão no horizonte A.	24
Figura 8: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 0-10 cm.	28
Figura 9: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 10-20 cm.	29
Figura 10: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 20-30 cm.	29
Figura 11: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 30-40 cm.	30
Figura 12: Gráficos da ANOVA feita com os “scores” da ACP com os dados de fertilidade: (a) CP 1 0 a 10 cm (b) CP 2 0 a 10 cm, (c) CP 1 10 a 20 cm (d) CP 2 10 a 20 cm (e) CP 1 20 a 30 cm (f) CP 2 20 a 30 cm (g) CP 1 30 a 40 cm e (h) CP 2 30 a 40 cm.	32
Figura 13: Diagrama da ACP com os dados de nutrição foliar.	34
Figura 14: ANOVA feita com os “scores” da ACP para os componentes principais (CP) 1 e 2.	35
Figura 15: Correlação de Pearson feita com os “scores” da ACP de solo e planta.	36
Figura 16: Croqui de amostragem dos indivíduos dentro do sítio.	53

Figura 17: Desenho ilustrativo da poda de 100%.....	55
Figura 18: Gráfico de intervalo de confiança das médias de rendimento por plantio e método.	63
Figura 19: Médias e desvio padrão dos teores de linalol por idade e método.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Georreferência dos plantios de pau-rosa, capoeira e da floresta.	10
Tabela 2: Granulometria dos cinco sítios.	19
Tabela 3: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.	20
Tabela 4: Densidade e porosidade dos cinco sítios dentro da propriedade.	21
Tabela 5: Caracterização química do solo dos cinco sítios em todas as profundidades dentro da propriedade.	26
Tabela 6: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.	31
Tabela 7: Informação estatística acumulada dos dois componentes principais.	31
Tabela 8: Médias do estoques de carbono no solo até 20 cm de profundidade.	33
Tabela 9: Teores médios dos elementos do tecido foliar de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos de idade.	33
Tabela 10: Ordem de quantidade dos elementos no tecido foliar de pau-rosa.	34
Tabela 11: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.	35
Tabela 12: Georreferência dos plantios de pau-rosa, capoeira e da floresta.	52
Tabela 13: Médias da altura total (HT), diâmetro a altura do peito (DAP) e biomassa fresca da copa das árvores de pau-rosa (<i>A. rosaeodora</i>), em plantios de 4, 10 e 20 anos de idade.	59
Tabela 14: Teores médios dos elementos do tecido foliar de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos.	60
Tabela 15: Matriz correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o <i>status</i> nutricional das árvores de pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i>) no plantio de 4 anos de idade.	61
Tabela 16: Matriz de correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o <i>status</i> nutricional das árvores de pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i>) no plantio de 10 anos de idade.	61

Tabela 17: Matriz de correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o <i>status</i> nutricional das árvores de pau-rosa (<i>Aniba rosaeodora</i>) no plantio de 20 anos de idade.	61
Tabela 18: Rendimento médio dos dois métodos e das 3 idades em questão.	62
Tabela 19: Estimativa da qualidade pelo teor de linalol.	64
Tabela 20: Estimativa do retorno financeiro.	65

RESUMO GERAL

Este estudo teve como objetivo avaliar as relações solo-planta de plantios comerciais de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) com idades de 4, 10 e 20 anos, implantados sobre uma área com histórico de degradação pelas atividades agrícola e pecuária, localizados no município de Maués, Estado do Amazonas, Brasil. Foram estudadas características físicas e químicas do solo, bem como o *status* nutricional da planta, a produção de biomassa de galhos e folhas e a produtividade e qualidade do óleo extraído. Os plantios de 4 e 10 anos estão no espaçamento de 3,0 m x 4,0 m, possuindo 334 árvores, e o plantio de 20 anos possui 200 árvores organizadas no espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. Para avaliação do solo, foi delineado 5 tratamentos: Solos de capoeira, plantio de 4 anos, plantio de 10 anos, plantio de 20 anos e uma floresta secundária tardia. Para as análises químicas do solo foram coletadas amostras em 5 repetições para cada tratamento em 4 profundidades (0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm e 30-40 cm) e as análises físicas do solo foram realizadas em 2 profundidades (0-10 cm e 10-20 cm). Para determinação da biomassa da copa, foram realizadas podas de 100% da copa de 10 árvores de cada idade, totalizando 30 indivíduos. No momento de obtenção da biomassa, foram coletadas amostras de folhas para fins do levantamento do *status* nutricional. A extração do óleo essencial da biomassa coletada foi feita por arraste a vapor na destilaria em Maués e por hidrodestilação no laboratório de biomoléculas da Amazônia pertencente à UFAM. O rendimento em óleo foi determinado a partir do peso de massa seca dos galhos e folhas de pau-rosa e do peso de óleo extraído dessa massa, tanto na destilaria em Maués, quanto no método laboratorial. A qualidade do óleo foi determinada através de cromatografia gasosa e a análise dos cromatogramas gerados, com observação dos teores de linalol. Os resultados das análises de solo mostraram que a área que comporta o plantio de 4 anos se distingue das demais, principalmente em relação a composição granulométrica das partículas, maiores teores de argila, maiores teores de macro e micronutrientes, valores de densidade do solo menores e maior porosidade total do solo. Em relação às demais áreas, o solo dos plantios de pau-rosa equipara-se às condições encontradas nas áreas de capoeira e da floresta secundária tardia. Devido ao efeito do espaçamento, a maior produção de biomassa total da copa de árvores de pau-rosa por hectare foi obtida no plantio de 10 anos de idade, com 35,15 ton ha⁻¹, seguido do plantio de 20 anos com 24,73 ton ha⁻¹, enquanto que o plantio de 4 anos produziu a menor quantidade, com cerca de 17,92 ton ha⁻¹. Não foram encontradas diferenças estatísticas significativas no rendimento em óleo, e em média foram obtidos no laboratório e na destilaria 1,34 % e 1,15 %, respectivamente. O teor de linalol encontrado foi superior no óleo de 10 anos obtido na destilaria (88,05%), seguido do óleo obtido do plantio de 20 anos no laboratório (83,87%). O menor conteúdo de linalol foi encontrado para o plantio de 4 anos de idade, no óleo obtido no laboratório (73,19%). O conteúdo de óleo essencial e de linalol no galhos e folhas, mostrou que é rentável a extração de óleo a partir da poda. Além disso, a matéria prima do óleo pode ser obtida de plantios comerciais homogêneos implantados sobre áreas degradadas e/ou ociosas, diminuindo a pressão sobre populações naturais.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the soil-plant relations of commercial plantations of rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) aged 4, 10 and 20 years, implanted over an area with a history of degradation by agricultural activities and cattle raising, located in Maués, Amazonas State, Brazil. We studied physical and chemical characteristics of soil and the nutritional status of the plant, the biomass of branches and leaves and the yield and quality of extracted oil. Plantings of 4 and 10 years are spaced at 3.0 m x 4.0 m, having 334 trees, and planting of 20 years having 200 trees, organized as 5.0 m x 5.0 m. For soil evaluation, it has been outlined five treatments: Soil poultry, planting of 4 years, 10 years of planting, planting of 20 years and a late secondary forest. Chemical analysis of soil samples were collected in five replicates for each treatment at four depths (0-10 cm and 10-20 cm and 20-30 cm and 30-40 cm) and physical analysis of soil were taken in two depths (0-10 cm and 10-20 cm). To determine the biomass of the crown, were pruned to 100% of the canopy of 10 trees of each age, totaling 30 individuals. At the time of biomass collection, leaves samples were collected for the survey of nutritional status. The extraction of essential oil of biomass collected was made by steam distillation in the distillery in Maués and by hydrodistillation in the laboratory of Amazonia biomolecules, belonging to UFAM. The oil yield was determined from the weight of dry mass of twigs and leaves of rosewood and the weight of the oil extracted from this mass, as in Maués distillery, as in the laboratorial method. Oil quality was determined by gas chromatography and the analysis of chromatograms generated with observation of the levels of linalool. The results of soil analysis showed that the area which includes the planting of 4 years is distinguished from the other, especially regarding to the composition of particle size, higher clay content, higher levels of macro and micronutrients, lower soil density values and higher total soil porosity. Concerning other areas, the soil of the rosewood plantations is matched to the conditions found in fallow and secondary forest late. Due to the effects of spacing, the highest total biomass of the canopy of the rosewood trees per hectare was obtained in the planting of 10 years of age, with 35.15 ton ha⁻¹, followed by the planting of 20 years with 24.73 ton ha⁻¹, while the planting of 4 years has produced the lowest quantity, with about 17.92 ton ha⁻¹. There were no statistically significant differences in oil yield, and on average were obtained in the laboratory and in the distillery 1.34% and 1.15% respectively. The content of linalool found was higher in the oil extracted from trees of 10 years, obtained from the distillery (88.05%), followed by the oil obtained from the planting of 20 years in the laboratory (83.87%). The lowest content of linalool was found in the oil extracted from the planting of 4 years of age in the oil obtained in the laboratory (73.19%). The content of essential oil and linalool on the branches and leaves, showed that it is profitable to extract oil from the pruning. In addition, the raw material of oil can be obtained from commercial homogeneous plantations on degraded areas and/or idle.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Na Amazônia existe um grande número de espécies vegetais com potencial de gerar renda e emprego melhorando as condições socioeconômicas dos moradores desta região. O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), pertence à família Lauraceae, é uma espécie florestal produtora de óleo aromático usado na indústria de perfumaria fina e cosmético. Durante décadas esta espécie foi explorada para a extração do linalol, constituinte do óleo, produto valorizado no mercado pelo seu uso como fixador de perfumes. O óleo é destilado tanto da madeira quanto dos galhos e folhas e possui grande demanda na indústria de perfumaria fina mundial.

O uso desta espécie seguiu o modelo extrativista de exploração predatória clássica, onde o maior lucro em um menor tempo foi o único propósito dos empreendedores extrativistas e do mercado internacional. Este tipo de extrativismo ocasionou o corte indiscriminado tanto de plantas jovens quanto adultas, impossibilitando a regeneração natural e a recomposição das populações. Os princípios de sustentabilidade nunca foram considerados e nos estados do Amapá, Pará e em grande parte do Amazonas, a drástica redução das populações naturais levou a espécie ao *status* de ameaçada de extinção, sendo colocada na lista da CITES.

O esgotamento das populações naturais pode ser observado considerando que, de 1937 a 2002, foram exportadas quase 13 mil toneladas de óleo essencial de pau-rosa. Sabe-se que 18 a 20 toneladas de madeira são necessárias para produzir um tambor de óleo (180 kg). O diâmetro das árvores extraídas variava de 30 a 60 cm e as estimativas de rendimento variavam de 0,7% a 1,1% de óleo do peso da madeira em tora de pau-rosa. Assim, é necessária uma tonelada de tora para produzir 10 kg de óleo essencial de pau-rosa. Estimando a distribuição média de uma árvore para cada cinco hectares e que, no mínimo, 825 mil árvores foram abatidas, pode-se concluir que mais de 4 milhões de hectares de matas foram explorados (Homma, 2005).

A produção de óleo de pau-rosa no Peru, na Colômbia e nas Guianas, onde a espécie também ocorre, declinou até quantidades desprezíveis após o advento do linalol sintético. Atualmente, o estado do Amazonas é o único produtor (FAO, 1995). A dependência da extração de pau-rosa dos estoques de árvores existentes na natureza tornou-se fator limitante para a valorização do óleo no mercado internacional, e a atual

política do governo federal é ordenar a exploração das populações remanescentes, exigindo dos extratores de óleos planos de manejo e plantios de compensação. No Estado do Amazonas, a Instrução Normativa SDS 002/2006, com novas regras que fazem parte das diretrizes do Programa Zona Franca Verde, 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, 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.

Este cenário nos motivou a desenvolver este trabalho de pesquisa com base nas seguintes perguntas: O pau-rosa é uma espécie que pode ser plantada em áreas degradadas na Amazônia central? Plantios de pau-rosa podem ser manejados pela poda da copa das árvores visando a extração do óleo de galhos e folhas?

Na Amazônia, existem áreas degradadas pela agricultura e pecuária que perdem sua capacidade produtiva e quando abandonadas transformam-se em áreas ociosas. Estas áreas podem ser destinadas para plantios de espécies florestais com valor econômico, a exemplo do pau-rosa, que além de agregar valor à área parece desenvolver-se bem nestes ambientes devido às suas características ecológicas.

Resultados promissores indicam que plantios de pau-rosa a plena abertura no município de Maués, apresentaram elevada sobrevivência e crescimento (Takeda, 2008). As árvores deste plantio após a poda da copa apresentaram grande número de rebrotas, constituindo-se uma fonte renovável de biomassa para obtenção do óleo, com baixo custo de exploração tornando-se uma alternativa econômica para o produtor que deseja investir em plantios ex situ desta espécie.

Entretanto ainda são incipientes informações a respeito da maneira correta de realizar o manejo dos solos que comportam plantios de Pau-rosa, a influencia em suas propriedades físicas e químicas, assim como o uso e a resposta de produtividade dos plantios à adubação mineral e orgânica.

O objetivo geral deste trabalho foi conduzir estudos sobre plantios de pau-rosa, de tal forma que essa dissertação esta dividida em dois capítulos: O primeiro constituído de estudos sobre os solos outrora utilizados pelas atividades agrícola e pecuária, que hoje comportam plantios de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos de idade. As propriedades físicas e químicas desses solos foram comparadas com os solos de uma capoeira de 15 anos de idade e com o solo de uma floresta secundária tardia de aproximadamente 60 anos. O termo capoeira, quando utilizado nesta dissertação, no sentido amplo refere-se à

vegetação secundária. O capítulo traz ainda informações a respeito da nutrição dos plantios, de acordo com a química do solo.

O segundo capítulo é constituído de estudos do peso verde da copa dos plantios das diferentes idades, o rendimento em óleo obtido da biomassa seca pelo método tradicional de arraste a vapor utilizado na destilaria produtiva e também o rendimento em óleo obtido pelo método de hidrodestilação de Clevenger, em laboratório. O capítulo é finalizado com uma análise prévia da qualidade dos óleos e do retorno financeiro.

As conclusões geradas a partir deste estudo indicarão se o pau-rosa é uma espécie que pode ser plantada em áreas degradadas, revelando as influências da cultura nas propriedades físicas e químicas dos solos com histórico de uso agrícola e pecuário, através da interação solo-planta, com ênfase na nutrição e no uso de folhas e galhos das árvores para obtenção de óleo essencial em plantios comerciais de diferentes idades e espaçamentos.

Estes resultados serão de grande valia no avanço dos conhecimentos científicos que auxiliarão nos programas de plantio, conservação e manejo do pau-rosa, subsidiando as tomadas de decisão e contribuindo desta maneira para a elaboração de políticas e para o uso sustentável da espécie.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a produtividade de plantios de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) manejados pela poda da copa com diferentes idades sob áreas degradadas pela agricultura e pecuária no município de Maués, AM, Brasil.

2.2. Objetivos específicos

1. Constatar se a espécie pode ser utilizada em programas de recuperação de áreas degradadas.
2. Quantificar atributos físico-químicos do solo e nutricionais de plantios de pau-rosa, verificando as condições de solo em relação à ambientes espontâneo.
3. Correlacionar atributos químicos do solo e nutricionais das árvores de pau-rosa.
4. Quantificação da biomassa de galhos e folhas e as características dendrométricas das árvores de pau-rosa de diferentes idades.
5. Comparar o rendimento e a qualidade do óleo obtido de diferentes idades por diferentes métodos de extração.
6. Realizar estudos preliminares de rentabilidade econômica.

CAPITULO I

PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DE SOLOS COM HISTÓRICO DE DEGRADAÇÃO SOB PLANTIOS HOMOGÊNEOS DE PAU-ROSA.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo verificar a influência de plantios homogêneos de pau-rosa sobre solos com histórico de uso por atividade agrícola e pecuária. Os plantios localizam-se no município de Maués, estado do Amazonas, Brasil, entre as coordenadas geográficas de 03°32'44'' latitude Sul e 57°41'30'' de longitude Oeste. A pluviosidade média anual é de 2.000 mm e o solo predominante da propriedade é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. Foram realizadas coletas de solo até 40 cm de profundidade para a caracterização química e até 20 cm para as propriedades físicas do solo em cinco sítios: Plantios de pau-rosa, capoeira com aproximadamente 15 anos e ambiente de floresta secundária tardia com cerca de 60 anos, os dois últimos utilizados como parâmetro de comparação. Os perfis dos solos indicaram que os sítios são passíveis de comparação por pertencerem à mesma classe de solo (Latosolo Vermelho Amarelo Distrófico) e que todas as áreas sofreram queimadas, vide os resquícios de carvão observados. Os plantios de 4 e 10 anos estão plantados no espaçamento 3,0 m x 4,0 m, com 334 árvores e o plantio de 20 anos com 200 árvores no espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. Dentro de cada sítio distribuimos 10 pontos de amostragem, transformando 10 amostras simples em cinco compostas por profundidade. Amostras de folhas das árvores de pau-rosa foram coletadas para determinação do *status* nutricional das plantas. Análises de componentes principais (ACP) foram usadas para reduzir a dimensionalidade dos dados de química, física e de nutrição, e, posteriormente, análises da Variância (ANOVA) foram realizadas para testar se os sítios diferenciaram-se em termos de propriedades físicas e químicas do solo. Com base nos dados de física do solo, a ACP indicou que o plantio de 4 anos se diferencia dos demais principalmente devido a sua classe textural diferenciada pelo teor de argila, que teve maior correlação com o componente principal 1 nas duas profundidades (0 -10 cm e 10 – 20 cm). A ANOVA para os dados de densidade do solo e porosidade indicou haver diferença estatística significativa ($p < 0,01$) entre os sítios. Para o gradiente de fertilidade do solo definido pela ACP foi observado diferenças significativas entre os sítios em todas as profundidades, principalmente devido aos teores de magnésio, cálcio, fósforo e nitrogênio que obtiveram maiores correlações com a CP 1, tendo o plantio de 4 anos os maiores teores desses elementos. Os resultados deste estudo mostram que as condições de solo sob os plantios de pau-rosa são similares às condições de solo da capoeira e da floresta estudadas, permitindo concluir que este tipo de solo pode ser usado para plantios comerciais de pau-rosa.

1. INTRODUÇÃO

As áreas degradadas referem-se a ecossistemas alterados, onde perdas ou excessos são as formas mais comuns de perturbações e degradações ambientais. A retirada da cobertura vegetal, dependendo da forma e da intensidade, pode ser considerada uma degradação ou uma perturbação ambiental. Áreas degradadas, atualmente são geradas continuamente e apresentam-se com várias feições (Rodrigues, 2007).

O sistema tradicional de exploração da terra com culturas agrícola, pecuária e florestal acarretou ao longo do tempo a redução da qualidade das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Esses processos de exploração iniciam-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subseqüentes, promovendo a exposição direta do solo aos fatores climáticos, resultando em erosão, perda de nutrientes por transporte químico, redução dos teores de matéria orgânica e destruição da estrutura original (Souza & Melo, 2000; Perin *et al.*, 2000), o que propicia a degradação. O impacto mecânico das gotas de chuva (efeito “*splash*”) desagrega a estrutura superficial do solo, resultando na diminuição da fração porosa do solo, diminuindo a infiltração.

O índice atual e a extensão acumulativa do desmatamento abrange áreas enormes, o índice é frequentemente discutido no Brasil em termos de “Bélgicas”, já que a perda anual equivale à área desse país (Fearnside, 2005). Dados do INPE (2011) realizados com o sistema DEGRAD, apontam que o levantamento final de áreas degradadas na Amazônia Brasileira em 2007, 2008 e 2009 atingiu a magnitude acumulada de 56.697 Km².

Existem fortes evidências que o desmatamento provoca alterações não somente acima e abaixo da paisagem vegetacional, como também acarreta significantes mudanças nas propriedades físicas, químicas e nos ciclos bioquímicos dos solos dos diferentes ecossistemas (Paul *et al.*, 2010). As mudanças que ocorrem nas propriedades físicas do solo em consequência da degradação incluem o aumento da densidade do solo, o decréscimo no volume de macroporos, a redução na velocidade de infiltração e no movimento interno de água, a redução na aeração e aumento da resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes. A compactação, por exemplo, reduz o crescimento das plantas, seja por falta ou excesso de água e/ou por deficiência na absorção de nutrientes pelo sistema radicular (Castro, 1995).

Têm sido reportado de maneira bem conhecida algumas mudanças nas propriedades químicas dos solos, a exemplo do baixo teor de nitrogênio total (rasia *et al.* 2004), decréscimo dos níveis de nitrato (Picolo *et al.* apud Paul *et al.*, 2010) e alterações na capacidade de mineralização e nitrificação do nitrogênio e hoje já existe um consenso que o reflorestamento pode restaurar estoques de nitrogênio do solo (Lamb, 1980; Robertson, 1984;. Vitousek *et al.*, 1989 apud Paul *et al.*, 2010).

Outros estudos relatam os impactos do desmatamento nas propriedades do solo relacionadas com o carbono, porém esses são mal compreendidos, apresentando resultados contraditórios. Embora o desmatamento tenha demonstrado resultar em uma diminuição do carbono do solo (Lugo e Brown,1993; vanNordwijk *et at.*, 1997 apud Paul *et al.*, 2010), alguns estudos também encontraram um aumento de carbono no solo após a conversão da floresta para pastagem (Chone *et al.*. 1991,GuoeGifford,2002). Para outras propriedades do solo, tais como a densidade do solo, que também tem relação com o carbono orgânico, estudos de impactos do desmatamento mostram padrões consistentes, com valores geralmente superiores em pastagem do que na floresta (Reiners *et al.*, 1994;. Neill *et al.*, 1997a.;Rasiah *et al.*, 2004;. Zheng *et al.*, 2005 apud Paul *et al.*, 2010).

Os problemas relacionados às áreas degradadas podem ser atenuados ou mesmo solucionados a partir de programas de recuperação, restauração e enriquecimento, englobando também desenvolvimento local e obtenção de recursos naturais a partir de áreas com povoamentos implantados, diminuindo as pressões sobre os ecossistemas nativos. Essas práticas, proporcionam a proteção do solo contra a erosão, evita o transporte de sedimentos via escoamento superficial ou “*run-off*”, o transporte de nutrientes, proporcionam a ativação da ciclagem de nutrientes e o fornecimento de matéria orgânica via produção de serrapilheira, além da melhoria das demais características físicas, químicas e biológicas do solo, consideradas um importante indicador de sustentabilidade de plantios florestais.

Considerando as condições de solos na Amazônia, de fato, quase todas as reservas de nutrientes exigidas pelas plantas estão contidas na fitomassa acima do nível do solo. Periodicamente, uma parte desta fitomassa cai, é rapidamente mineralizada e, os nutrientes liberados são imediatamente reabsorvidos pelas raízes.

Agrupando então as características físicas de um solo com as características químicas e também as biológicas, pode-se então chegar a uma conclusão sobre a qualidade do solo, que pode ser definida como sendo a capacidade de um tipo específico

de solo para funcionar, dentro dos limites de um ecossistema natural ou sob manejo, e suportar a produtividade animal ou vegetal, mantendo ou melhorando as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, contribuindo para a saúde humana e habitação. Os solos possuem uma variabilidade natural em relação a sua funcionalidade, assim, a qualidade do solo é específica para cada tipo de solo (Karlen *et al.*, 1997).

O *status* nutricional e as condições dos solos em plantios de pau-rosa serão abordados neste capítulo com vistas a contribuir nas tomadas de decisão quanto ao uso da espécie em programas de reflorestamento em áreas degradadas pela atividade agrícola e pecuária. Esses plantios podem não só representar uma opção de uso em áreas degradadas, ociosas ou subutilizadas como também podem promover o desenvolvimento local através da criação de empregos e geração de renda.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área estudada localiza-se no município de Maués, estado do Amazonas, Brasil, entre as coordenadas geográficas de 03°32'44'' latitude Sul e 57°41'30'' de longitude Oeste. Distante a 267 km em linha reta e 356 km por via fluvial de Manaus (City Brazil, 2010). A propriedade pertence ao Sr. Zanone Magaldi, e o acesso é através da Avenida Antártica, localizada na área urbana de Maués.

O clima característico da região é do tipo Am da Amazônia e subtipo AN de transição, quente e úmido (Köppen). As chuvas são regulares e abundantes no município, ocorrendo com mais frequência no período de janeiro a julho, com baixas precipitações de agosto a dezembro, época de verão na região, com média pluviométrica anual de 2.000 mm (City Brazil, 2010).

O solo da região é muito diversificado, apresentando solos profundos, de bem a excessivamente drenados, bastante porosos, tendo pequena variação textural e pouca diferenciação entre os horizontes. De modo geral, as classes de solos constituem-se de Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho com afloramento (City Brazil, 2010).

2.2. Caracterização dos plantios de pau-rosa, da capoeira e da floresta.

A propriedade foi adquirida em 1940, ocasião em que na área prevalecia a vegetação de floresta primária. Em 1950, a floresta foi derrubada para iniciar os plantios de guaraná; na década de 70, os plantios foram utilizados também como pastos; e somente na década de 90 iniciaram-se os plantios de pau-rosa. Hoje a propriedade é constituída de plantios de pau-rosa, capoeiras e áreas de floresta secundária tardia.

As sementes utilizadas nos plantios foram compradas de pequenos agricultores residentes em áreas próximas a cidade de Maués, coletadas de diferentes matrizes de populações naturais. Após a coleta, as sementes de todas as matrizes foram misturadas e o lote vendido para o proprietário da área. Após o beneficiamento, as sementes foram postas para germinar em sementeiras e, posteriormente, as mudas foram repicadas para sacos de polietileno de 1 Kg contendo como substrato mistura de argila e terra da floresta, na proporção 1:1. As mudas permaneceram no viveiro durante 270 dias e posteriormente foram levadas até a área definitiva de plantio. Após o plantio, no primeiro ano as mudas ficaram sob coberturas de palha evitando a luz solar direta. Após 12 meses, as coberturas de palha foram retiradas e as mudas expostas a 100 % de radiação solar.

Atualmente a propriedade apresenta seis plantios de pau-rosa, com idades diferentes (4, 6, 8, 10, 14 e 20 anos), áreas abandonadas com fisionomia de capoeira e áreas de floresta secundária tardia, além de uma usina de destilação. Para objeto deste estudo foram avaliados três plantios com diferentes idades: Um plantio jovem com 4 anos, um plantio com idade intermediária de 10 anos e um plantio com maturidade mais avançada com 20 anos de idade, além das áreas de capoeira e floresta. A localização exata georreferenciada dos cinco sítios estudados encontra-se na tabela 1.

Tabela 1: Localização geográfica dos plantios de pau-rosa, capoeira e da floresta.

Sítio	Coordenadas
Capoeira	03°40'42'' latitude Sul 57°70'42'' longitude Oeste
Plantio 4 anos	03°40'50'' latitude Sul 57°70'15'' longitude Oeste
Plantio 10 anos	03°40'48'' latitude Sul 57°70'14'' longitude Oeste
Plantio 20 anos	03°40'33'' latitude Sul 57°69'96'' longitude Oeste
Floresta	03°40'27'' latitude Sul 57°69'90'' longitude Oeste

O plantio de 4 anos foi instalado em 2005, em área aberta. A área de aproximadamente 0,4 ha possui 334 árvores, plantadas no espaçamento de 3,0 m x 4,0 m.

O plantio de 10 anos de idade foi instalado em 1999, em área aberta, nas mesmas condições do plantio de 4 anos, com plena exposição à radiação solar. Possui a mesma área e organização espacial do plantio de 4 anos. Os plantios estão localizados um ao lado do outro, separados pela estrada de acesso que apresenta cerca de 5,0 m de largura, apresentando terreno plano em toda extensão.

O plantio de 20 anos de idade foi instalado em 1990, em área aberta, nas mesmas condições de cobertura com palha do plantio de 4 e 10 anos. A área de aproximadamente, 0,5 ha possui 200 árvores, plantadas no espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. O plantio localiza-se cerca de 100 metros do plantio de 10 anos, sendo o acesso pela mesma estrada que separa os plantios de 4 e 10 anos.

A área de capoeira encontra-se adjacente às áreas de plantio de pau-rosa com 4 e 10 anos de idade. Quando foi iniciada a atividade agrícola com plantios de guaraná a área foi inteiramente desmatada e posteriormente utilizada para comportar essa cultura. Cerca de 15 anos atrás foi abandonada e hoje apresenta-se em processo de regeneração natural, com fisionomia de capoeira.

A floresta secundária tardia da propriedade encontra-se adjacente ao plantio de 20 anos, estando de maneira contínua no espaço, ou seja, não há qualquer separação entre um ambiente e outro.

2.3. Amostragem

2.3.1. Física do solo

A amostragem para a determinação da porosidade, densidade e granulometria do solo, foi realizada até 20 cm de profundidade (0 – 10 cm e 10 – 20 cm). Com auxílio de um anel volumétrico de 99,23 cm³ (diâmetro interno = 49,83 mm e altura média = 50,89 mm) foram coletadas 10 amostras por profundidade (10 repetições) por sítio (capoeira, plantios de 4 anos, 10 anos, 20 anos e floresta secundária tardia), resultando 20 amostras por sítio, totalizando 100 amostras. Para fins de determinação de granulometria de cada sítio, grupos de 10 amostras foram misturadas e homogeneizadas, dando origem a 3 amostras compostas, resultando em 6 amostras compostas por sítio, totalizando 30 amostras. As coletas foram aleatorizadas com caminhamento em ziguezague dentro de cada sítio (figura 1), buscando-se ao máximo uma boa representatividade de cada área. Durante a coleta procurou-se evitar o efeito de borda, concentrando a amostragem no centro dos talhões. Para a classificação do solo foi aberta uma trincheira no centro de cada sítio, com dimensões de 1,5 x 1,5 x 2,0 m.

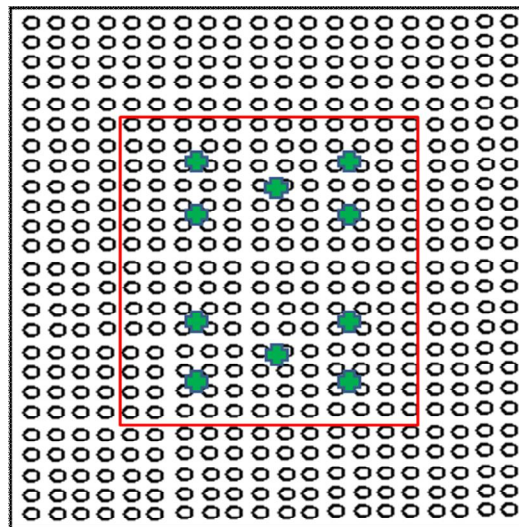


Figura 1: Representação dos pontos aleatórios de coleta do solo no interior de cada sítio em estudo.

2.3.2. *Química do solo*

Para cada sítio foi realizada a coleta de solo até 40 cm de profundidade (0-10; 10-20; 20-30; 30-40 cm). Com auxílio de um trado de rosca foram coletadas 10 amostras simples por profundidade por sítio (capoeira, plantios de 4 anos, 10 anos, 20 anos e floresta secundária tardia), totalizando 40 amostras simples por sítio. Cada 10 amostras simples foram homogeneizadas, constituindo 5 amostras compostas, totalizando 20 amostras compostas por sítio, o que resulta em 100 amostras compostas. As coletas foram feitas em locais aleatorizados dentro de cada sítio, traçando-se um caminamento em ziguezague, buscando-se ao máximo uma boa representatividade de cada área. Durante a coleta procurou-se evitar o efeito de borda, concentrando a amostragem no centro dos talhões, seguindo o mesmo esquema de amostragem utilizado para determinação dos parâmetros físicos do solo. As determinações químicas realizadas foram: Carbono orgânico (C), Nitrogênio total, pH em água, pH em KCl, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , H+Al, Mn^{2+} , Zn^{2+} e Fe^{2+} (Embrapa, 1997).

2.3.3. *Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.*

Amostras de folhas de árvores de pau-rosa das três diferentes idades (4, 10 e 20 anos) foram coletadas nos quatro pontos cardeais do terço médio da copa de cada planta, evitando assim folhas juvenis e em estado de maturidade avançado. A copa da árvore foi dividida em quatro projeções, sendo realizada a coleta de três folhas em cada, evitando assim a heterogeneidade em relação à insolação, como mostra a Figura 2. Cada 12 folhas representaram uma amostra simples, sendo realizadas quatro amostras simples por indivíduo. No total foram 40 amostras simples por sítio, que compuseram 10 amostras compostas por sítio.

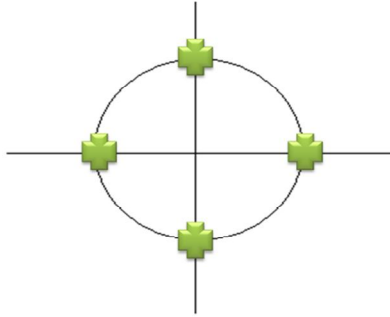


Figura 2: Desenho esquemático da coleta de folhas nas árvores (vista superior).

2.4. Descrição das técnicas utilizadas

2.4.1. Física do solo

As amostras foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de diâmetro para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), utilizada nas análises químicas e granulométricas. As análises físicas realizadas foram: granulometria, densidade do solo (D_s) e porosidade do solo (α). A densidade do solo foi calculada a partir da expressão:

$$\rho_s = \left(\frac{m_{ss}}{v_t} \right)$$

Onde, ρ_s = densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); m_{ss} = Massa de solo seco a 105 °C por 24 horas (gramas) e V_T = Volume do anel volumétrico (cm^3).

A porosidade total do solo (α) foi estimada a partir dos valores de D_s e D_p por meio da expressão:

$$\alpha = \left[1 - (\rho_s / \rho_p) \right] \times 100$$

Onde α = Porosidade total do solo (%); ρ_s = Densidade do solo (g cm^{-3}); ρ_p = Densidade das partículas (g cm^{-3}), sendo considerada como $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, valor correspondente a densidade que mais se repete em solos de clima tropical.

Para as análises granulométricas foram adotados os seguintes limites: areia (AG): 2-0,05 mm; 0,2-0,05 mm; silte: 0,05-0,002 mm e argila: $< 0,002 \text{ mm}$ (SBCS).

2.4.2. Classificação do solo

As descrições dos perfis do solo foram feitas seguindo o manual de descrição e coleta do solo no campo (2005). Nas áreas escolhidas foram descritos cinco perfis representativos em trincheiras, situados no centro de cada ambiente. A caracterização morfológica dos perfis seguiu os critérios estipulados por Lemos & Santos (1996). A classificação dos solos foi realizada de acordo com os critérios estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999) e atualizada para o sistema atual (Embrapa, 2006).

2.4.3. Análises químicas das amostras de solo

As determinações analíticas foram feitas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA. Depois de transformadas em (TFSA) as amostras foram encaminhadas ao laboratório para início das análises. A obtenção dos teores de macro e micronutrientes foi feita da seguinte forma para cada elemento:

1) $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ e pH_{KCl}

O pH foi medido com um eletrodo de vidro em solução de solo com relação de 1:25 em água destilada e KCl 1 M.

2) C

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

3) N

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

4) P

Utilizando o método molibdato de amônio. Sua leitura foi realizada no espectrofotômetro UV-VIS-120-01 (EMBRAPA, 1999);

5) K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn .

Por meio da metodologia traçada no manual de métodos de análises do solo (Embrapa, 1997). Os teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, em chama de ar-acetileno. As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA.

6) Estoque de Carbono no solo

O estoque de carbono do solo foi calculado para cada profundidade, a partir dos dados de densidade do solo, carbono orgânico e espessura da camada. Para o cálculo, utilizou-se a fórmula:

$$\text{Est C} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{e})/10, \text{ onde:}$$

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t ha^{-1}).

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1}).

Ds = densidade do solo da profundidade (Mg m^{-3}).

e = espessura da camada considerada (cm).

2.4.4. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa

As amostras coletadas da copa da árvore foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas, INPA. Em seguida,

foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada e temperatura controlada entre 60-65 °C, por um período mínimo de 72 horas, até atingir peso constante. Após a secagem, o material foi moído em moinho de facas e posto em frascos de polietileno. Esse processo foi repetido para as 30 amostras compostas (10 por plantio). A obtenção dos teores de macro e micronutrientes foi feita da seguinte forma para cada elemento:

1) C

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

2) N

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

3) P

Utilizando o método molibdato de amônio. Sua leitura foi realizada no espectrofotômetro UV-VIS-120-01 (EMBRAPA, 1999);

3) K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn .

Por meio de obtenção do extrato por via úmida (solução digestora nitroperclórica: HNO₃ e HClO₄ concentrados, na relação 2:1), segundo Malavolta *et al.*, (1997). Os teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, em chama de ar-acetileno. As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA e Laboratório de Análise de Solos e Plantas da EMBRAPA.

2.5. Análise dos dados

Para testar o efeito do plantio de pau-rosa sobre o solo em termos de propriedades físicas e químicas (densidade do solo, porosidade, textura e todos os macro e micronutrientes) foi inicialmente realizadas Análises de Componentes Principais (ACP), método que permite a redução da dimensionalidade dos dados. Segundo NETO & MOITA (1997) a análise de componentes principais consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geram, através de suas

combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante. Através dos escores obtidos das duas primeiras componentes principais, que resumem a parte da variação dos dados originais pode ser construídos gráficos de dispersão que mostram a distribuição dos pontos amostrais ao longo do gradiente gerado pela ACP. Além disso, os escores de cada eixo podem ser correlacionados com cada variável original a fim de se obter os *loadings* a fim de evidenciar quais das variáveis originais determinaram o gradiente na combinação linear dos primeiros componentes principais. Desta forma, quanto maior a correlação (*loading*) maior influência uma determinada variável representa (NETO & MOITA 1997). Os escores dos componentes (eixos) 1 e 2 foram usados para testar os efeitos de plantio através de Análises de Variância.

Os dados de física do solo foram discutidos com base em análises da variância (ANOVA) sendo realizadas separadamente por variável e profundidade (porosidade e densidade) e também análises da variância realizadas com os “scores” da ACP (para o caso da granulometria). Sempre que a ANOVA apresentou significância ao nível de 5%, realizamos os testes de comparação de médias. Nos dois tipos de tratamentos de dados a pergunta pertinente deste trabalho pôde ser elucidada. Outros dados a exemplo das descrições de perfis no campo foram meramente descritivos, servindo de base para justificar os resultados e as comparações feitas. Com essas descrições tornou-se possível a comparação dos cinco sítios em questão, tendo em vista a mesma classificação do solo, condições de drenagem e relevo, tanto em condições de plantios sob manejo quanto nas áreas naturais de regeneração e floresta secundária tardia.

Para os dados de estoque de Carbono no solo, foi feita uma ANOVA simples para verificação de diferenças entre os sítios. O cálculo do estoque envolve dados da física do solo e da química, e por isso foi realizado até 20 cm de profundidade.

Para a análise da nutrição das árvores de pau-rosa, foram utilizadas as mesmas análises realizadas para as características físicas e químicas do solo, porém somente com os três sítios sob manejo (plantios). Para identificação do comportamento dos dados de nutrição em relação aos dados de química do solo, foi feita uma correlação simples entre os “scores” gerados da ACP para o solo nas duas primeiras profundidades (onde há maior concentração de raízes) com os “scores” gerados na ACP do tecido

foliar. Todas as análises de componentes principais foram feitas com o auxílio do software *past*, as demais análises com o uso do *Systat 12*. O histórico da área, como a adubação utilizada, tempo de plantio, espaçamento e manejo foi levantado para melhor embasamento das discussões, tendo em vista os resultados.

3. RESULTADOS

3.1. Física do solo

Os resultados de granulometria, densidade do solo e porosidade estão apresentados nas tabelas 2, 3 e 4. O maior percentual de areia foi encontrado para a área de capoeira na profundidade de 0-10 cm e o menor foi encontrado para o plantio de 4 anos na profundidade de 10-20 cm. Os maiores valores percentuais de argila (620 g kg^{-1} e 600 g kg^{-1}) foram encontrados para o plantio de 4 anos, enquanto a área de floresta caracteriza-se pelo menor valor percentual dessa partícula mineral, os valores de silte complementaram reciprocamente a distribuição das partículas minerais. Todos os sítios em questão foram enquadrados na classe textural argilosa, exceto o sítio que comporta o plantio de 4 anos, que enquadra-se na classe muito argilosa (acima de 600 g kg^{-1} de argila), ficando na região limítrofe entre uma classe textural e outra.

Tabela 2: Granulometria dos solos dos cinco sítios em estudo no município de Maués.

Área	Profundidade	Areia	Silte	Argila
	cm			
Capoeira	0 – 10	492,2	83,6	424,2
	10 – 20	439,6	83,1	477,3
Plantio 4 anos	0 – 10	279,1	117,7	603,2
	10 – 20	253,0	121,9	625,2
Plantio 10 anos	0 – 10	447,6	99,0	453,3
	10 – 20	396,3	91,4	512,3
Plantio 20 anos	0 – 10	415,6	104,8	479,7
	10 – 20	374,1	92,4	533,5
Floresta	0 – 10	484,4	98,6	417,0
	10 – 20	448,5	99,3	452,2

O eixo 1 da ACP com os dados de granulometria para a profundidade de 0 a 10 explicou 88,42% da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com maior teor de argila e sítios com maior teor de areia, cujas correlações com o componente (eixo) 1 foram maiores (Tabela 3). O componente 2 explicou apenas 11,57% e determinou um gradiente de silte (Tabela 3). O mesmo padrão foi encontrado para a profundidade de 10-20 cm, cujos eixos explicaram 87,96% e 12,04%, respectivamente.

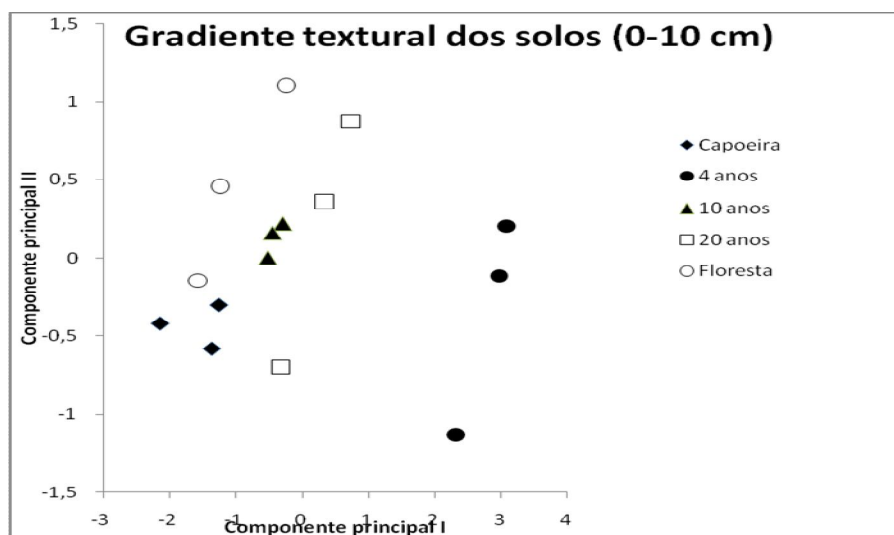


Figura 3: Diagrama da ACP com os dados de textura dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 0-10 cm.

O diagrama da ordenação dos pontos amostrais (Figuras 3 e 4) mostram uma clara diferenciação do plantio de 4 anos com relação aos demais sítios, principalmente ao longo do gradiente de textura definido pelo eixo 1. De fato, a ANOVA feita com os “scores” da componente 1, para as duas profundidades, revelou diferenças significativas entre os sítios ($p < 0,01$), com destaque para o plantio de 4 anos que se diferenciou de todos os demais (apêndice B).

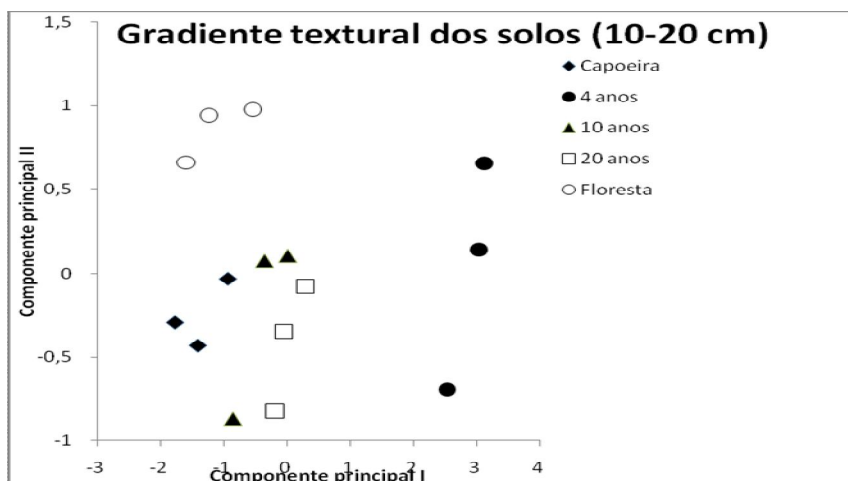


Figura 4: Diagrama da ACP com os dados de textura dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade 10 a 20 cm.

Tabela 3: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.

	Profundidade	Informação estatística (%)	Correlação		
			Areia	Silte	Argila
CP 1	0-10 cm	88,42	-0,9871	0,8706	0,9594
	10-20 cm	87,96	-0,9889	0,8664	0,9542
CP 2	0-10 cm	11,57	-0,2819	0,4920	0,1599
	10-20 cm	12,04	0,1489	0,4992	-0,2991

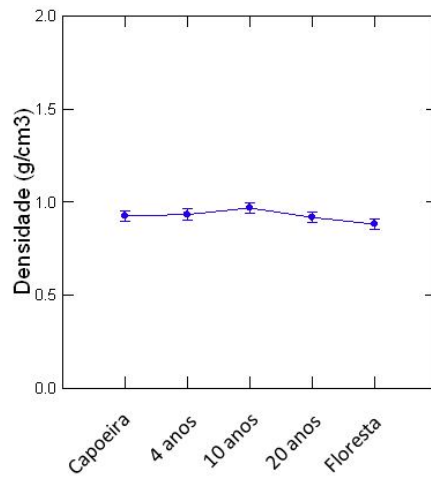
Quanto aos valores de densidade (tabela 4), o maior foi encontrado para a área de floresta na profundidade de 10 a 20 cm ($0,99 \text{ Mg m}^{-3}$) e o menor foi encontrado para o plantio de 4 anos na profundidade de 10 a 20 cm ($0,81 \text{ Mg m}^{-3}$). Observa-se que para os plantios de 4 e 10 anos de idade a densidade mostrou tendência diferenciada em relação aos demais sítios, tendo valores menores nas camadas mais profundas.

Tabela 4: Dados de densidade e porosidade dos cinco sítios dentro da propriedade em Maués.

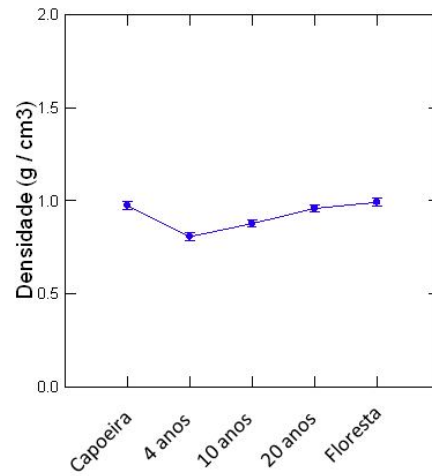
<i>Área</i>	<i>Profundidade (cm)</i>	<i>Densidade do solo (Mg m⁻³)</i>	<i>Porosidade total (%)</i>
Capoeira	0 - 10	0,93	65,04
	10 - 20	0,97	63,22
4 anos	0 - 10	0,93	64,76
	10 - 20	0,81	69,51
10 anos	0 - 10	0,97	63,44
	10 - 20	0,88	66,85
20 anos	0 - 10	0,92	65,35
	10 - 20	0,96	63,78
Floresta	0 - 10	0,88	66,71
	10 - 20	0,99	62,56

Os valores de porosidade do solo estão todos compreendidos na faixa entre 60 e 70%, sendo o maior (69,51%) na área do plantio de 4 anos e o menor na área de floresta (62,56%), ambos na profundidade de 10 a 20 cm (tabela 5). Observa-se que os valores de porosidade acompanham as tendências observadas para a densidade, com destaque para o aumento da porosidade de acordo com o aumento da profundidade nos plantios de 4 e 10 anos de idade.

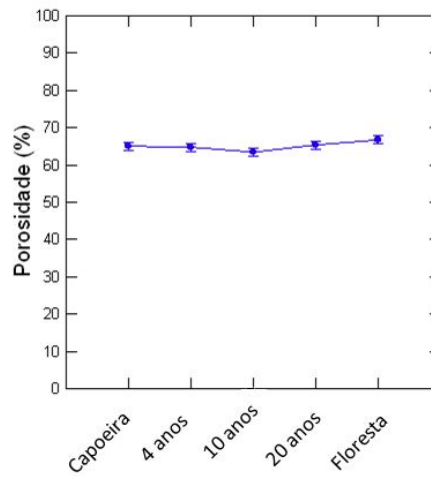
A ANOVA feita com os dados de densidade e porosidade indica haver diferença estatística significativa ($p < 0,01$) somente na profundidade de 10 a 20 cm entre os cinco sítios em questão (figura 5). O teste de comparação de médias dos cinco sítios pode ser visto no apêndice C. Para a camada de 0 a 10 cm os menores valores de densidade e os maiores valores de porosidade foram encontrados para a floresta. Os valores de F e p se repetem, pois o cálculo da porosidade toma como base a densidade do solo. Para a camada de 10 a 20 cm os menores valores de densidade e os maiores valores de porosidade foram observados no solo do plantio de 4 anos. Para esta profundidade as diferenças foram estatisticamente significativas (figura 5 e apêndice C) Nota-se o comportamento inverso dos parâmetros, pois quanto menor a densidade do solo mais poroso será.



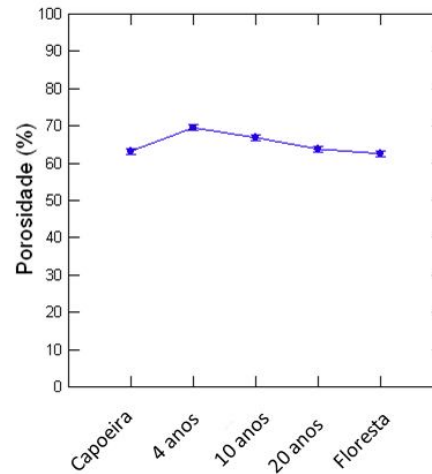
(a) $F= 1,157$; $p = 0,342$



(b) $F= 14,39$; $p < 0,01$



(c) $F= 1,157$; $p = 0,342$



(d) $F= 14,39$; $p < 0,01$

Figura 5: Gráficos das análises de variância para densidade e porosidade dos cinco sítios. (a) Densidade de 0 a 10 cm; (b) Densidade de 10 a 20 cm; (c) Porosidade de 0 a 10 cm e (d) Porosidade de 10 a 20 cm.

Quanto as descrições dos perfis, estas podem ser vistas no anexo 1 do presente capítulo. As fotos dos perfis e da vegetação acima do solo podem ser vistas na figura 6. A classificação do solo dos cinco sítios é igual e compreende o Latossolo Vermelho-amarelo, segundo o sistema brasileiro de classificação do solo (Embrapa, 2006). A classificação levou em consideração a presença do horizonte B Latossólico, este caracterizado por ser mineral, subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explicita pela alteração quase completa dos minerais primários menos resistentes. O horizonte B Latossólico deve apresentar espessura

mínima de 50 cm e ter uma relação silte/argila inferior a 0,6 para solos argilosos. Na maioria dos casos os subhorizontes do B atingem profundidade de até 200 cm (SBCS, 2006).



Figura 6: Perfis dos solos dos cinco sítios. (a) Plantio de 4 anos; (b) Plantio de 10 anos; (c) Plantio de 20 anos; (d) Capoeira e (e) Floresta secundária tardia.

O limite superior do Horizonte B Latossólico é difícil de ser identificado no campo, por apresentar muito pouco contraste de transição com o horizonte que o precede, verificando-se nitidez de contraste quase que somente de cor e de estrutura

entre a parte inferior do horizonte A e o horizonte B Latossólico (apêndice A) (SBCS, 2006).

Em síntese o horizonte B Latossólico é subsuperficial, que não apresenta características diagnósticas de horizontes glei, B textural, B nítico e horizonte plíntico encontra-se presente abaixo de qualquer horizonte diagnóstico superficial, exceto o hístico e deve atender as seguintes características: Estrutura pequena a pequena granular, ou blocos sub angulares fracos ou moderados; espessura mínima de 50 cm; menos de 5% do volume que mostre estrutura da rocha original; textura franco arenosa ou mais fina e menos de 4% de minerais primários alteráveis ou menos de 6% de muscovita na fração areia (SBCS, 2006).

Com relação à cor do Latossolo, que são as classes de nível categórico (subordens), os Latossolos podem ser divididos em 4 classes: Latossolos Brunos; Amarelos; Vermelhos e Vermelho- amarelos. A primeira classe compreende solos com matiz 4 YR; A segunda são solos com matiz 7,5 YR; A terceira compreende os solos com matiz 2,5 YR e a quarta classe compreendem solos de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas, que não se enquadram nas classes anteriores (SBCS, 2006). Portanto o solo dos cinco sítios em questão no presente trabalho estão enquadrados na classe 4 do SBCS.

É importante salientar que foram encontradas evidências do histórico de uso da área que compreende os cinco sítios. Em todos os perfis foi relatada a presença de uma “linha de carvão” no horizonte A, resultante de queimadas (figura 5).



Figura 7: Presença da linha de carvão no horizonte A.

Química do solo

Para os teores em apresentação nas figuras e tabelas foram utilizadas as unidades usuais, C e N em “g kg⁻¹”, P, Fe, Zn e Mn em “mg kg⁻¹” e Al, K, Ca e Mg em cmolc kg⁻¹. Os teores dos elementos avaliados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 5: Caracterização química do solo dos cinco sítios em todas as profundidades dentro da propriedade em Maués.

Área	Prof.(cm)	pH		Ca	Mg	K	Al	P	Fe	Zn	Mn	C	N
		H ₂ O	KCl	----- cmolc kg ⁻¹ -----				-----mg kg ⁻¹ -----			--- g kg ⁻¹ ---		
Capoeira	0 - 10	3,98	3,76	0,03	0,053	0,070	2,374	5,72	96,00	0,94	0,88	26,1	1,80
	10 - 20	4,09	3,82	0,03	0,030	0,031	2,286	3,42	89,80	1,24	0,70	22,2	1,49
	20 - 30	4,16	3,85	0,03	0,033	0,036	2,258	2,77	97,20	0,30	0,96	22,3	1,48
	30 - 40	4,34	3,90	0,03	0,017	0,025	2,088	1,51	94,40	0,70	0,80	18,0	1,17
Plantio 4 anos	0 - 10	4,16	3,62	0,31	0,159	0,080	3,106	11,66	111,40	0,94	3,26	34,1	2,21
	10 - 20	3,99	3,68	0,19	0,081	0,057	3,004	9,43	95,60	0,82	3,06	27,9	1,86
	20 - 30	4,27	3,80	0,20	0,063	0,043	2,400	5,97	66,60	0,76	2,58	22,9	1,41
	30 - 40	4,33	4,10	0,15	0,050	0,046	2,312	4,17	56,40	0,82	2,32	20,3	1,42
Plantio 10 anos	0 - 10	3,99	3,71	0,07	0,092	0,060	2,924	7,24	132,00	0,94	3,20	25,4	1,86
	10 - 20	4,21	3,91	0,05	0,050	0,044	2,494	3,77	107,60	0,78	2,00	21,1	1,46
	20 - 30	4,31	4,03	0,05	0,048	0,032	2,324	2,08	99,60	0,94	2,18	18,9	1,27
	30 - 40	4,41	4,06	0,05	0,033	0,027	2,044	1,20	83,80	1,10	1,96	16,2	1,14
Plantio 20 anos	0 - 10	3,95	3,92	0,06	0,084	0,105	2,756	6,26	92,40	0,94	1,60	25,5	1,87
	10 - 20	4,16	4,08	0,06	0,054	0,050	2,356	3,14	81,00	0,56	1,40	21,6	1,53
	20 - 30	4,17	4,06	0,05	0,056	0,081	2,364	3,12	77,20	0,60	1,62	21,9	1,47
	30 - 40	4,24	4,04	0,06	0,059	0,058	2,168	1,67	64,20	0,54	1,42	17,6	1,21
Floresta	0 - 10	4,00	3,74	0,07	0,089	0,361	2,474	5,20	133,60	1,04	1,44	31,5	2,24
	10 - 20	4,20	3,92	0,05	0,063	0,060	2,134	2,98	103,60	0,78	1,28	21,9	1,43
	20 - 30	4,31	3,97	0,06	0,053	0,063	2,022	2,38	92,40	0,80	1,22	21,2	1,33
	30 - 40	4,48	4,03	0,04	0,035	0,122	1,822	1,17	96,20	0,42	1,24	15,5	1,03

Os **teores de C** do solo em todos os sítios variaram de acordo com a profundidade entre 15,5 g kg⁻¹ na profundidade de 30 a 40 cm a 31,5 g kg⁻¹ nas superfícies dos solos.

Para o **N** (g kg⁻¹), os teores máximos e mínimos foram encontrados no ambiente de floresta e foram 2,24 g kg⁻¹ (floresta de 0 a 10 cm) 1,03 g kg⁻¹ (30 a 40 cm) seguindo um padrão de comportamento decrescente de acordo com o aumento da profundidade.

Os valores médios dos **teores de P** disponível variaram de 1,16 mg kg⁻¹ (floresta de 30 a 40 cm) e 11,65 g kg⁻¹ (plantio de 4 anos de 0-10cm).

Analisando os **teores de K**, nos cinco sítios em questão, foram verificados os maiores teores na floresta (0,361 cmolc kg⁻¹), e os menores encontrados para a capoeira (0,025 cmolc kg⁻¹).

Para o **Ca** trocável (cmolc kg⁻¹), os maiores valores de todas as profundidades foram encontrados para o plantio de 4 anos de idade, sendo o maior 0,31 cmolc kg⁻¹. O menor valor encontrado foi na profundidade de 30 a 40 cm (0,027 cmolc kg⁻¹).

Os valores de **Mg** trocável (cmolc kg⁻¹), tiveram tendência similar aos de cálcio. O maior valor foi encontrado para o plantio de 4 anos (0,160 cmolc kg⁻¹) e os menores teores de Magnésio foram encontrados na capoeira, em todas as profundidades, sendo o menor 0,017 cmolc kg⁻¹.

Para os **teores médios de Fe** o maior valor foi encontrado na camada superficial da floresta (133,6 mg kg⁻¹) e o menor foi encontrado na profundidade de 30 a 40 cm do plantio de 4 anos de idade (94,4 mg kg⁻¹).

Os valores médios dos teores de **Zn** (mg kg⁻¹) variaram muito ao longo das profundidades nos cinco sítios em questão sendo o maior encontrado para a capoeira na profundidade de 10 a 20 cm (1,2 mg.kg⁻¹).

Com os **teores de Mn**, dois grupos formaram-se, um constituído pelo plantio de 4 anos e 10 anos com maiores valores, e o outro grupo formado pelos demais sítios. O maior valor foi encontrado para o plantio de 4 anos na camada superficial (3,3 mg kg⁻¹). O menor valor foi encontrado na capoeira, na profundidade de 30 a 40 cm (0,8 mg kg⁻¹).

O maiores teores de **Al³⁺** foram encontrados para o plantio de 4 anos, sendo o maior encontrado na camada superficial (3,18 cmolc kg⁻¹). O menor valor encontrado foi de 1,82 cmolc kg⁻¹ na profundidade de 30 a 40 cm da floresta.

A análise multivariada indicou haver tendências de agrupamento de fertilidade para todas as profundidades com relação aos teores dos nutrientes acima citados

(macronutrientes e micronutrientes) e também o delta de pH. Com a análise de componentes principais (ACP) foi possível identificar gradientes do solo que comporta os cinco sítios, tendo em vista o agrupamento dos dados gerados a partir da ACP, com destaque para o plantio de 4 anos de idade (figuras 8, 9, 10 e 11).

No diagrama de ordenação dos dados (figura 8), o eixo 1 da ACP com os dados de química do solo para a profundidade de 0 a 10 cm explicou 43,43% da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com maiores teores de magnésio cuja correlação com o componente (eixo) 1 foi maior (tabela 6). O componente 2 explicou apenas 26,02 % e determinou um gradiente de potássio e de fósforo (tabela 6).

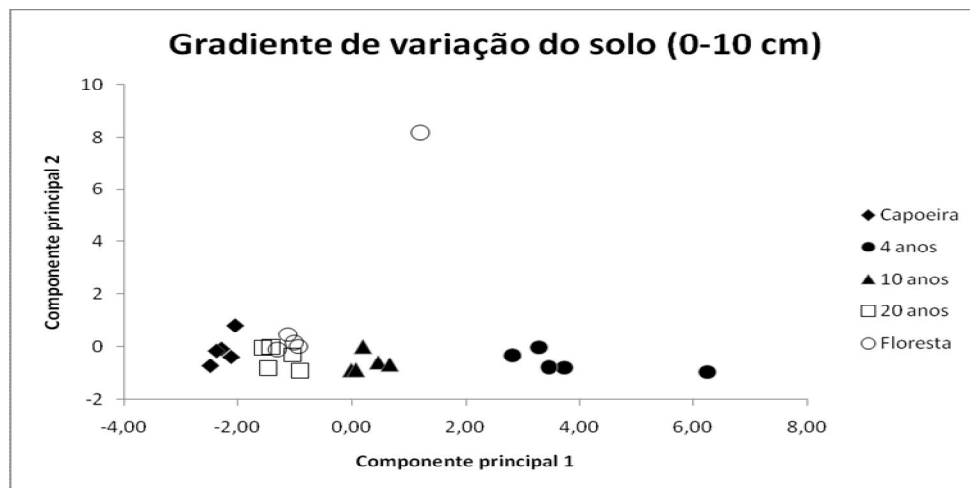


Figura 8: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 0-10 cm.

Para a profundidade de 10 a 20 cm, o eixo 1 da ACP (figura 9) explicou 51,26 % da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com maiores teores de cálcio, e maiores teores de zinco, cujas correlações com o componente (eixo) 1 foram maiores (tabela 6). O componente 2 explicou apenas 14,09 % e determinou um gradiente de zinco e potássio (tabela 6).

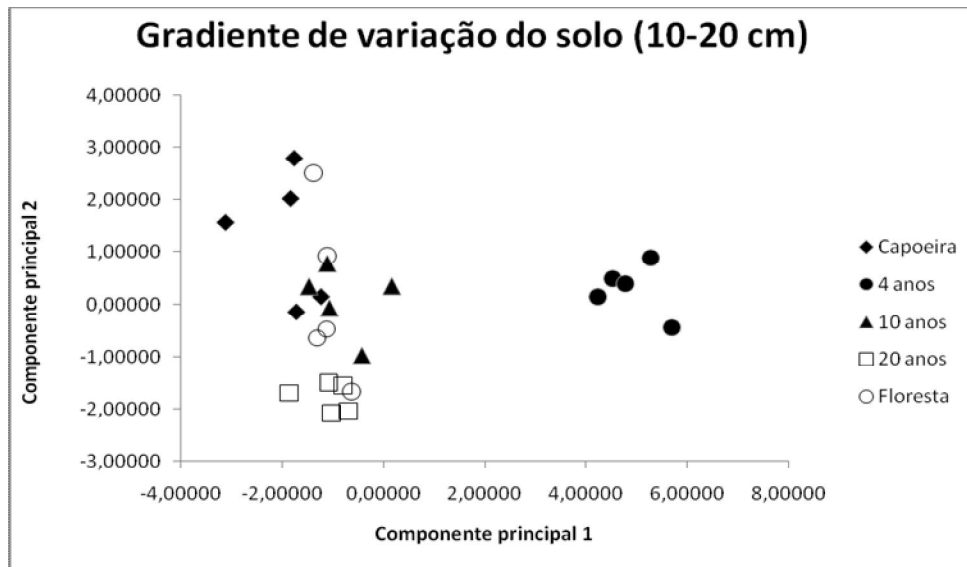


Figura 9: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 10-20 cm.

Para a profundidade de 20 a 30 cm, o eixo 1 da ACP (figura 10) explicou 38,46 % da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com maiores teores de fósforo, e maiores teores de ferro, cujas correlações com o componente (eixo) 1 foram maiores (tabela 7). O componente 2 explicou apenas 14,09 % e determinou um gradiente de zinco e manganês (tabela 7).

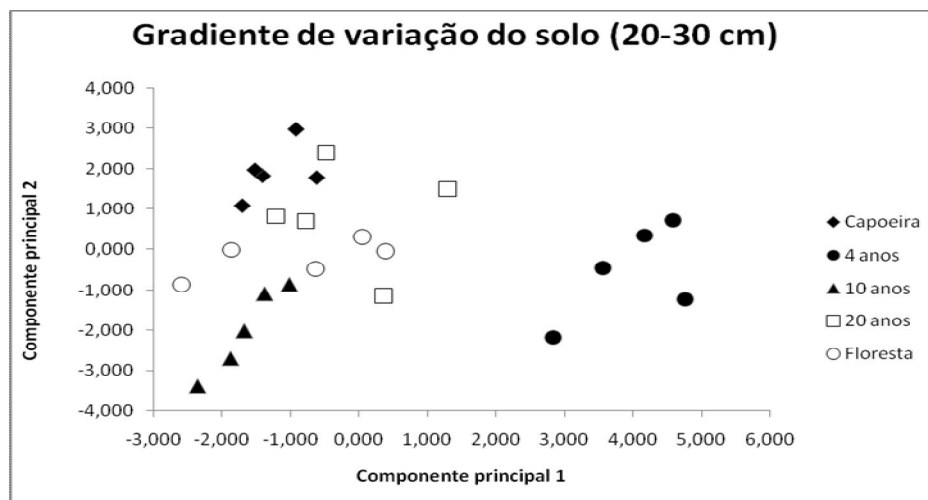


Figura 10: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 20-30 cm.

Para a profundidade de 30 a 40 cm, o eixo 1 da ACP (figura 11) explicou 41,93 % da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com

maiores teores de nitrogênio, e maiores teores de ferro, cujas correlações com o componente (eixo) 1 foram maiores (tabela 7). O componente 2 explicou apenas 17,24 % e determinou um gradiente de maiores teores de nitrogênio e cálcio (tabela 7).

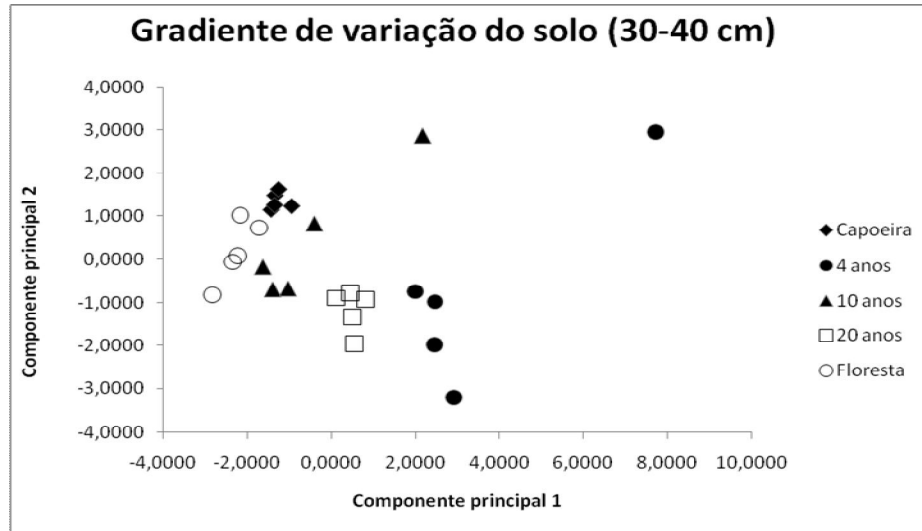


Figura 11: Diagrama da ACP com os dados de fertilidade dos sítios para os dois primeiros componentes na profundidade de 30-40 cm.

As correlações observadas na ACP de fertilidade e o valor de informação estatística seguem na tabela 6.

Tabela 6: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.

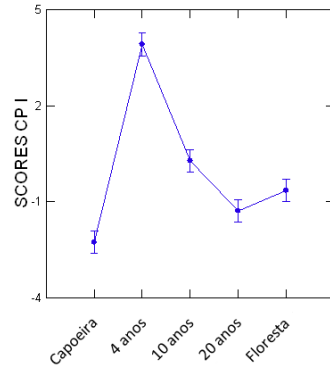
	Profundidade	Informação estatística (variância %)	Variável de maior peso	Maiores correlações
CP 1	0 - 10	43,43	Magnésio	0,93
			Cálcio	-
	10 - 20	51,26	Cálcio	0,96
			Zinco	-12,43
	20 - 30	38,46	Fósforo	0,93
			Ferro	-0,76
	30 - 40	41,93	Nitrogênio	0,82
			Ferro	-0,67
CP 2	0 - 10	26,02	Potássio	0,95
			Fósforo	-0,36
	10 - 20	14,09	Zinco	0,69
			Potássio	-0,52
	20 - 30	20,41	Nitrogênio	0,90
			Ferro	-0,76
	30 - 40	17,24	Nitrogênio	0,49
			Cálcio	-0,45

Como as *n* variáveis reduziram-se em dois eixos, o interessante é ver o somatório das informações estatísticas das duas componentes principais, que estão na tabela 7.

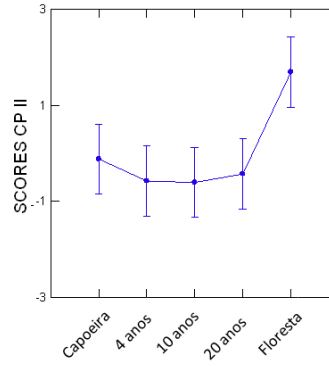
Tabela 7: Informação estatística acumulada dos dois componentes principais.

	Profundidade	Informação estatística (variância %)
CP 1 e CP 2	0 - 10	69,45
	10 - 20	65,35
	20 - 30	58,27
	30 - 40	59,17

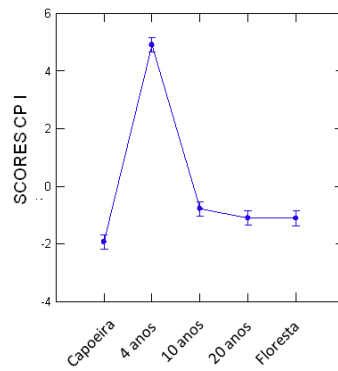
Para fins de identificação de diferenças estatísticas foram feitas as análises da variância com os “scores” dos eixos dos gráficos das análises acima (figura 12). Todas as análises apresentaram diferença estatística significativa (valores de F e p na figura), com exceção para a CP 2 da profundidade de 0 a 10 cm. As análises indicam diferenças entre os sítios para todas as profundidades, com destaque para o plantio de 4 anos que se diferenciou de todos os outros. Outro resultado interessante é que o solo sob plantio de pau-rosa com 20 anos de idade, não difere do solo da floresta secundária tardia com 60 anos de idade nas três primeiras profundidades (apêndices E, F, G e H).



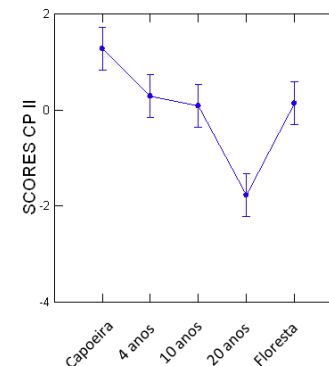
a) $F= 45,710$; $p < 0,01$



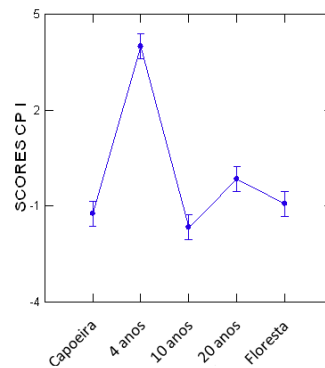
b) $F= 1,769$; $p = 0,175$



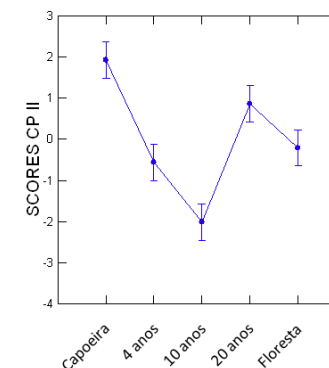
c) $F= 123,48$; $p < 0,01$



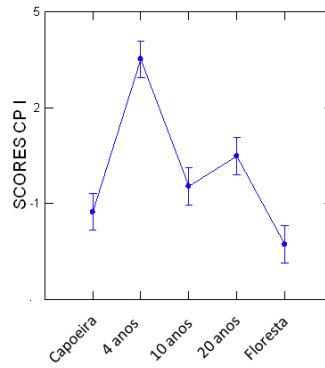
d) $F= 6,221$; $p < 0,01$



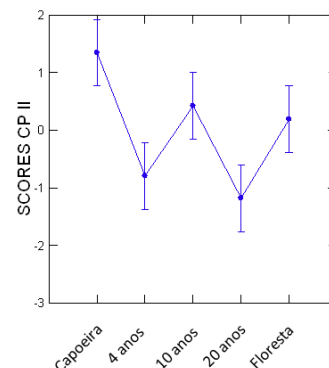
e) $F= 35,689$; $p < 0,01$



f) $F= 11,342$; $p < 0,01$



g) $F= 14,741$; $p < 0,01$



h) $F= 3,001$; $p = 0,043$

Figura 12: Gráficos da ANOVA feita com os “scores” da ACP com os dados de fertilidade: (a) CP 1 0 a 10 cm (b) CP 2 0 a 10 cm, (c) CP 1 10 a 20 cm (d) CP 2 10 a 20 cm (e) CP 1 20 a 30 cm (f) CP 2 20 a 30 cm (g) CP 1 30 a 40 cm e (h) CP 2 30 a 40 cm.

Nos apêndices E, F, G e H encontram-se as saídas dos testes de médias com as diferenças significativas ou não entre os sítios. Nelas podem-se observar os valores da probabilidade exata de erro do teste (valor de p).

Quanto aos valores de estoque de carbono no solo, estes estiveram compreendidos na faixa de 42 a 54 kg ha⁻¹, sendo o plantio de 4 anos diferencial (53,95 kg ha⁻¹), estando os demais compreendidos entre 42 e 46 kg ha⁻¹. Os valores de estoque de Carbono seguiram a seguinte ordem: 10 anos < 20 anos < Capoeira < Floresta < 4 anos, e estão apresentados na tabela 8. A ANOVA não indicou diferença estatística significativa (p = 1,000) entre os cinco sítios.

Tabela 8: Estoques de carbono no solo dos cinco sítios até 20 cm de profundidade.

Área	Estoque de carbono (Mg ha ⁻¹)
Capoeira	45,84 a
4 anos	53,94 a
10 anos	42,97 a
20 anos	44,19 a
Floresta	50,08 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

3.3. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa.

Para os teores em apresentação nas figuras e tabelas e também nas apresentações das análises estatísticas foram utilizadas as unidades usuais, C e N em “g kg⁻¹”, P, K, Ca e Mg em g kg⁻¹ Fe, Zn e Mn em “mg kg⁻¹”. Dos nove elementos avaliados, 44,44 % das vezes os plantios de 10 e 20 anos apresentaram maiores teores, tendo o plantio de 4 anos apresentado somente o maior teor de cálcio. Os teores de todos os elementos avaliados encontram-se na tabela 9.

Tabela 9: Teores dos elementos determinados do tecido foliar de árvores de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos de idade.

Área	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Plantio 4 anos	512,9	18,3	0,32	5,31	1,87	0,52	36,70	5,90	19,60
Plantio 10 anos	512,6	21,4	0,66	7,51	1,35	1,00	47,30	9,30	28,60
Plantio 20 anos	514,9	21,3	0,63	8,15	0,96	0,94	56,4	9,40	22,70

Para melhor compreensão da ordem de quantidade dos teores no tecido foliar das três idades em questão montou-se a tabela 10.

Tabela 10: Ordem das quantidades dos elementos contidos no tecido foliar das árvores de pau-rosa.

Nutriente	Sítio
C	4 anos > 10 anos < 20 anos
N, P, Mg, Mn	4 anos < 10 anos > 20 anos
K, Fe, Zn	4 anos < 10 anos < 20 anos
Ca	4 anos > 10 anos > 20 anos

Com os valores brutos dos elementos e mais a relação C/N testou-se a tendência de agrupamento através da ACP (figura 13), assim como a verificação do elemento de maior peso para esta tendência. No diagrama de ordenação observa-se uma separação dos plantios de 10 e 20 anos em relação ao de 4 anos que resultou maior agrupamento, ficando localizado a esquerda dos demais, contrariamente ao resultado de química do solo no qual este sítio esteve sempre a direita dos demais.

O eixo 1 da ACP (figura 13) explicou 47,91 % da variabilidade dos dados. Este eixo determinou um gradiente entre sítios com maiores teores de fósforo, e maiores valores de relação C/N, cujas correlações com o componente (eixo) 1 foram maiores (tabela 11). O componente 2 explicou apenas 18,47 % e determinou um gradiente de maiores teores de cálcio e de carbono (tabela 11).

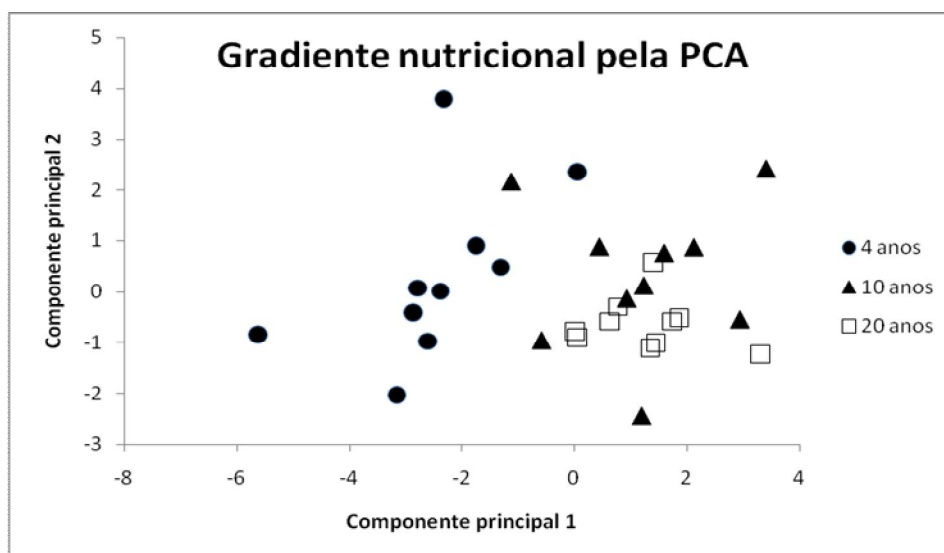


Figura 13: Diagrama da ACP com os dados de nutrição foliar.

Tabela 11: Informação estatística dos componentes principais e variáveis de maior correlação com os eixos.

	Informação estatística (%)	Variáveis de maior peso	Correlação com CP	Σ informação estatística (%)
CP 1	47,51	Fósforo	0,39	65,98
		Relação C/N	-0,39	
CP 2	18,47	Cálcio	0,58	
		Carbono	-0,59	

As análises da variância feitas com os “scores” do eixo 1 da ACP indicam diferenças nutricionais entre os plantios de 4, 10 e 20 anos, sendo o plantio de 4 anos diferente dos demais ($p < 0,01$). Não houve diferença estatística significativa entre os plantios de 10 e 20 anos ($p = 0,998$) e também para os “scores” do eixo 2 da ACP (figura 14).

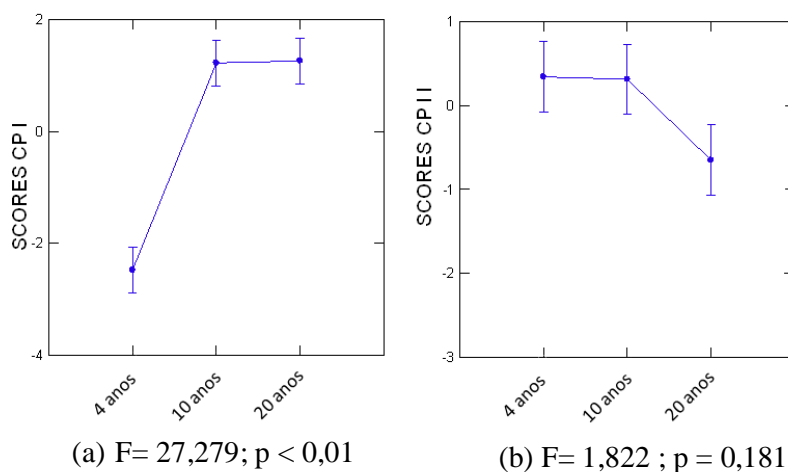


Figura 14: ANOVA feita com os “scores” da ACP para os componentes principais (CP) 1 e 2 .

Para identificação da relação existente entre os nutrientes no solo e na planta, foi feita uma correlação entre os “scores” da ACP (componente principal 1) do solo até 20 cm de profundidade e os “scores” gerados na ACP para o *status* nutricional da planta. A correlação de Pearson ($r^2 = - 0,79$ e $p < 0,01$) foi negativa, indicando, neste estudo, que quanto mais nutriente no solo menos no tecido foliar (figura 15), o que também esta

relacionado com a idade, parâmetro este que apresentou maiores teores de nutrientes a medida que ocorre o aumento da idade .

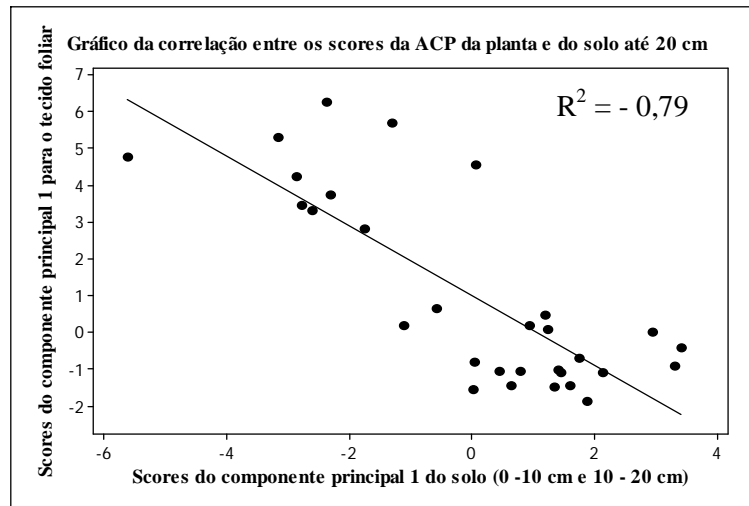


Figura 15: Correlação de Pearson feita com os “scores” da ACP de solo e planta.

Para minimizar o efeito diferencial do sítio que comporta o plantio de 4 anos, foi feita outra correlação de Pearson com ausência deste. O resultado encontrado continuou sendo uma correlação negativa, porém não houve significância estatística ($r^2 = -0,18$ e $p = 0,441$). Para ratificar o aumento dos teores do *status* nutricional de acordo com o aumento da idade da planta, foi feita a correlação de Pearson entre essas variáveis. Esta se mostrou positiva e significativa ($r^2 = 0,65$ e $p < 0,01$) o que indica que, para o presente estudo, quanto mais velho o plantio maior os teores de nutrientes em seus tecidos foliares.

4. DISCUSSÃO

Com base nos resultados observa-se que de maneira geral o sítio que comporta o plantio de 4 anos é diferencial, tanto com relação aos teores de nutrientes no solo, como também na planta e também com base nas características físicas, com destaque para a textura do solo.

Considerando os resultados da densidade do solo, observa-se que para as duas profundidades em questão, todos os valores dos cinco sítios estiveram na faixa compreendida entre $0,80$ e $0,99 \text{ Mg m}^{-3}$, valores considerados baixos, o que indica que o

cultivo de pau-rosa não ocasionou redução da qualidade desta propriedade, mesmo depois de 20 anos. Corrêa (1984), estudando solos de uma floresta primária e de uma pastagem ambas na Amazônia central e sob Latossolo Amarelo encontrou valores compreendidos entre $0,90 \text{ Mg m}^{-3}$ e $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$. Ferreira *et al.* (2002), estudando propriedades físicas do solo em áreas sob manejo na Amazônia central, encontraram menores valores de densidade para as camadas superficiais do solo, sendo observado o aumento desta propriedade de acordo com a profundidade. Nesta pesquisa, os autores encontraram uma leve compactação nas camadas subsuperficiais do solo sob manejo, fato que não se repetiu no presente estudo.

Os resultados indicam haver diferença estatística significativa ($F= 14,39$; $p < 0,01$) na densidade e porosidade do solo na profundidade de 10 a 20 cm. O sítio de 4 anos indicou aumento da porosidade e diminuição da densidade do solo, fato este possivelmente decorrente do conteúdo de argila deste sítio.

Era de se esperar o aumento da densidade da camada superficial no plantio de 4 anos, principalmente devido a sua exposição direta aos fatores climáticos, porém as diferenças encontradas foram inversas às esperadas. Caso resolvêssemos discutir nossos resultados eliminando o sítio diferencial (plantio de 4 anos de idade), constataríamos que com 10 anos e mesmo após 20 anos de cultivo homogêneo de pau-rosa, a densidade e a porosidade dos solos apresentam padrão similar ao padrão encontrado em uma capoeira e uma floresta secundária tardia, embora tenham existido diferenças significativas.

Embora tenha havido diferença significativa dos dados de densidade e de porosidade entre o sítio de 10 anos e a floresta, não houve entre o plantio de 10 anos e o de 20 anos. Também é importante frisar que em termos estatísticos, os dados de densidade e porosidade do solo dos plantios de 4 e 10 anos não apresentaram diferença estatística significativa (apêndice C).

Nos plantios de 10 e 20 anos foram observadas camadas substanciais de material orgânico decomposto, pouco decomposto e não decomposto, e que no plantio de 4 anos, por permitir a entrada de luz, toda superfície do solo encontra-se com presença abundante de gramíneas, o que também pode constituir fonte de material orgânico. A matéria orgânica pode reduzir os valores de densidade, pois pode apresentar dimensão coloidal ($< 0,001 \text{ mm}$) quando em sua forma de húmus, e partícula com alta superfície específica, funcionando assim como agente cimentante, agregando as partículas de solo e resultando espaço livre (macro e microporos) entre os agregados.

Segundo a USDA (United States Department of agriculture), a densidade do solo ideal para solos argilosos para o crescimento de plantas é abaixo de $1,10 \text{ g cm}^{-3}$, o que é encontrado tanto na floresta, capoeira como nos plantios. Ainda segundo a USDA, uma faixa compreendida entre $0,80$ e $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ corresponde a solos não cultivados, o que ratifica o uso sustentável do solo pela atividade de plantio de pau-rosa. Ferreira *et al.* (2002), não encontraram alterações nos valores de porosidade total do solo, após exploração seletiva de madeira. Porém os mesmos autores atentam para a possibilidade de ter ocorrido uma modificação na distribuição do tamanho dos poros, mesmo que a porosidade permanecesse inalterada, o que poderia alterar a retenção de água no solo.

Com relação à textura do solo, sabe-se que a fração argila constitui a menor partícula mineral do solo, podendo as argilas silicatadas e as sesquiódicas apresentar dimensão coloidal, com alta superfície específica, modificando assim diversas propriedades do solo, a exemplo da CTC (Capacidade de troca catiônica), definida como sendo a capacidade de cátions adsorvidos nos colóides serem trocados por outros da solução do solo. Ferreira *et al.* (1999) estudando a fração argila de diferentes Latossolos, ratificou resultados outrora encontrados na literatura, os quais apontam que a permeabilidade do solo, influenciada pela densidade e porosidade do mesmo, aumenta de acordo com o aumento da fração argila. Entretanto no presente estudo só foi possível observar tal influência na profundidade de 10 a 20 cm. Na profundidade de 0 a 10 cm esta influência pode estar sendo ocultada pelo teor de matéria orgânica. Observando o diagrama de ordenação dos dados da ACP feita para os dados de granulometria do solo, a argila, para as duas profundidades, explica quase 90% da variabilidade dos dados e destaca o sítio que comporta o plantio de 4 anos de idade.

Com relação à química do solo, os resultados apontam novamente para o diferencial existente no plantio de 4 anos. O diagrama de ordenação dos dados da ACP para todas as profundidades destacou este sítio em um agrupamento de dados distinto do agrupamento existente para os outros sítios. Os valores do eixo da ACP para a componente principal 1 foram os maiores e sempre positivos para este sítio. Considerando as profundidades, na camada superficial (0 a 10 cm) observa-se através do diagrama da ACP um gradiente de fertilidade nítido ao longo da componente principal 1, este devido principalmente aos teores de Magnésio trocável. Para as profundidades de 10 a 20 cm e de 20 a 30 cm este gradiente não ficou tão claro, existindo ainda o destaque para o plantio de 4 anos, porém desta vez houve um agrupamento dos demais sítios, ficando mais nítida a existência de um gradiente ao

longo do eixo da componente principal 2, este sendo explicado principalmente pelos teores de zinco na profundidade de 10 a 20 cm e de nitrogênio na profundidade de 20 a 30 cm. Para a profundidade de 30 a 40 cm a ACP agrupou ainda mais os sítios, não ficando tão nítido o gradiente ao longo dos dois eixos. É interessante ressaltar que para esta profundidade, a variável que mais contribuiu com o agrupamento dos dados, tanto para a primeira quanto para a segunda componente foi o nitrogênio.

Relacionando os dados de química do solo com os de física, a literatura explica que cada colóide apresenta, em geral, um balanço de cargas negativas (-), desenvolvido durante o processo de formação (Interpretação de análises do solo, 1992). Isto significa que eles podem atrair e reter cargas positivas (+), a exemplo do Magnésio, Cálcio, Potássio e Nitrogênio (na sua forma NH_4^+) que para o presente estudo apareceram com uma forte correlação com as componentes principais das ACP's, tendo maior influência na tendência de agrupamento mostrado pelos diagramas de ordenação.

Ainda relacionando dados de física e química do solo, os valores de estoque de carbono seguiram o mesmo padrão dos demais, destacando o plantio de 4 anos de idade, porém sem haver diferença estatística significativa. Excluindo este sítio e observando os valores do demais, percebe-se um gradiente em direção a floresta na seguinte ordem: 10 anos, 20 anos, capoeira e floresta, indicando que os estoques de carbono crescem com o aumento da idade do plantio, passando pela regeneração natural e chegando até a floresta. Segundo Fearnside (2006), o desmatamento leva à perda de serviços ambientais, que têm um valor maior que os usos pouco sustentáveis que substituem a floresta. A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono (C) estocado nos solos. Mudanças no uso da terra alteram os processos bioquímicos do solo, com reflexos no estoque de C e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera. Dependendo das características da área e do sistema de manejo adotado, essas alterações podem representar uma mudança no papel do solo como reservatório de C, alterando as taxas de emissão de dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). As emissões líquidas desses gases estão associadas com as mudanças nas quantidades do C estocado (Fernandes & Fernandes, 2008). Embora as diferenças não tenham sido significativas, as informações supracitadas estão de acordo com os resultados encontrados neste estudo. A mudança de uso do solo ocasionou redução do estoque, quando observamos apenas a floresta como testemunha, porém observamos um aumento do estoque de carbono do plantio de 10 para o de 20 anos.

No que tange a nutrição do pau-rosa, os teores encontrados nas folhas de pau-rosa enquadram-se na faixa adequada de macronutrientes, e os micronutrientes, no nível baixo, considerados por Malavolta (1992) para a seringueira. O diferencial do plantio de 4 anos de idade causou uma inversão no comportamento dos dados de química do solo em relação à nutrição foliar. Observando a correlação de Pearson feita com os “scores” da ACP percebe-se que quanto mais nutrientes no solo, menos nutrientes foram encontrados no tecido foliar. Enquanto o solo do plantio de 4 anos apresenta os maiores teores da maioria dos elementos, os resultados de nutrição foliar desse plantio foram os menores em relação aos plantios de 10 e 20 anos. Este fato também é evidenciado através dos maiores “scores” do eixo 1 da ACP para o gradiente de fertilidade e menores “scores” do eixo 1 da ACP para o gradiente de nutrição (“scores” do plantio de 4 anos). Isto pode indicar que os nutrientes do solo deste sítio ainda não foram translocados à planta e que também podem estar em maior quantidade adsorvidos nas partículas de argila mineral do solo.

Observando os valores de correlação entre a idade da planta e o *status* nutricional, esta se mostrou positiva e significativa ($r = 0,65$ e $p < 0,01$), o que pode representar que com 4 anos de idade as árvores de pau-rosa ainda não atingiram a estabilidade máxima da nutrição do tecido foliar. Este fato pode estar relacionado com o desenvolvimento do sistema radicular incompleto para as plantas de 4 anos, ou mesmo o investimento da planta em outras variáveis de crescimento. O transporte de nutrientes dentro da planta se inicia quando os minerais atingem o xilema na raiz e caminham de forma ascendente, para que ocorra sua distribuição (Canavesi & Kirchner, 2005).

Resultados similares foram encontrados por Takeda (2008), que estudando os teores de nutrientes nas folhas de pau-rosa com 3 e 5 anos de idade encontrou correlação negativa e não significativa entre os teores e algumas variáveis de crescimento como o diâmetro e a altura dos indivíduos. O estudo de Takeda e também o presente estudo diferem dos resultados de Ferraz *et al.* (1997) em floresta primária, onde à medida que a planta cresce em altura e diâmetro, menos nutrientes são alocados nas folhas, em função da atividade fotossintética e crescimento das árvores. Porém acredita-se que concentração e distribuição dos nutrientes nas folhas também esta em função da espécie (Caldeira *et al.*, 2003).

Além disso, comprovadamente, a absorção de nutrientes é diferente de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura, intensificando-se no florescimento, na formação e

no crescimento dos frutos ou do órgão que será colhido (Malavolta, 1997). Esta informação corrobora os resultados do presente estudo, tendo em vista a inexistência de uma fase de florescimento ou frutificação do plantio de 4 anos de idade, contrariamente aos plantios de 10 e 20 anos de idade que já atravessaram ciclos de florescimento e frutificação, inclusive com a observação de indícios desses fatos durante a campanha de campo.

Quanto aos teores de nutrientes no tecido foliar, C e N para todas as idades sofreram um aumento quando comparados com os valores encontrados por Takeda (2008) (45,8% e 44,2% respectivamente para árvores de 3 e 5 anos de idade). Com relação aos demais macronutrientes, P, Ca e Mg sofreram redução em relação aos resultados de Takeda, enquanto que K aumentou em média 1 g kg^{-1} . Para os teores de micronutrientes foi constatado similaridade dos dados, estando tanto o presente estudo quanto o estudo de Takeda apresentando faixas de 36 a 56 mg kg^{-1} de Ferro, 5,9 a $9,4 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zinco e 19,6 a $28,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de Manganês. Os valores de Zn e Mn foram mais baixos no presente estudo.

Ainda tendo em vista teores dos nutrientes no tecido foliar, podemos identificar 4 grupos de comportamento distinto: O grupo estável, que não variou com o aumento da idade, composto pelos teores de carbono; o grupo que sofreu aumento dos teores de acordo com o aumento da idade, composto pelos teores de N, P, K, Mg, Fe e Zn; o grupo que diminuiu seus teores de acordo com o aumento da idade, composto pelo teor de Ca e um grupo composto pelo Mn, que teve comportamento instável.

Como explica a discussão supracitada o aumento dos teores dos nutrientes no tecido foliar pode ser elucidado pelo estágio da planta, assim como a diminuição dos teores de cálcio também. Este elemento é responsável pela manutenção da integridade da parede celular, e com o aumento da idade, e do incremento (DAP e altura – que serão abordados no capítulo 2 desta dissertação) as plantas tendem a translocá-lo para os ramos e galhos grossos, em especial para a casca dos mesmos (Pinto, 2008).

Juntando todos os resultados e as tendências observadas tanto para as características químicas, quanto para as características físicas e de nutrição dos cinco sítios em questão, e tentando inferir sobre a qualidade dos sítios, o cultivo homogêneo de pau-rosa não acarretou a redução das propriedades físicas e químicas do solo ao longo do tempo, tendo em vista as características de uma mata em regeneração (capoeira) e também as de uma floresta secundária com cerca de 60 anos de idade.

Considerando o bem sucedido *status* dos plantios comerciais de Maués, juntamente com os resultados encontrados neste estudo, tanto pelo valor econômico quanto pelas possibilidades de geração de renda, empregos e da redução da pressão sobre florestas naturais é possível indicar o pau-rosa como uma espécie a ser utilizada em programas de reflorestamento e recuperação de áreas, mesmo em sistemas de cultivo homogêneos.

5. CONCLUSÕES

- O pau-rosa mostra-se como uma espécie viável para uso em programas de recuperação de áreas degradadas por atividade agrícola e pecuária, apresentando sucesso quando plantado a plena abertura.
- Os solos sob plantios de pau-rosa não sofreram redução das condições físicas e químicas quando comparados com os solos de uma capoeira e de uma floresta secundária tardia.
- Plantios de pau-rosa não estão contribuindo para a redução do estoque de Carbono do solo.
- Não houve correlação positiva entre a idade das árvores de pau-rosa, o estado nutricional e as características químicas do solo.
- Plantios homogêneos de pau-rosa podem ser utilizados como uma atividade sustentável de uso do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blake, G.R.; Hartge, K.H. Bulk density. In KLUTE, A. (Ed). Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods. 2nd ed. Madison: American society of agronomy, 1986. Chap 13, p.363-375.

Caldeira, M.V.W.; Rondon Neto, R.M.; Schumacher, M.V. 2003. Conteúdo e exportação de micronutrientes em acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Batemans Bay (Austrália). *R. Árvore* 27 (1): 9-14.

Canavesi, V.; Kirchner, F.F. 2005. Quantificação de macronutrientes em floresta ombrófila mista montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens de satélites IKONOS II. *Floresta*, Curitiba, PR, 35(3): 451-464.

Castro, O.M. 1995. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. *In: Anais do 1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas*. Curitiba, Paraná. p.34-42

Chone, T., Andreux, F., Correa, J.C., Volkoff, B., Cerri, C.C., 1991. Changes in organic matter in an oxisol from the Central Amazonian forest during eight years of pasture, determined by ¹³C isotopic composition. In: Berthelin, J. (Ed.), *Diversity of Environmental Biogeochemistry*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 307–417.

City Brazil. 2010. *Maués*. <http://www.citybrazil.com.br/am/maues/geral.htm> . Acessado em: 20 ago. 2010.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro, 1997.

Fearnside, P.M., 2005. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. Megadiversidade. v. 1. p. 113 – 123.

Fearnside, P.M., 2006. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. Acta Amazonica. v. 36 (3). p. 395 – 400.

Fernandes, A.F.; Fernandes, A.H.B.M., 2008. Cálculo dos estoques de Carbono do solo sob diferentes condições de manejo. Comunicado técnico Embrapa pantanal. v. 69.

Ferraz, J.B.S.; Higuchi, N.; Santos, J.dos; Biot, Y.; Marques, F.; Baker, K.; Baker, R.; Hunter, I.; Proctor, J. 1997. *Distribuição de nutrientes nas árvores e exportação de nutrientes pela exploração seletiva de madeira*. Relatório Final - Projeto Bionte. MCT-INPA- DFID. p. 133-149.

Ferreira, M.M.; Fernandes, B.; Curi, N. 1999. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do solo. v. 23. p. 515 -524.

Ferreira, S.J.F.; Luizão, F.J.; Melo-ivo, W.; Ross, S.M.; Biot, Y. 2002. Propriedades físicas do solo após extração seletiva de madeira na Amazônia central. Acta Amazonica, v. 32 (3). p. 449 – 466.

Guo, L., Gifford, R., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. Global Change Biology 8, 345–360.

Interpretação de análises do solo: Conceitos e aplicações, 1992. ed. Associação nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. São Paulo.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE. Disponível em: <http://www.inpe.br>
Acesso ao site em janeiro de 2011.

Karlen, D.L.; Mausbach, M.J.; Doran, J.W., Cline R.G.; Harris, R.F.; Kay, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Advances in soil science, New York, v. 12 p. 1 -52, 1990.

Lugo, A., Brown, S., 1993. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon. *Plant and Soil* 149, 27–41.

Malavolta, E. 1992. ABC da análise de solos e folhas: amostragem interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agronômica Ceres. p. 85-98.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. de. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba: POTAFOS. 319p.

Malavolta, E. 1981. Manual de química agrícola: adubos e adubação. 3. ed. São Paulo; Ed. Agronômica Ceres.

Neto, J.M.M.; Moita, G.C., 1997. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. Divulgação. Departamento de Química - Universidade Federal do Piauí.

Neves Junior, A.F. 2008. Qualidade física de solos antrópicos (terra preta de índio) na Amazônia central. Tese de doutorado. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

Paul, M., Catterall, C.P., Pollard P.C., Kanowski, J., 2010. Recovery of soil properties and functions in different rainforest restoration pathways. In: *Forest Ecology and management* 259, pp. 2083–2092.

Piccolo, M.C., Neill, C., Cerri, C.C., 1994. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. *Plant and Soil* 162, 61–70.

Pinto, F.R., 2008. Estimativa dos estoques de biomassa e nutrientes em florestas secundárias na Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal Rural da Amazônia, Manaus.

Rasiah, V., Florentine, S.K., Williams, B.L., Westbrooke, M.E., 2004. The impact of deforestation and pasture abandonment on soil properties in the wet tropics of Australia. *Geoderma* 120, 35–45.

Reiners, W.A., Bouwman, A.F., Parsons, W.F.J., Keller, M., 1994. Tropical rain forest conversion to pasture: changes in vegetation and soil properties. *Ecological Applications* 4, 363–377.

Rodrigues, G.B.; Maltoni, K.L.; Cassiolato, M.R. 2007. Dinâmica de regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. v.11, n. 1, p. 73-80, 2007.

Souza, W.J.O.; Melo, W.J. Teores de nitrogênio no solo nas frações de matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. *Revista brasileira de ciência do solo*, Viçosa, v.24, p. 885-896, 2000.

Takeda, P.S. 2008. Avaliação de biomassa e óleo da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* DUCKE) em plantios comerciais submetidos a poda e adubação. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal Rural da Amazônia, Manaus.

United States Department of agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2008. *Journal: Soil Quality Indicators*.

CAPITULO II

BIOMASSA DA COPA DE PAU-ROSA (*ANIBA ROSAEODORA* DUCKE), VISANDO A PRODUÇÃO ÓLEO A PARTIR DE GALHOS E FOLHAS.

RESUMO

Este estudo teve como objetivo determinar a biomassa de galhos e folhas de árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em plantios submetidos á poda visando obtenção de óleo essencial, no município de Maués, Amazonas, Brasil, entre as coordenadas geográficas de 03°32'44'' latitude Sul e 57°41'30'' de longitude Oeste. A pluviosidade média anual é de 2.000 mm e o solo é classificado como Latossolo vermelho-amarelo. Os plantios de 4 e 10 anos apresentam espaçamento de 3,0 m x 4,0 m, possuindo ambos 334 árvores, e o plantio de 20 anos possui 200 árvores no espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. Foram mensurados o diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e biomassa fresca da copa de 10 árvores de cada idade totalizando 30 indivíduos e posteriormente foram realizadas podas de 100% da copa dessas árvores. Amostras da biomassa foram utilizadas para a definição do *status* nutricional e também foram levadas para uma destilaria em Maués e para o laboratório de biomoléculas da Amazônia pertencente à UFAM, objetivando comparar a rentabilidade e a qualidade do óleo entre o método tradicional de arraste a vapor utilizado na destilaria de Maués e o método de hidrodestilação de Clevenger, realizado no laboratório. O parâmetro utilizado para a determinação da qualidade dos óleos foi o teor de linalol. O DAP, a altura total, a biomassa fresca da copa, rendimento em óleo e teores de linalol foram avaliados por meio de uma análise de variância (ANOVA). Os dados de nutrição foram submetidos a uma análise de componentes principais (ACP) e posteriormente foram construídas matrizes de correlação de Pearson conjuntamente aos dados de DAP, altura total e biomassa fresca da copa. As médias de DAP foram de 8,23 cm, 11,63 cm e 13,27 cm respectivamente para 4, 10 e 20 anos. A determinação da biomassa fresca da copa resultou em 21,52 kg. planta⁻¹, 42,20 kg. planta⁻¹ e 61,82 kg. planta⁻¹ respectivamente para as três idades. Apesar de o DAP não ter diferido estatisticamente entre as idades de 10 e 20 anos, a biomassa da copa diferiu. O *status* nutricional seguiu a mesma tendência, tendo a ACP revelado maiores valores da componente principal 1 para as maiores idades e o plantio de 4 aos de idade difere dos demais estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. As correlações realizadas entre os dados de nutrição e os dados de DAP, altura total e a biomassa fresca da copa não foram significativas. Nestas observou-se aumento da significância e acurácia do teste entre o DAP e a biomassa fresca da copa à medida que ocorre o aumento da idade. Os dados de rendimento médio em óleo foram de 1,22 %, 1,03 % e 1,21 % na destilaria e 1,45 %, 1,20 % e 1,39 % no laboratório e não diferiram estatisticamente entre as idades e métodos. Os teores de linalol foram de 79,19 %, 88,05 % e 77,15 % na destilaria e 73,19 %, 76,10 % e 83,87 % no laboratório respectivamente para 4, 10 e 20 anos, e apresentaram diferenças significativas ($p < 0,01$) tanto entre as idades quanto entre os métodos. Nossos resultados permitem concluir que o manejo da copa de pau-rosa em condições de plantio pode ser realizado a partir dos 4 anos de idade e a obtenção de óleo a partir do manejo da copa deve considerar a velocidade de crescimento do estágio de realização da poda, porém são necessários estudos complementares com as diferentes idades e em diversos ciclos de produção para que o manejo proposto seja consolidado.

1. INTRODUÇÃO

A quantificação de biomassa é um instrumento útil na avaliação de plantios florestais *ex situ*, devido à sua aplicação para inferir produtividade, ciclagem de nutrientes, absorção e armazenamento do dióxido de carbono da atmosfera, informações de grande importância para o manejo de espécies florestais em sistemas de plantios ou em florestas naturais (Sampaio *et al.*, 2005). A biomassa da copa de árvores de pau-rosa pode ser utilizada para a obtenção de óleo essencial, principalmente devido a sua capacidade de rebrota, evidenciado pelo estudo de Sampaio *et al.* (2007) que concluíram haver a formação de vigorosas brotações estimuladas por sucessivas podas.

O pau-rosa é uma espécie heliófila, necessitando de luz solar para maior incremento em diâmetro e altura após o estabelecimento das plantas em plantios a plena abertura (Takeda, 2008). Entretanto estudos realizados pela Sudam (1979) e por Sampaio (2000) confirmam que plantas de pau-rosa após 24 meses protegidas do sol (50 %) quando expostas à plena abertura apresentaram elevada sobrevivência (80 %), com incrementos médios anuais de 0,83 m em altura, 0,79 cm em diâmetro e 9,1 m³ ha. ano⁻¹ de incremento em volume. Tais informações revelam que o pau-rosa é uma espécie que pode ser utilizada em plantios comerciais. Porém, na fase inicial de desenvolvimento, as mudas de pau-rosa necessitam de sombreamento para sobrevivência (Araújo *et al.*, 2005).

Mais de 30 anos após a publicação do trabalho de Araújo *et al.* (1971), o qual relata a possibilidade de obter o óleo essencial das folhas, o pau-rosa tem se tornado cada vez mais raro em muitas áreas da Amazônia devido à coleta destrutiva de sua madeira. Este valioso recurso natural merece um manejo intensivo em lugar de sua total extinção. O uso de técnicas de manejo que aliem incremento da biomassa aérea (galhos e folhas) aos menores custos estimulará os produtores a investirem em plantios comerciais (Useche, 2003). Trabalhos desenvolvidos por Sampaio *et al.* (2007), mostram que a radiação solar direta em plantas de pau-rosa, proporcionou maior biomassa da copa após sucessivas podas.

A utilização mais conhecida e de grande valor econômico, da biomassa das árvores de pau-rosa é a produção de óleo, do qual é extraído o linalol, essência largamente empregada como fixador de perfumes pela indústria de perfumaria nacional e internacional.

Em termos médios, 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). Este fato explica porque o manejo tradicional do pau-rosa utiliza toda a árvore. Entretanto, este tipo de exploração contribuiu para o desaparecimento das populações naturais desta espécie, o que motiva o uso de novas técnicas de manejo, a exemplo da poda da copa das árvores em sistemas de plantio. A consolidação desta tecnologia de exploração demonstrará a viabilidade técnica e econômica dos plantios de pau-rosa.

Pesquisas que utilizaram a poda da copa de pau-rosa apontam que esta espécie possui grande potencial para ser submetida a este tratamento silvicultural. Sampaio *et al.* (2005) observaram diferenças quanto à sobrevivência e biomassa da rebrota de árvores de pau-rosa, quando submetidas à poda de suas copas e ao 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 no toco. Outro fato relevante observado foi a ausência de mortalidade das árvores submetidas à poda, em contraposição ao corte do tronco a um metro do solo, no qual ocorreu elevada mortalidade.

A poda ou desrama consiste na remoção dos galhos ou folhas numa certa porção do tronco de uma árvore. Esta também pode ser definida como sendo a eliminação de ramos de uma planta para que ela adquira uma forma e produção compatível com a finalidade desejada. A remoção de ramos vivos reduz a superfície fotossinteticamente ativa da planta, embora possa reduzir, também, a respiração. Ou seja, a retirada dos ramos inferiores tem a vantagem de reduzir o consumo de reservas pela respiração (Bizzo, 2009).

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. Dependendo do manejo utilizado nos plantios, em alguns casos, o vigor dos brotos é bastante afetado pela competição dos fatores ambientais e espaço, em que 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).

Estudos feitos por Chaar (2000) indicam que as podas periódicas geram revigoração da planta de pau-rosa, 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.

Nossa proposta foi avaliar a viabilidade técnica e econômica de plantios de pau-rosa em áreas com histórico de degradação por atividades agrícola e pecuária. Para tanto, selecionamos plantios homogêneos à plena abertura nas idades de 4, 10 e 20 anos, quantificamos a biomassa de galhos e folhas, determinamos o *status* nutricional e o rendimento e a qualidade do óleo extraído da biomassa. A dúvida foi saber se o óleo extraído de árvores com idade juvenil se diferenciava de árvores com maturidade mais avançada, também perguntando se o manejo através da poda da copa seria viável de ser feito já aos 4 anos de idade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área estudada localiza-se no município de Maués, estado do Amazonas, Brasil, entre as coordenadas geográficas de 03°32'44'' latitude Sul e 57°41'30'' de longitude Oeste. Distância de 267 Km em linha reta e 356 Km por via fluvial de Manaus (City Brazil, 2010).

O clima característico da região é do tipo Am da Amazônia e subtipo AN de transição, quente e úmido (Köppen). As chuvas são regulares e abundantes no município, ocorrendo com mais frequência no período de janeiro a julho, com baixas precipitações de agosto a dezembro, época de verão na região, com média pluviométrica anual de 2.000 mm (City Brazil, 2010).

O solo da região é muito diversificado, apresentando solos profundos, de bem a excessivamente drenados, bastante porosos, tendo pequena relação textural e pouca diferenciação entre os horizontes. De modo geral, as classes de solos constituem-se de Latossolo Amarelo, Vermelho Amarelo e Vermelho com afloramento (City Brazil, 2010).

2.2. Caracterização dos plantios de pau-rosa, da capoeira e da floresta.

A propriedade pertence atualmente ao Sr. Zanoni Magaldi e localiza-se na área urbana do município de Maués, no estado do Amazonas. Adquirida por seu pai em 1940, ocasião em que na área prevalecia a vegetação de floresta primária. Em 1950, a floresta foi derrubada para iniciar os plantios de guaraná; na década de 70, os plantios foram utilizados também como pastos; e somente na década de 90 iniciaram-se os plantios de pau-rosa. Hoje a propriedade é constituída de plantios de pau-rosa, capoeiras e áreas de floresta secundária tardia.

As sementes utilizadas nos plantios foram compradas de pequenos agricultores residentes em áreas próximas a cidade de Maués, coletadas de diferentes matrizes de populações naturais. Após a coleta, as sementes de todas as matrizes foram misturadas e o lote vendido para o proprietário da área. Após o beneficiamento, as sementes foram postas para germinar em sementeiras e, posteriormente, as mudas foram repicadas para sacos de polietileno de 1 Kg contendo como substrato mistura de argila e terra da floresta, na proporção 1:1. As mudas permaneceram no viveiro durante 270 dias e posteriormente foram levadas até a área definitiva de plantio. Após o plantio, no primeiro ano as mudas ficaram sob canteiros cobertos com palhas evitando a luz solar direta. Após 12 meses, os canteiros foram retirados e as mudas expostas a 100 % de radiação solar.

Atualmente a propriedade apresenta seis plantios de pau-rosa, com idades diferentes (4, 6, 8, 10, 14 e 20 anos), um plantio experimental de guaraná da Embrapa de Maués, áreas abandonadas com feição de capoeira e áreas de floresta secundária tardia, além de uma usina de destilação. Para objeto deste estudo foram avaliados três plantios com diferentes idades: Um plantio jovem com 4 anos, o plantio com idade intermediária de 10 anos e um plantio com maturidade mais avançada com 20 anos de idade, além das áreas de capoeira e floresta. A localização exata georreferenciada dos cinco sítios estudados encontra-se na tabela 13.

Tabela 12: Georreferência dos plantios de pau-rosa, capoeira e da floresta.

Sítio	Coordenadas
Capoeira	03°40'42'' latitude Sul 57°70'42'' longitude Oeste
Plantio 4 anos	03°40'50'' latitude Sul 57°70'15'' longitude Oeste
Plantio 10 anos	03°40'48'' latitude Sul 57°70'14'' longitude Oeste
Plantio 20 anos	03°40'33'' latitude Sul 57°69'96'' longitude Oeste
Floresta	03°40'27'' latitude Sul 57°69'90'' longitude Oeste

O plantio de 4 anos foi instalado em 2005, em área aberta. A área de aproximadamente 0,4 ha possui 334 árvores, plantadas no espaçamento de 3,0 m x 4,0 m.

O plantio de 10 anos de idade foi instalado em 1999, em área aberta, nas mesmas condições do plantio de 4 anos, com plena exposição à radiação solar. Possui a mesma área e organização espacial do plantio de 4 anos. Os plantios estão localizados um ao lado do outro, separados pela estrada de acesso que apresenta cerca de 5,0 m de largura, tendo terreno plano em toda extensão.

O plantio de 20 anos de idade foi instalado em 1990, em área aberta, nas mesmas condições do plantio de 4 e 10 anos, com plena exposição à radiação solar. A área de aproximadamente, 0,5 ha possui 200 árvores, plantadas no espaçamento de 5,0 m x 5,0 m. O plantio localiza-se cerca de 100 metros do plantio de 10 anos, sendo o acesso pela mesma estrada que separa os plantios de 4 e 10 anos.

A área de capoeira encontra-se adjacente às áreas de plantio de pau-rosa com 4 e 10 anos de idade. Quando foi iniciada a atividade agrícola com plantios de guaraná a área foi inteiramente desmatada e posteriormente utilizada para comportar essa cultura. Cerca de 15 anos atrás foi abandonada e hoje apresenta-se em processo de regeneração natural, com feição de capoeira.

A floresta secundária tardia da propriedade encontra-se adjacente ao plantio de 20 anos, estando de maneira contínua no espaço, ou seja, não há qualquer separação entre um ambiente e outro.

2.2. Amostragem

2.2.1. Marcação, poda da copa e pesagem das árvores.

Para a realização da poda da copa foram selecionadas, aleatoriamente, 10 árvores por plantio (4, 10 e 20 anos), totalizando 30 árvores. Com a poda da copa das árvores também foram determinados o estado nutricional, e os estudos de rendimento e qualidade em óleo. Em cada plantio concentrou-se a amostragem no centro dos talhões, evitando o efeito de borda. A amostragem foi feita de acordo com a figura 16.

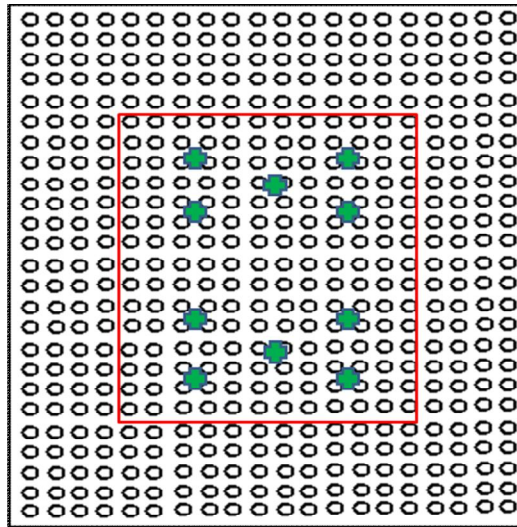


Figura 16: Croqui de amostragem dos indivíduos dentro do sítio.

2.3. Descrição dos métodos e dos parâmetros avaliados.

2.3.1. Variáveis dendrométricas

Os indivíduos foram identificados com placas de alumínio contendo o número da árvore. Foi realizada a coleta dos parâmetros dendrométricos, obtendo-se:

- Altura Total (HT): determinada a partir da mensuração da altura da planta do nível do solo até o ponto mais elevado da copa;

- Diâmetro à Altura do Peito (DAP): determinada a partir da mensuração a 1,30 m do solo.

2.3.2. Biomassa dos galhos e folhas de *Aniba rosaeodora* Ducke.

A determinação da biomassa dos galhos e folhas foi feita pelo método direto. Na medida em que as árvores foram sendo podadas, o material foi amarrado com corda, em amarras de aproximadamente 25 kg e posteriormente foram pesados em campo. O peso fresco foi determinado com o auxílio de uma balança móvel com capacidade de até 30 Kg previamente instalada próximo do local de coleta.

Durante a quantificação da biomassa, amostras de galhos e folhas foram acondicionadas em sacos de papel, levadas para o laboratório e colocadas em estufa a 65 °C para posterior determinação das concentrações de C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn através do método de análise química utilizado no Laboratório Temático de Solos e Plantas (LTSP), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). O método de poda escolhido já foi recomendado na literatura por Alencar & Fernandes (1978), Leite *et al.* (2001), Sampaio *et al.* (2005) e Takeda (2008), obtendo maior produção de biomassa através da poda de 100% das copas. A descrição do método de poda utilizado é apresentado a seguir:

- Poda de 100 % da copa: Foram retiradas todas as folhas e os galhos de até 3 cm de diâmetro da copa da árvore, permanecendo apenas alguns em toda extensão para evitar uma possível morte do indivíduo e acelerar o processo de rebrotamento (Figura 17).

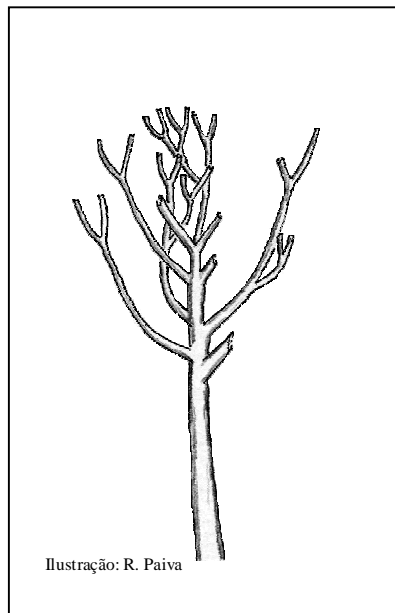


Figura 17: Desenho ilustrativo da poda de 100%.

2.3.3. Rendimento do óleo essencial de *A. rosaeodora*.

O rendimento do óleo essencial foi obtido através de extrações por arraste a vapor (método tradicional) e pelo sistema de hidrodestilação de Clevenger (laboratório). Ambas as técnicas possuem o mesmo princípio, arrastar o óleo volátil através do vapor, apresentando diferença quanto ao preparo do material de origem do óleo. Para determinar a quantidade de óleo produzida pelas árvores de diferentes idades pelo método tradicional de arraste a vapor, a biomassa da copa foi conduzida ao pátio da destilaria em Maués, sendo destilada 72 horas após a poda. Para tal o material passou por um moinho de facas e através de uma esteira foi diretamente alocado ao lado dos tonéis destiladores, feitos de aço inoxidável. Esses tonéis receberam cavacos de madeira de pau-rosa nas extremidades (abaixo e acima das folhas e galhos triturados), de forma que os galhos e folhas moídos não ficassem em contato direto com o calor e posteriormente água. Com o aquecimento o óleo contido no material é arrastado através do vapor de água, que passando por uma serpentina resfriada condensa-se, liquefazendo-se. A separação do óleo e da água acontece naturalmente por densidade e a coleta do óleo foi feita cuidadosamente com auxílio de frascos de vidro. O óleo foi então pesado, acondicionando em frascos de vidro fosco e encaminhado a Manaus.

Para a extração do óleo pelo sistema de hidrodestilação de Clevenger, amostras compostas de 1 Kg de galhos e folhas de cada plantio foram armazenadas em sacos de papel ainda em campo, para evitar a exposição do material à luz e a perda dos

componentes voláteis. No final da coleta diária os sacos de papel foram abertos em local com sombra para uma pré-secagem, em temperatura ambiente, durante dois dias, e posteriormente, armazenados em sacos de papel, e estes em sacos plásticos bem fechados.

Em laboratório, o material foi colocado para secagem a 65 °C até a obtenção do peso seco constante. Após a secagem em estufa, o material passou pelo processo de moagem, em moinho de facas e depois foi colocado em frascos de polietileno e então acondicionado em congelador para evitar perda de constituintes voláteis.

No laboratório de biomoléculas da Amazônia pertencente à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), foram pesados 25 g do material para cada uma das triplicatas feitas. Esse material foi colocado juntamente com 250 ml de água destilada, em balão volumétrico com capacidade para 500 ml. A extração foi feita através do método de arraste à vapor, com o auxílio do sistema de hidrodestilação de Clevenger, com tempo de extração de três horas, contado após o início da destilação (extração da primeira gota de óleo). O óleo foi acondicionado em pequenos frascos de vidro com capacidade de 10 mL. Posteriormente, foi utilizado sulfato de sódio (Na₂SO₄ anidro) para a retirada da água do óleo, que foi armazenado sob refrigeração para evitar perdas de constituintes voláteis. A partir dos resultados obtidos na extração do óleo essencial dos galhos e folhas no laboratório e na destilaria produtiva de Maués, o rendimento médio do óleo produzido foi calculado através da fórmula:

$$\text{Rendimento do óleo} = \frac{\text{Peso do óleo extraído} \times 100}{\text{Peso de matéria seca}}$$

Para o cálculo de rendimento do óleo obtido na destilaria produtiva de Maués foi adicionado um fator de correção do peso. Por motivo de ordem prática todo o material foi pesado em campo, o que representa peso de matéria fresca. Uma pequena parte do material (5 kg) de cada idade foi dividida em quintuplicatas e levada à estufa até atingir peso constante. Foi obtida uma média representativa da amostragem para ser usada como conversor do peso fresco em peso seco. As análises da quantificação de biomassa e rendimento em de óleo foram baseadas nas médias de produção de biomassa obtida da poda de 100 %.

2.3.4. Estimativa da qualidade do óleo essencial

Para determinação da qualidade dos óleos extraídos na destilaria produtiva de Maués e no laboratório de biomoléculas da UFAM, amostras em triplicatas de cada método e idade foram enviadas ao Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis (LAPEC), da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

A estimativa da qualidade foi feita por cromatografia gasosa com detector de ionização de chamas (CG-FID), sendo observado no cromatograma gerado, o tempo transcorrido desde o instante da introdução da amostra ao instante de máximo pico (tempo de retenção), além das respectivas áreas internas do picos, que são proporcionais a concentração das substâncias constituintes dos óleos. Foi observada a área sob o pico majoritário, conhecidamente o linalol, ou seja, utilizou-se o ponto forte da técnica de cromatografia gasosa, que é excelente para análises quantitativas (Bonato, 2006).

A técnica de desenvolvimento usada em cromatografia é a eluição. Uma corrente de gás passa continuamente por uma coluna e, quando a amostra vaporizada é introduzida rapidamente nessa corrente de gás, ela é arrastada através da coluna. As substâncias presentes na amostra depois de separadas chegam ao detector, que gera um sinal para o sistema de registro de tratamentos de dados, gerando o cromatograma. Este cromatograma foi gerado utilizando cromatógrafo Varian CP3800, equipado com injetor split, injetando 1 μ L da amostra diluídas em hexano P.A. A temperatura do injetor foi de 250 °C, operando com temperatura programada iniciando a 80 °C, a uma razão de aquecimento de 8 °C por minuto até 150 °C, passando a aquecer 30 °C por minuto até 250 °C por um tempo de 10 minutos. A temperatura do detector foi de 300 °C. Utilizou-se a coluna capilar com fase estacionária em 100 % dimetilpolisiloxano (15 m x 0,25 mm x 0,25 μ m) e gás de arraste hélio.

2.3.5. Avaliação do estado nutricional das árvores de pau-rosa

As amostras coletadas da copa da árvore foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e levadas ao Laboratório Temático de Solos e Plantas, INPA. Em seguida, foram colocadas para secar em estufa com ventilação forçada e temperatura controlada

entre 60-65 °C, por um período mínimo de 72 horas, até atingir peso constante. Após a secagem, o material foi moído em moinho de facas e posto em frascos de polietileno. Esse processo foi repetido para as 30 amostras compostas (10 por plantio). A obtenção dos teores de macro e micronutrientes foi feita da seguinte forma para cada elemento:

1) C

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

2) N

Utilizando o equipamento VARIO MAX CN

3) P

Utilizando o método molibdato de amônio. Sua leitura foi realizada no espectrofotômetro UV-VIS-120-01 (Embrapa, 1999);

3) K, Ca, Mg, Mn, Fe e Zn .

Por meio de obtenção do extrato por via úmida (solução digestora nitroperclórica: HNO₃ e HClO₄ concentrados, na relação 2:1), segundo Malavolta *et al.*, (1997). Os teores foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, em chama de ar-acetileno. As análises foram realizadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas do INPA e Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa.

2.4. Análise dos dados

As análises da quantificação de biomassa, nutrientes, rendimento em óleo e retorno financeiro foram baseadas nas médias de produção de biomassa obtida com a poda de 100 %.

Os dados dendrométricos e a as médias da biomassa de galhos e folhas de árvores submetidas á intensidade de poda de 100 % foram testados com uma ANOVA simples. Sempre que esta indicou haver diferença estatística significativa realizou-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Para o tratamento dos dados

dendrométricos, não foi possível a comparação de plantios com espaçamentos diferentes, uma vez que tal situação caracteriza a falta de controle local, premissa básica da pesquisa científica.

Os dados de nutrição foram avaliados conjuntamente através da análise de componentes principais (ACP) apresentada no capítulo 1 do presente estudo e posteriormente foram submetidos à ANOVA. A relação entre a nutrição e os parâmetros de crescimento foi avaliada através da correlação de Pearson ao nível de 5 % de probabilidade.

Com relação à qualidade do óleo foi feita uma ANOVA com as médias dos teores de linalol dos óleos de diferentes idades obtidos pelos diferentes métodos. Para as discussões dos teores de linalol e também sobre o retorno econômico foi utilizada a estatística descritiva.

As análises estatísticas foram efetuadas com o auxílio dos programas *SYSTAT 12* e *PAST* para todas as variáveis analisadas.

3. RESULTADOS

3.1. Variáveis dendrométricas

Os dados dendrométricos e da biomassa de galhos e folhas de árvores submetidas à intensidade de poda de 100 %, assim como a comparação pelo teste de Tukey estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Médias e desvios padrões da altura total (HT), diâmetro a altura do peito (DAP) e biomassa fresca da copa das árvores de pau-rosa (*A. rosaeodora*), em plantios de 4, 10 e 20 anos de idade.

Plantio (anos)	HT (m)	DAP (cm)	Biomassa (kg)
4	4,41± 0,74 a	8,23 ± 1,78 a	21,52 ± 7,14 a
10	8,30± 1,63b	11,63 ± 1,63 b	42,20 ± 16,68 b
20	9,45± 1,92	13,27 ± 1,93	61,82 ± 22,56

HT = Altura total; DAP = Diâmetro à altura do peito. Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

3.2. Nutrição foliar

Para os teores em apresentação nas figuras e tabelas e também nas apresentações das análises estatísticas foram utilizadas as unidades usuais, C e N em “%”, P, K, Ca e Mg em g kg^{-1} Fe, Zn e Mn em “ mg kg^{-1} ”. Os elementos gráficos foram separados por unidades e por magnitude dos dados, para que não houvesse dificuldade de interpretação dos mesmos. Os teores de todos os elementos avaliados encontram-se na tabela 14.

Com os valores brutos dos elementos e mais a relação C/N foi verificada a tendência de agrupamento dos dados através da ACP (apresentada no capítulo 1 desta dissertação) assim como a verificação dos elementos de maior peso para esta tendência. Na figura observa-se uma separação dos plantios de 10 e 20 anos em relação ao de 4 anos que ficou totalmente agrupado e localizado a esquerda dos demais. A variável de maior correlação com o eixo 1 da ACP foi o teor de fósforo (0,40) seguido do teor de nitrogênio (0,39) e para o eixo 2 da ACP foi o teor de cálcio (0,57) e de magnésio (0,47). As correlações dos teores com os eixos de componentes principais e os valores de explicação estatística também foram apresentados no capítulo 1 do presente estudo.

Tabela 14: Teores dos elementos no tecido foliar de pau-rosa com 4, 10 e 20 anos.

<i>Área</i>	<i>C</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Fe</i>	<i>Zn</i>	<i>Mn</i>
	-----%-----		----- g kg^{-1} -----				----- mg kg^{-1} -----		
Plantio 4 anos	51,29	1,83	0,32	5,31	1,87	0,52	36,70	5,90	19,60
Plantio 10 anos	51,26	2,14	0,66	7,51	1,35	1,00	47,30	9,30	28,60
Plantio 20 anos	51,49	2,13	0,63	8,15	0,96	0,94	56,4	9,40	22,70

3.2.1. Relação entre a nutrição e as variáveis dendrométricas.

Para o melhor entendimento da relação entre as variáveis dendrométricas e a nutrição, foram construídas matrizes de correlação entre o DAP, Altura total e os “scores” da ACP do tecido foliar para cada idade (tabelas 15, 16 e 17).

Tabela 15: Matriz correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o *status* nutricional das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) no plantio de 4 anos de idade.

	HT	DAP	Biomassa
DAP	-0,004 (0,990)		
Biomassa	0,077 (0,832)	0,628 (0,052)	
Nutrição	-0,501 (0,141)	0,246 (0,492)	-0,063 (0,862)

Biomassa da copa; DAP = Diâmetro à altura do peito; HT = Altura total e “scores” de nutrição. O valor entre parênteses corresponde à probabilidade.

Tabela 16: Matriz de correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o *status* nutricional das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) no plantio de 10 anos de idade.

	HT	DAP	Biomassa
DAP	0,208 (0,564)		
Biomassa	0,287 (0,421)	0,852 (0,002)	
Nutrição	-0,22 (0,541)	0,073 (0,842)	-0,162 (0,655)

Biomassa da copa; DAP = Diâmetro à altura do peito; HT = Altura total e “scores” de nutrição. O valor entre parênteses corresponde à probabilidade.

Tabela 17: Matriz de correlação entre as variáveis dendrométricas, a biomassa da copa e o *status* nutricional das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) no plantio de 20 anos de idade.

	HT	DAP	Biomassa
DAP	0,540 (0,107)		
Biomassa	0,699 (0,025)	0,924 (0,000)	
Nutrição	-0,289 (0,419)	-0,253 (0,481)	-0,223 (0,536)

Biomassa da copa; DAP = Diâmetro à altura do peito; HT = Altura total e “scores” de nutrição. O valor entre parênteses corresponde à probabilidade.

As análises da variância feitas com os “scores” do eixo 1 da ACP indicam diferenças nutricionais entre os plantios de 4, 10 e 20 anos, sendo o plantio de 4 anos diferente dos demais ($p < 0,01$). Não houve diferença estatística significativa entre os

plantios de 10 e 20 anos ($p = 0,998$) e também para os “scores” do eixo 2 da ACP (figura 14 – capítulo 1).

3.3. O óleo e os métodos de destilação.

Com relação ao rendimento em óleo de cada idade para cada método, os resultados apontam que as médias são maiores para a extração de óleo em laboratório, embora não apresentarem diferença estatística significativa (tabela 18). Esta tendência é melhor observada na gráfico dos intervalos de confiança (figura 18).

Tabela 18: Rendimento médio dos dois métodos e das 3 idades em questão.

Plantio (anos)	Método de destilação	Rendimento médio (%)
4 anos	Laboratório	1,45 a
	Destilaria	1,22 a
10anos	Laboratório	1,20 a
	Destilaria	1,03 a
20 anos	Laboratório	1,39 a
	Destilaria	1,21 a

Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

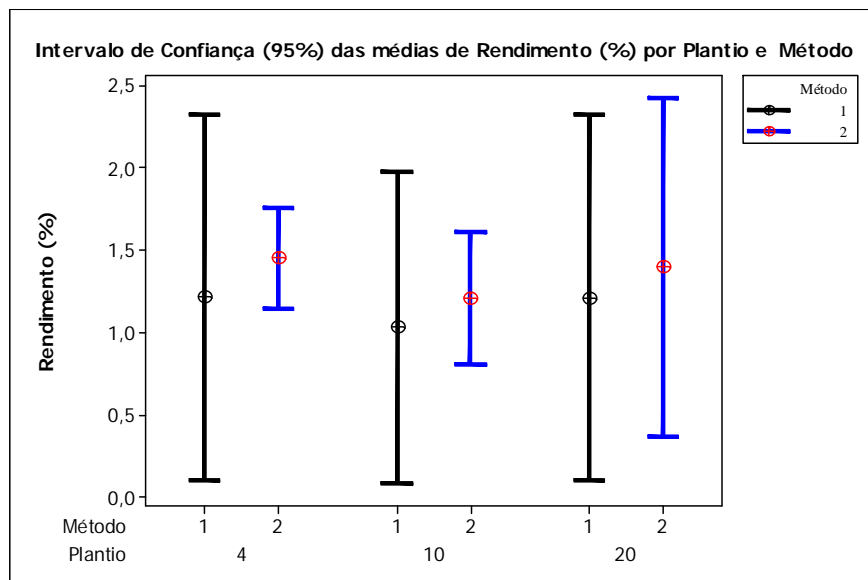


Figura 18: Gráfico de intervalo de confiança das médias de rendimento por plantio e método.

Devemos frisar que o rendimento em si não é isoladamente o fator mais importante a ser considerado quando se esta avaliando plantios comerciais desta espécie. As indústrias de perfumaria fina mundial têm foco principal voltado para o linalol existente no óleo de pau-rosa. Este é um composto majoritário do óleo que tem função fixadora de perfumes e é acompanhado por um buquê de fragrâncias único. Caso o rendimento em óleo seja alto e o teor de linalol seja baixo, assim como outras substâncias de interesse, o óleo passará então a render menos para a indústria o que é depreciativo.

Nesse contexto, foi feita uma estimativa da qualidade dos óleos de 4, 10 e 20 anos obtidos pelos dois métodos através de cromatografia gasosa. O perfil dos cromatogramas dos óleos comerciais permite que se observem adulterações grosseiras quando comparado com outro óleo (Veiga Jr, 1997). Neste estudo comparou-se o perfil dos óleos de pau-rosa de diferentes idades e obtidos de diferentes formas.

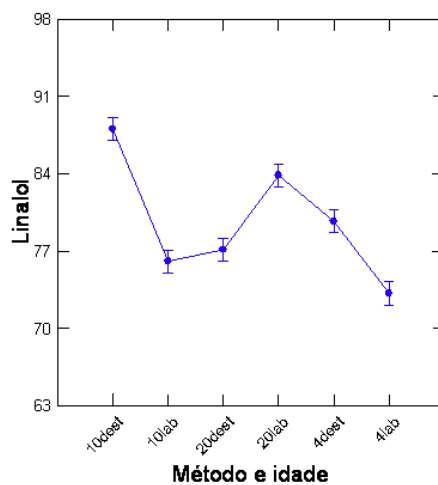
Essa estimativa foi realizada única e exclusivamente considerando a concentração de linalol representado pela área sob o maior pico do cromatograma. É possível observar nos cromatogramas, um mesmo padrão dos picos de acordo com o tempo de retenção. Por definição chamamos de tempo de retenção de uma substância, ao tempo transcorrido desde o instante da introdução de uma amostra na coluna ao instante de máximo pico. A área sob o pico é proporcional à massa ou concentração de um determinado material. Nos casos ideais cada substância produz um pico separado,

porém na prática, podem ocorrer sobreposições parciais ou totais. Sabe-se que o composto de maior concentração e, portanto, de maior pico no cromatograma é o linalol. Com os dados de área sob os picos obtivemos então os teores de linalol. Os resultados estão apresentados na tabela 19. Os cromatogramas estão apresentadas no anexo 2 da presente dissertação.

Tabela 19: Estimativa da qualidade pelo teor de linalol.

Plantio (anos)	Método de destilação	Teor de Linalol
4 anos	Laboratório	73,19
	Destilaria	79,71
10anos	Laboratório	76,10
	Destilaria	88,05
20 anos	Laboratório	83,87
	Destilaria	77,15

A análise da variância feita identificou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,01$) para o teor de linalol, embora as médias estejam dentro da faixa já conhecida para o pau-rosa brasileiro (75% a 90%). A análise feita esta apresentada na figura 19.



$$F = 27,868; p = 0,000$$

Figura 19: Médias e desvio padrão dos teores de linalol por idade e método.

Para deixar clara a rentabilidade econômica do Pau-rosa, foi feita uma estimativa de retorno em dinheiro com as médias de rendimento obtido na destilaria de Maués.

Considerando os espaçamentos e o preço do óleo na faixa de \$ 100, 00 / kg o retorno financeiro por hectare é apresentado na tabela 21.

Tabela 20: Estimativa do retorno financeiro pela obtenção de óleo nos plantios de Maués.

Idade (anos)	Espaçamento	P v (1 árvore)	Ps (kg)	Po (kg)	Óleo/ha (kg)	Montante (\$/ha)
4	3x4	21,52	11,19	0,14	113,77	11.376,91
10	3x4	42,20	21,94	0,23	188,35	18.835,27
20	5x5	61,83	32,15	0,39	155,60	15.560,12

Pv = Pese verde médio; Ps = Peso seco médio; Po = Peso de óleo médio.

4. DISCUSSÃO

Analisando os dados dendrométricos, a biomassa fresca da copa e a ANOVA feita, verificamos a existência de dois grupos de comportamento distintos. O primeiro composto pelos dados de DAP e altura total, que obtiveram diferença estatística significativa ($p < 0,01$) para diferenciar o plantio de 4 anos de idade. E um segundo grupo no qual foram encontradas diferenças estatísticas ($p < 0,01$) para a produção de biomassa da copa.

É importante destacar que o espaçamento do plantio de 20 anos difere dos demais e, portanto, no presente estudo era esperado um maior DAP dos indivíduos dessa idade. Takeda (2008) estudando biomassa de galhos e folhas de pau-rosa plantados em espaçamentos distintos encontrou maiores valores de altura, diâmetro à altura do peito, diâmetro da copa e de biomassa para espaçamentos maiores. Resultados similares foram observados neste estudo, onde a média da biomassa da copa do plantio de 20 anos foi significativamente maior (5%) que dos plantios de 10 anos.

Desconsiderando as diferenças no espaçamento, se faz necessário reconhecer a fase de desenvolvimento da planta. Os incrementos em diâmetro de 4 para 10 e de 4 para 20 anos foram de 88 % e 114,3 % respectivamente, enquanto que de 10 para 20 anos, o incremento foi de 13,8 %. Estes resultados estão de acordo com os de Takeda, que encontrou um aumento de mais de 50 % em todas as variáveis dendrométricas analisadas por ela no plantio de 5 anos de idade após um crescimento inicial lento.

Quanto a biomassa da copa isoladamente, resultados semelhantes foram encontrados por Rondon (2002), avaliando o crescimento e produção de biomassa da espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, aos 5 anos de idade, obtendo maior biomassa aérea das plantas em espaçamentos maiores. O mesmo foi observado por

Rondon (2006) em povoamentos de *Tectona grandis* L.f., onde o espaçamento de 3,0 m x 4,0 m possibilitou maior produção de biomassa.

Entretanto Sampaio *et al.* (2005) estimaram uma produção de 12 ton ha⁻¹ de biomassa de galhos e folhas para plantios de pau-rosa com 37 anos, em espaçamento 10,0 m x 5,0 m. Este dado é menor do que o nosso menor valor de biomassa da copa, encontrado para o plantio de 4 anos de idade (17,93 ton/ha). Este fato pode estar relacionado com a disponibilidade de radiação solar, nutrientes do solo e diversos outros fatores inerentes ao ambiente de floresta clímax da Reserva Florestal Adolpho Ducke, onde o estudo foi conduzido. Além disso, árvores com 37 anos de idade podem apresentar crescimento mais lento, como verificado para os dados de DAP nas idades avançadas (em condições de plantio) na discussão supracitada.

Numa outra vertente percebe-se que do espaçamento 3,0 m x 4,0 m até 10,0 m x 5,0 m podem existir diversas outras magnitudes de espaçamento, podendo o número de indivíduos ter afetado o resultado de tal comparação. Entretanto em espaçamentos mais densos, é relatado que o aumento da competição entre as plantas resulta na estabilização do acúmulo de biomassa em menor idade que aquela observada em espaçamentos mais amplos, (Bernardo, 1995).

Pelos resultados encontrados pode-se verificar que a idade e o espaçamento influenciaram na produção de biomassa da copa das árvores. Quando considerada a média das 10 árvores amostradas, o plantio de 20 anos em espaçamento 5,0 m x 5,0 m, produziu maior biomassa de galhos e folhas em relação à biomassa da copa das árvores dos plantios de 4 e 10 anos, com espaçamento de 3,0 m x 4,0 m.

É importante frisar que esses dados isoladamente não determinam as formas de manejo através da poda da copa da árvore, pois quando se pensa em poda, pensa-se em biomassa de rebrota. Takeda (2008), comparando plantas de 3 e 5 anos de idade, encontrou uma maior produção de biomassa da rebrota para o plantio de 3 anos, cerca de 3 vezes a biomassa inicial total da copa antes da poda. Portanto para fins de manejo devemos considerar os dois tipos de dados: A biomassa total da copa na primeira poda e a capacidade de rebrota, considerando também a velocidade do crescimento inicial e tardio. Encontrando um ponto ótimo entre esses dois âmbitos de estudo, o manejo através da poda da copa tornar-se-á otimizado. Um exemplo claro estão nos resultados de Takeda (2008), que ao contrário do plantio de 3 anos, encontrou para um plantio de 5 anos uma produção de biomassa da rebrota de galhos e folhas (13 ton ha⁻¹) inferior a biomassa da copa das árvores (24 ton ha⁻¹) obtida com a poda de 100% no início do

experimento, demonstrando que a espécie *Aniba rosaeodora* aos 5 anos possui menor capacidade de brotação do que aos 3 anos.

Com relação à nutrição do pau-rosa, esta foi discutida no capítulo 1 da presente dissertação, ficando para o presente momento as correlações entre estes dados e as variáveis dendrométricas além da biomassa da copa. Quando colocados em análise os dados de nutrição e os dados dendrométricos, verifica-se que não houve correlação positiva significativa para todos os plantios.

A mesma tendência foi observada para o pau-rosa em condições de plantio por Takeda (2008), diferindo de estudos feitos por Ferraz *et al.* (1997) em floresta primária. Correlações positivas foram encontradas entre os dados de DAP e biomassa da copa, mostrando padrão de correlação maior (0,92 e $p < 0,01$) para os plantios mais velhos. Esta tendência também está de acordo com os resultados de Takeda (2008) que encontrou correlação positiva entre o DAP e a biomassa, porém não tão fortemente como no presente estudo. Novamente as condições de plantio homogêneo, com destaque para o espaçamento, que no estudo de Takeda era reduzido, pode ter sido a variável de maior peso na explicação de tais resultados.

Com relação ao rendimento em óleo obtido da biomassa da copa das árvores, espaçamento e intensidade de poda (no caso de rebrotas) são fatores que determinam a biomassa de galhos e folhas (Sampaio, 2008). Estudos indicam que quanto maior a biomassa de galhos e folhas das árvores de pau-rosa, maior será a produtividade de óleo (Chaar, 2000), ratificando a relação direta entre biomassa e quantidade em óleo.

As médias do rendimento em óleo de galhos e folhas de pau-rosa de todas as idades são, por vezes, superiores e outras vezes inferiores quando comparados com outros estudos com a espécie. Leite *et al.* (2001), observaram rendimentos de óleo de 1,1% de folhas jovens. Porém, Ohashi *et al.* (1997) encontrou o rendimento médio de folhas de árvores adultas de pau-rosa de 2,6 % .

Deve-se considerar que a poda das árvores de pau-rosa deste estudo, foi realizada no início da estação chuvosa, sendo a estação de seca a época de maior rendimento de óleo (Vitti & Brito, 1999; Melo *et al.*, 2004). Lima *et al.* (2007) observaram que folhas de pau-rosa coletadas na estação seca tiveram o rendimento de 2,3 %, enquanto que no período chuvoso o rendimento foi de 2,1 %. Resultados estes superiores aos encontrados no presente estudo e também aos encontrados por Cunha (2002), estudando a mesma espécie, cujo rendimento variou entre 1,2 % e 1,6 %.

Com relação ao rendimento médio dos óleos obtidos das diferentes idades por diferentes métodos, no presente estudo não foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Pela análise do gráfico do intervalo de confiança entende-se por um lado que a extração do óleo na destilaria de Maués apresentou maior dispersão em torno da média para todos os plantios. Por outro lado observa-se que o método de extração do óleo em laboratório apresentou médias superiores (embora não significativamente) em relação às médias do método de extração na destilaria para todos os plantios, indicando uma tendência. Estes resultados, possivelmente foram influenciados pelo rigoroso controle de todo processo, com destaque para a secagem das amostras de galhos e folhas, resultando na maior quantidade de óleo no final da extração e evitando a possível perda de constituintes químicos voláteis.

Observa-se ainda, que nos plantios de 4 e 10 anos a dispersão dos dados de rendimento em torno da média da extração feita na destilaria apresentou maior magnitude do que a dispersão dos dados da extração em laboratório, sendo esse método mais preciso, o que tem substancial importância quando se pensa em escala comercial. No entanto no plantio de 20 anos essa diferença não aconteceu da mesma forma que nos outros plantios, sendo esta dispersão de dados em torno da média muito parecida com a dispersão apresentada na extração em laboratório.

Lembramos que o rendimento em si não é isoladamente o fator mais importante a ser considerado quando se está avaliando plantios comerciais desta espécie. As indústrias de perfumaria fina mundial têm foco principal voltado para o linalol existente no óleo de pau-rosa. Este monoterpeneo é um composto majoritário do óleo que tem função fixadora de perfumes e é acompanhado por um buquê de fragrâncias. Caso o rendimento em óleo seja alto e o teor de linalol seja baixo, o óleo passará então a render menos para a indústria o que é depreciativo.

Neste contexto, a qualidade dos óleos observada pelos perfis dos cromatogramas (apêndices m, n, o, p, q, e r) não diferem, sendo observados picos similares nas mesmas regiões de retenção (com os mesmos tempos de retenção), mostrando, numa análise prévia, que independentemente da idade, o óleo obtido é o mesmo. É importante frisar que as diferenças observadas no número de picos são decorrentes da relação inversa existente entre o teor de linalol e as demais substâncias. Quando observamos os cromatogramas do óleo obtido do plantio de 10 anos de idade, percebemos um menor número de picos identificados. Entretanto observando os teores de linalol, percebe-se que o óleo desta idade, em especial o obtido no laboratório, tem os maiores valores. Isto significa dizer que

quanto maior o teor de linalol no óleo, menores teores de outras substâncias foram encontradas. Este fato explica o menor número de picos neste óleo, pois a reduzida concentração das substâncias extrapolaram a sensibilidade de detecção do aparato tecnológico utilizado. Apesar de a cromatografia gasosa ser uma técnica com um poder de resolução excelente, e que o seu uso acentuado deve-se também aos baixos limites de detecção (Bonato, 2006), no presente estudo a sensibilidade de detecção não foi suficiente para considerar pequenos picos, nos casos em que foram encontrados maiores picos de linalol.

De maneira geral, não se verificou grandes variações no teor de linalol nas diferentes idades e métodos. Entretanto observando a ANOVA feita com os teores de linalol e as comparações feitas por meio do teste de Tukey, foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as idades e métodos (apêndice s).

Os teores de linalol encontrados no presente estudo foram superiores aos encontrados por Takeda (2008). O conteúdo de linalol pode variar de acordo com a variação da estação climática, onde esta redução pode estar associada ao aumento da temperatura. Considerando o período de coleta das amostras de folhas deste estudo (dezembro), obtivemos resultado distinto ao de Takeda (2008), que realizou coletas em setembro. Lima *et al.* (2007) encontraram maior teor de linalol no óleo proveniente das folhas de pau-rosa coletadas no período chuvoso, com 73,9 % em detrimento do período de menor precipitação (62,6 %).

De acordo com estudos feitos por Freitas *et al.* (2005), o teor de linalol do óleo obtido de plantios a pleno sol (57 %) foi inferior ao obtido sob sombra, pois com o aumento da temperatura ocorre maior perda de linalol, por ser um componente muito volátil. Teores semelhantes aos encontrados neste estudo foram publicados por Ohashi *et al.* (1997) que observaram teores de linalol na faixa de 73 – 78 %.

Observa-se que o óleo de 10 anos obtido na destilaria teve o menor rendimento entre todos analisados, porém obteve a maior concentração de linalol. Fazendo um cálculo simples de rendimento em linalol, no presente estudo os dados de rendimento tiveram maior peso do que os dados de teores de linalol. Possivelmente, esta tendência está sendo influenciada pela magnitude dos desvios em torno da média, que resultou 6,85 % para os valores de linalol e 12,02 % para os de rendimento. Esta influência pode ser observada pelos menores valores de rendimento em linalol do óleo de 10 anos, tanto o obtido na destilaria quanto o obtido em laboratório (0,90 % e 0,91 % respectivamente), óleo este que teve os maiores valores de rendimento. Os maiores

valores de rendimento em linalol foram observados para o óleo de árvores de 20 anos obtido em laboratório e para o de árvores de 4 anos, também obtido em laboratório (1,16 % e 1,06 % respectivamente).

Com relação ao retorno financeiro por hectare, foi observada a influência do espaçamento. Embora haja uma relação direta entre a biomassa e a quantidade de óleo obtida, para o plantio com 10 anos de idade um espaçamento menor foi responsável por uma maior biomassa por hectare, resultando um maior retorno econômico. Considerando o manejo proposto e considerando a quantidade de biomassa e o rendimento em óleo iguais aos da primeira exploração, podemos encaixar 3 ciclos de poda a partir dos 4 anos de idade, obtendo no final dos ciclos uma planta com idade inferior aos 20 anos. Entretanto, as podas periódicas são capazes de gerar rebrotas mais vigorosas, aumentando a produção de biomassa vegetal, e possibilitando assim maior produção de óleo essencial (Chaar, 2000).

Em economia, a paralisação de variáveis é utilizada para a discussão de outras, sendo usualmente utilizado o termo em latim *ceteris paribus*. A condição *ceteris paribus* é usada na economia para fazer uma análise de mercado da influência de um factor sobre outro, sem que as demais variáveis sofram alterações em razão da complexidade da análise, onde existe um número indeterminado de variáveis de influência remota que podem, eventualmente, desconectar a observação do resultado. Lançando mão desta condição, nesta projeção, as três extrações originaria um retorno econômico cerca de 81,19 % por hectare maior do que uma única poda realizada aos 10 anos, ou 119,3 % por hectare maior do que aos 20 anos de idade, considerando os espaçamentos reais.

Através do exposto neste estudo é correto afirmar que o manejo dos plantios de pau-rosa através do sistema de poda da copa das árvores oferece grandes vantagens e mostra-se como alternativa de uso e conservação da espécie, contribuindo para diminuir a pressão da exploração de corte raso das populações remanescentes existentes na Amazônia, além de reduzir os custos de implantação dos plantios e de produção do óleo essencial, devido à presença do sistema radicular já formado das árvores podadas, facilitando a absorção de água e nutrientes do solo (Sampaio *et al.*, 2007).

Entretanto são necessários estudos complementares nos diversos âmbitos de estudo que tangem o manejo de plantios de pau-rosa. O que propomos são experiências silviculturais de sucessivas podas a partir de diferentes idades juvenis e diferentes espaçamentos. Desta forma poderemos chegar à idade ideal de realização da primeira

poda e o tempo transcorrido para realização das podas subseqüentes, com os dados de quantificação de biomassa, rendimento e qualidade do óleo.

5. CONCLUSÕES

- A maior produção de biomassa total da copa de árvores de pau-rosa foi obtida no plantio de 20 anos de idade;
- A maior produção de biomassa de galhos e folhas por hectare foi a do plantio de 10 anos de idade, assim como o retorno econômico devido ao efeito do espaçamento;
- Plantios com 4 anos de idade podem ser manejados pela poda da copa da árvore, tendo em vista o padrão único do rendimento e a qualidade do óleo extraído;
- A obtenção de óleo a partir do manejo da copa deve considerar a velocidade de crescimento do estágio de realização da poda, pois esta é maior em idades juvenis, e esta diretamente ligada ao vigor das rebrotas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, J.C.; Fernandes, N. P. 1978. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies, Pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm.). *Acta Amazonica* 8(4): 523-541.

Araújo, V.C.de; Corrêa, G.C.; Maia, J.G.S.; Silva, M.L.da; Gottlieb, O.R.; Marx, M.C.; Magalhães, M.T. 1971. Óleos essenciais da Amazônia contendo linalol. *Acta Amazonica* 1 (3): 45-47.

Araújo, M.H.T.; Sampaio, P.T.B.; Vieira, G.; Spironello, W.; Useche, F. L.; Bruno, F.M.S. 2005. Sobrevivência e crescimento de plantas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em clareiras artificiais abertas em capoeiras. In *VI Simpósio Nacional e Congresso Latino-americano sobre Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD*, Curitiba, PR.

Bizzo, H.R. 2009. Oleos essenciais no Brasil: Aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química nova*, v.32, N^o 3, 588-594, 2009.

Bernardo, A.L. 1995. *Crescimento e eficiência nutricional de Eucalyptus spp. sob diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 102 p.

Bonato, P.S., 2006. Cromatografia Gasosa, p. 203 – 272. In: Collins *et. al*, 2006. Fundamentos de cromatografia. Universidade de Campinas, São Paulo, SP.

- Caldeira, M.V.W.; Schumacher, M.V.; Tedesco, N.; Santos, E.M.dos. 2000. Ciclagem de nutrientes em *Acacia mearnsii* DE WILD. V. *Ciência Rural* 30 (6): 977-982.
- Caldeira, M.V.W.; Rondon Neto, R.M.; Schumacher, M.V. 2003. Conteúdo e exportação de micronutrientes em acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) procedência Batemans Bay (Austrália). *R. Árvore* 27 (1): 9-14.
- Castro, O.M. 1995. Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo. In: Anais do 1º *Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas*. Curitiba, Paraná. p.34-42.
- Castro, S.W.V.de; Farias Neto, J.T.de; Cavalcante, E.da S. 1998. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). *Acta Amazonica* 28 (2): 141-146.
- Castro, N.E.A.; Carvalho, G.J.; Cardoso, M.G.; Pimentel, F.A.; Correa, R.M.; Guimarães, L.G.L. 2008. Avaliação de rendimento e dos constituintes químicos do óleo essencial de folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook. colhidas em diferentes épocas do ano em municípios de Minas Gerais. *Rev. Bras. Pl. Med.* 10(1): 70-75.
- Chaar, J.da S. 2000. *Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie Aniba duckei* Kosterm. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, São Paulo. 125 p.
- City Brazil.2010. *Maués*. <http://www.citybrazil.com.br/am/maues/geral.htm> . Acessado em: 20 ago. 2010.
- Cunha, L.N. 2002. *Influência sazonal no teor de linalol da espécie Aniba duckei* Kosterm. *plantadas em ambiente natural*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1999. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, RJ.

- Farias, J.M.R.; Davide, A.C.; Botelho, S.A. 1997. Comportamento de espécies florestais em área degradada, com duas adubações de plantio. *Revista Cerne* 3 (1): 1-20.
- Ferraz, J.B.S.; Higuchi, N.; Santos, J.dos; Biot, Y.; Marques, F.; Baker, K.; Baker, R.; Hunter, I.; Proctor, J. 1997. *Distribuição de nutrientes nas árvores e exportação de nutrientes pela exploração seletiva de madeira*. Relatório Final - Projeto Bionte. MCT-INPA- DFID. p. 133-149.
- Freitas, M.S.de; Santos, A.T.C.dos; Barbosa, A.P.; Chaar, J.da S. 2005. Produção de óleo de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) a partir de mudas plantadas. In: *II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel*, UFLA, Varginha, Minas Gerais. p. 433-438.
- Higa, R.C.V.; Sturion, J.A. 2000. Efeito do espaçamento na capacidade de brotação de *Eucalyptus viminalis*. *Bol. Pesq. Fl.*, Colombo, 40: 77-83.
- Higuchi, N.; Santos, J. dos; Ribeiro, R.J.; Minette, L.; Biot, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica* 28 (2): 153-166.
- Kubitzki, K.; Renner, S. 1982. Lauraceae (*Aniba*). *Flora Neotropica, Monograph 31*. New York Botanic Garden, New York.
- Leite, A.M.C.; Quisen, R.C.; Sampaio, P.T.B. 2001. Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) Lauraceae): informações sobre o sistema de plantio e o manejo sustentável da espécie. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, *Documentos 13*. 20 p.
- Lima, R.B.S.; Atroch, E.M.A.C.; Gonçalves, J.F.de C.; Pohlit, A.M.; Chaar, J.da S.; Rocha, D.; Nogueira, K.L. 2007. *Variação no rendimento de óleos voláteis em folhas de árvores de pau-rosa em dois períodos distintos de precipitação, na Amazônia Central*. Livro de resumos da 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Águas de Lindóia, São Paulo.

- Maffeis, A.R.; Silveira, R.L.V.A.; Brito, J.O. 2000. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Florestalis* 57: 87-98.
- Magalhães, L.M.S.; Alencar, J.C. 1979. Fenologia do pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm.), Lauraceae, em floresta primária na Amazônia Central. *Acta Amazonica* 9(4): 23-35.
- Magalhães, L.M.S.; Blum, W.E.H. 1999. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais na Amazônia Ocidental. *Floresta e Ambiente* 6(1): 127-137.
- Malavolta, E. 1992. *ABC da análise de solos e folhas: amostragem interpretação e sugestões de adubação*. São Paulo: Agronômica Ceres. p. 85-98.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. de. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: POTAFOS. 319p.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the Brazilian Amazon: options for sustainable production. *Economic Botany* 58 (2): 257-265.
- Melo, E.de C.; Radünz, L.L.; Melo, R.C.de A. 2004. Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais – Revisão. *Engenharia na Agricultura*, 12 (4): 307-315.
- Ohashi, S.T.; Rosa, L. S.; Santana, J. A. 1997. Brazilian rosewood oil: sustainable production and oil quality management. *Perfumer & Flavorist* 22: 1-5.
- Ohashi, S.T.; Rosa, L.dos S. 2004. Pau-rosa – *Aniba rosaeodora* Ducke. *Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia* (4). 2 p.
- Ohashi, S.T.; Rosa, L.dos S.; Mekdece, F.S. 2004. Influência do diâmetro e da altura de corte das cepas na brotação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). *Rev. Ciênc. Agrár.* 41: 137-144.

- Paiva, H.N.; Jacovine, L.A.G.; Rebeiro, G.T. 2001. Cultivo de eucalipto em propriedades rurais. *In: Rondon, E.V. 2006. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no Estado de Mato Grosso. R. *Árvore* 30 (3): 337-341.*
- Peres, L.E.P. 2002. *Nutrição mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal (Material didático), Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul. 30 p.
- Piva, H.L. 2006. Plantio florestal: oportunidade para um futuro sustentável. *Informativo da Associação Brasileira de Celulose e Papel*, 13 (609). 1p.
- Poggiani, F.; Stape, J.L.; Gonçalves, J.L.de M. 1998. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. *Sér. Téc. IPEF* 12 (31): 33-44.
- Raoul, W. 1985. *Contribuição para o estudo do óleo essencial de pau-rosa do Brasil*. Ministério do Trabalho, Indústria e Comércio, Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro. 33 p.
- Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S.E. 2001. *Biologia vegetal*. 6ª edição. 906 p.
- Reis, G.G.; Reis, M.G.F. 1997. Fisiologia da brotação de eucalipto, com ênfase nas suas relações hídricas. *Sér. Téc. IPEF* 11(30): 9-22.
- Rezende, G.C.; Suiter Filho, W. & Mendes, C.J. 1980. Regeneração dos maciços florestais da Cia. Agrícola e Florestal Santa Bárbara. *In: Barros, N. F.; Teixeira, P. C.; Teixeira, J. L. 1997. Nutrição e produtividade de povoamentos de eucalipto manejados por talhadia. Sér. Téc. IPEF* 30 (11): 79-88.
- Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vincentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.; Lohmann, L.G.; Assunção, P.A.C.L.; Pereira, E.C.; Silva, C.F.; Mesquita, M.R.; Procópio, L.C. 1999. *Flora da reserva Ducke: guia de identificação de plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central*. Manaus, INPA. 816p.

- Roque, C.G.; Prado, R.de M.; Natale, W.; Beutler, A.N.; Centurion, J.F. 2004. Estado nutricional e produtividade da seringueira em solo com calcário aplicado superficialmente. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(5): 485-490.
- Rondon, E.V. 2002. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. *R. Árvore* 26 (5): 573-576.
- Rondon, E.V. 2006. Estudo de biomassa de *Tectona grandis* L.f. sob diferentes espaçamentos no Estado de Mato Grosso. *R. Árvore* 30 (3): 337-341.
- Sampaio, P.T.B.; Vieira, G.; Gomes, L.A.; Leite, A.; Quisen, R. 2000. *Regeneração natural como propágulos para produção de mudas de pau-rosa (Aniba rosaeodora Ducke) em viveiro*. Livro de resumo do 6º Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas (FOREST 2000). Porto Seguro, Bahia, p. 177-180.
- Sampaio, P.T.B.; Ferraz, I.D.K.; Camargo, J.L.C. 2003. Pau-rosa - *Aniba rosaeodora* Ducke – Lauraceae. *Manual de sementes da Amazônia* (3). 7 p.
- Sampaio, P.T.B.; Barbosa, A.P.; Vieira, G.; Spironello, W.R.; Bruno, F.M.S. 2005. Biomassa da rebrota de copas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em plantios sob sombra parcial em floresta primária. *Acta Amazonica* 35 (4): 491-494.
- Sampaio, P.T.B.; Santos, M.C.dos; Vieira, G.; Spironello, W.; Useche, F.L.; Bruno, F.M.S. 2007. Avaliação rebrota da copa das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistema de podas sucessivas. *Acta Amazonica* 37 (1): 55-60.
- SDS – Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2006. Notícias: Semana do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.sds.am.gov.br/noticia.php?xcod=2255>>. Acessado em: 21 mar. 2007.

Takeda, P.S. 2008. Avaliação de biomassa e óleo da rebrota de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* DUCKE) em plantios comerciais submetidos a poda e adubação. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal Rural da Amazônia, Manaus.

Terezo, E. 1972. O extrativismo do pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm. – *A. rosaeodora* Ducke): aspectos silviculturais e econômicos. SUDAM, Belém, Pará. *Documentos da Amazônia* 3 (1/4): 5-55.

Useche, F.L. 2003. *Estabelecimento e desenvolvimento inicial de plântulas de Aniba rosaeodora Ducke em clareiras artificiais*. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal Rural da Amazônia, Manaus. 66 p.

Vieira, A.N. 1970. Aspectos silviculturais do pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm.) I – Estudos preliminares sobre o incremento volumétrico. *In: Alencar, J. C.; Fernandes, N. P.* 1978. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies, Pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm.). *Acta Amazonica* 8(4): 523-541.

Vitti, A.M.S.; Brito, J.O. 1999. Produção de óleo essencial de eucalipto. *IPEF Notícias* 23 (146):11. ESALQ/USP. São Paulo, Piracicaba.

Vitti, A.M.S.; Brito, J.O. 2003. Óleo essencial de eucalipto. *Documentos Florestais* 17: 1-26, ESALQ/USP. São Paulo, Piracicaba.

CONCLUSÃO GERAL

Nossa proposta de estudo foi verificar se o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) pode ser cultivado em solos com histórico de degradação em sistemas de plantios a plena abertura. Estudamos características físicas e químicas dos solos de plantios com 4, 10 e 20 anos de idade, comparando com solos de ambientes com fisionomia de capoeira e floresta adjacentes as áreas dos plantios. Avaliamos a viabilidade técnica do manejo dos plantios pelo sistema de poda de 100% dos galhos e folhas e determinamos a biomassa, o rendimento e a qualidade do óleo e inferimos sobre o retorno financeiro.

Os resultados obtidos permitem concluir que o pau-rosa é uma espécie que pode ser usada em programas de reflorestamento e de recuperação de áreas degradadas por atividade agrícola e pecuária, com o povoamento implantado a plena abertura.

O manejo de plantios pelo método da poda da copa das árvores, pode se consolidar como uma técnica viável para a produção de óleo. O rendimento, a qualidade do óleo e o retorno financeiro estimado do plantio de quatro anos permitem inferir que nesta idade pode ser iniciado o manejo dos plantios.

O pau-rosa é uma espécie ameaçada de extinção e a mudança da cultura do extrativismo para sistemas de plantios contribuirá para diminuir a pressão de exploração das populações naturais remanescentes além de gerar informações que servirão de base na elaboração de políticas para o uso e conservação desta espécie.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Descrição dos perfis de solo dos cinco sítios.

Descrição morfológica dos perfis de solos de Maués

A. Dados gerais

Localização: Maués - Propriedade do Sr. Zanoni Magaldi

Relevo: Plano

Drenagem: desimpedida

Vegetação primária: Floresta primária

Uso atual: Apresenta Fisionomia de capoeira

B. Descrição morfológica

Horizontes / Profundidade/Descrição	Observações:
Horizonte: Ah 1 Profundidade: 0 - 16 cm Cor: Bruno muito escuro (10 YR 2/2) Textura: média - argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistencia seco: Macia Consistencia úmido: Friável Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença abundante de raízes finas e comum raízes grossas	Camadas Ol, Of e oh totalizando 11 cm.
Horizonte: Ah 2 Profundidade: 16 - 34 cm Cor: Bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: média - argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistencia seco: Macia Consistencia úmido: Friável Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença comum raízes grossas	Presença de "linha de cravão" Evidenciando queimadas entre 20 e 23 cm.
Horizonte: Transição Ah - B Profundidade: 34 - 58 cm Cor: Bruno- amarelo-escuro(10 YR 3/4) Textura: Argilosa	

Estrutura: Granular; muito pequena
Consistencia seco: Macia
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Presença comum raízes grossas
Transição: Nitidez gradual e forma plana

Horizonte: B 1
Profundidade: 58 - 92 cm
Cor: Bruno amarelo (10 YR 5/6)
Textura: Argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Ligeiramente duro
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Presença pouco comum de raízes grossas

Horizonte: B2
Profundidade: 92 - 139 cm
Cor: Amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8)
Textura: Argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Ligeiramente duro
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Presença pouco comum de raízes grossas

Horizonte: B 3
Profundidade: 139 - 190 + cm
Cor: Amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8)
Textura: Argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Dura
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Ausentes

O horizonte distingue-se principalmente pela "dureza" ou resistência a penetração da faca e martelo pedológico

A. Dados gerais

Localização: Maués - Propriedade do Sr. Zanoni Magaldi

Relevo: Plano

Drenagem: desimpedida

Vegetação primária: Floresta primária

Uso atual: Apresenta plantio de pau-rosa com 4 anos de idade

B. Descrição morfológica

Horizontes / Profundidade/Descrição	Observações:
Horizonte: Ah 1 Profundidade: 0 - 8 cm Cor: Cinzento muito escuro (10 YR 3/1) Textura: média - argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Solta Consistência úmido: Friável Plasticidade: Não plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença abundante de raízes finas, médias e grossas	Camadas OI, Of e Oh totalizando 5 cm.
Horizonte: Ah 2 Profundidade: 8 - 29 cm Cor: Bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: média - argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Solta Consistência úmido: Ligeiramente dura Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença pouca raízes finas, médias e grossas	Presença de "linha de cravão" evidenciando queimadas na faixa de 14 a 18 cm.
Horizonte: Transição Ah - B Profundidade: 29 - 65 cm Cor: Bruno amarelo (10 YR 5/4) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força fraca Consistência seco: Macia Consistência úmido: Firme Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns	Presença de material em decomposição, como se fosse uma raiz grossa, dando a impressão de descontinuidade da transição.

Coesão: não coeso
Raízes: Quase ausência de raízes
Transição: Nitidez gradual e forma plana

Horizonte: B 1
Profundidade: 65 - 98 cm
Cor: Amarelo brunado (10 YR 6/8)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força fraca
Consistência seco: Ligeiramente dura
Consistência úmido: Firme
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Não pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Ausentes

Horizonte: B2
Profundidade: 98 - 137 cm
Cor: Amarelo (10 YR 7/8)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistência seco: Ligeiramente duro
Consistência úmido: Firme
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Ausentes

Horizonte: B 3
Profundidade: 137 - 190 + cm
Cor: Amarelo avermelhado (7,5 YR 7/8)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistência seco: Ligeiramente duro
Consistência úmido: Muito firme
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Ausentes

A. Dados gerais

Localização: Maués - Propriedade do Sr. Zanoni Magaldi

Relevo: Plano

Drenagem: desimpedida

Vegetação primária: Floresta primária

Uso atual: Apresenta plantio de pau-rosa com 10 anos de idade

B. Descrição morfológica

Horizontes / Profundidade/Descrição	Observações:
Horizonte: Ah 1 Profundidade: 0 - 10 cm Cor: Bruni escuro (7,5 YR 3/2) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Macio Consistência úmido: Muito friável Plasticidade: Não plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença abundante de raízes finas, médias e grossas	Camadas Oi, Of e Oh totalizando 9 cm.
Horizonte: Ah 2 Profundidade: 10 - 26 cm Cor: Bruni acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Macio Consistência úmido: Muito friável Plasticidade: Não plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença comum de raízes finas	Presença de "linha de cravão" evidenciando queimadas na faixa de 15 a 23 cm.
Horizonte: Transição Ah - B Profundidade: 26 - 45 cm Cor: Bruno (10 YR 4/3) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força forte Consistência seco: Macia Consistência úmido: Muito friável Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns	

<p>Coesão: não coeso Raízes: Quase ausência de raízes Transição: Nitidez gradual e forma plana/ondulado</p> <hr/> <p>Horizonte: B 1 Profundidade: 45 - 70 cm Cor: Bruno amarelado (10 YR 5/6) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada Consistencia seco: Macia Consistencia úmido: Muito friável Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Não pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns Coesão: moderadamente coeso Raízes: Ausentes</p> <hr/> <p>Horizonte: B2 Profundidade: 70 - 95 cm Cor: Bruno amarelado (10 YR 5/6) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada Consistencia seco: Macia Consistencia úmido: Muito friável Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns Coesão: moderadamente coeso Raízes: Ausentes</p> <hr/> <p>Horizonte: B 3 Profundidade: 95 - 140 cm Cor: Amarelo brunado (10YR 6/6) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada Consistencia seco: Macia Consistencia úmido: Muito friável Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: moderadamente coeso Raízes: Ausentes</p> <hr/> <p>Horizonte: B 4 Profundidade: 140 - 170+ cm Cor: Amarelo brunado (10YR 6/6) Textura: Argilosa Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada Consistencia seco: Macia</p>	<p>Resquícios de Linha de Cravão por volta dos 100 cm.</p>
--	--

Consistência úmido: Muito friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raízes: Ausentes

A. Dados gerais

Localização: Maués - Propriedade do Sr. Zanoni Magaldi
Relevo: Plano
Drenagem: desimpedida
Vegetação primária: Floresta primária
Uso atual: Apresenta plantio de pau-rosa com 20 anos de idade

B. Descrição morfológica

Horizontes / Profundidade/Descrição	Observações:
Horizonte: Ah 1 Profundidade: 0 - 9 cm Cor: Bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: Areno argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Macio Consistência úmido: Friável Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença abundante de raízes finas, médias e grossas	Camadas Oi, Of e Oh totalizando 10 cm.
Horizonte: Ah 2 Profundidade: 9 - 35 cm Cor: Bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistência seco: Macio Consistência úmido: Friável Plasticidade: Ligeiramente plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raízes: Presença abundante de raízes finas e médias e poucas grossas	Presença de "linha de cravão" evidenciando queimadas na faixa dos 20 cm.
Horizonte: Transição Ah - B Profundidade: 35 - 65 cm Cor: Bruno amarelado (10 YR 5/4)	Variegado de material orgânico. Pouco, grande e distinto, no final

Textura: Argilosa
Estrutura: Granular; muito pequena
Consistencia seco: ligeiramente dura
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: não coeso
Raízes: Quase ausência de raízes
Transição: Nitidez gradual e forma plana

da transição

Horizonte: B 1
Profundidade: 65 - 107 cm
Cor: Amarelo brunado (10 YR 6/6)
Textura: Argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Ligeiramente dura
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raízes: Finas e médias pouco presentes.

Variegado de material orgânico pouco, médio e distinto

Horizonte: B2
Profundidade: 107 - 170+ cm
Cor: Amarelo brunado (10 YR 6/8)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Ligeiramente dura
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raízes: Raízes médias comuns

A. Dados gerais

Localização: Maués - Propriedade do Sr. Zanoni Magaldi
Relevo: Plano
Drenagem: desimpedida
Vegetação primária: Floresta primária
Uso atual: Apresenta Floresta secundária tardia

B. Descrição morfológica

Horizontes / Profundidade/Descrição	Observações:
Horizonte: Ah 1 Profundidade: 0 - 10 cm Cor: Bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistencia seco: Macio Consistencia úmido: Friável Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raizes: Presença abundante de raízes finas e médias	Camadas Ol, Of e Oh totalizando 18 cm.
Horizonte: Ah 2 Profundidade: 10 - 27 cm Cor: Bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistencia seco: Macio Consistencia úmido: Friável Plasticidade: Plástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raizes: Raízes médias e grossa poucas	Presença de "linha de cravão" menos aparente do que nos outros perfis.
Horizonte: Transição Ah - B Profundidade: 27 - 59 cm Cor: Bruni amarelado (10 YR 5/4) Textura: Argilosa Estrutura: Granular; muito pequena Consistencia seco: Macio Consistencia úmido: Friável Plasticidade: Muitoplástica Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns Coesão: não coeso Raizes: Raízes finas comuns Transição: Gradual e plana	
Horizonte: B 1 Profundidade: 50 - 93 cm Cor: Amarelo brunado (10 YR 6/6) Textura: Muito argilosa	

Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Macia
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Muito plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raizes: Raizes finas pouca e grossas comuns

Horizonte: B2
Profundidade: 93 - 156 cm
Cor: Amarelo brunado (10 YR 6/6)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Macia
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Muito plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequeno comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raizes: Ausentes

Horizonte: B 3
Profundidade: 156 - 190+ cm
Cor: Amarelo brunado (10YR 6/6)
Textura: Muito argilosa
Estrutura: Blocos sub angulares muito pequenos com força moderada
Consistencia seco: Macia
Consistencia úmido: Friável
Plasticidade: Muito plástica
Pegajosidade: Ligeiramente pegajoso
Porosidade: Poros muito pequenos e pequenos comuns
Coesão: moderadamente coeso
Raizes: Ausentes

Horizontes separados principalmente pela resistência a penetração da faca e do martelo pedológico.

Apêndice B - Teste de comparação de médias para a textura do solo com scores da CP

1.

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	-4.377	0.000	-5.689	-3.064
Capoeira	10 anos	-1.160	0.090	-2.472	0.152
Capoeira	20 anos	-1.835	0.007	-3.147	-0.523
Capoeira	Floresta	-0.567	0.629	-1.879	0.745
4 anos	10 anos	3.217	0.000	1.905	4.529
4 anos	20 anos	2.542	0.001	1.230	3.854
4 anos	Floresta	3.810	0.000	2.498	5.122
10 anos	20 anos	-0.675	0.479	-1.987	0.637
10 anos	Floresta	0.593	0.592	-0.719	1.905
20 anos	Floresta	1.268	0.059	-0.044	2.580

Apêndice C - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de densidade e porosidade do solo de 10 a 20 cm de profundidade.

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	0.167	0.000	0.085	0.249
Capoeira	10 anos	0.096	0.014	0.014	0.178
Capoeira	20 anos	0.015	0.985	-0.067	0.097
Capoeira	Floresta	-0.017	0.974	-0.100	0.065
4 anos	10 anos	-0.070	0.125	-0.152	0.012
4 anos	20 anos	-0.152	0.000	-0.234	-0.070
4 anos	Floresta	-0.184	0.000	-0.266	-0.102
10 anos	20 anos	-0.081	0.053	-0.163	0.001
10 anos	Floresta	-0.114	0.002	-0.196	-0.032
20 anos	Floresta	-0.032	0.794	-0.115	0.050

Apêndice D - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de de química do solo com scores da ACP para o CP 1 na profundidade de 0 – 10 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	28,2	45,7	0,000
Erro	20	0,617		

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	-6.174	0.000	-7.661	-4.687
Capoeira	10 anos	-2.538	0.000	-4.025	-1.051
Capoeira	20 anos	-0.978	0.316	-2.465	0.509
Capoeira	Floresta	-1.618	0.029	-3.105	-0.131
4 anos	10 anos	3.636	0.000	2.149	5.123
4 anos	20 anos	5.196	0.000	3.709	6.683
4 anos	Floresta	4.556	0.000	3.069	6.043
10 anos	20 anos	1.560	0.037	0.073	3.047
10 anos	Floresta	0.920	0.373	-0.567	2.407
20 anos	Floresta	-0.640	0.701	-2.127	0.847

Apêndice E - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de de química do solo com scores da ACP para o CP 1 na profundidade de 10 – 20 cm.

10-20

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	38,434	123,489	0,000
Erro	20	0,311		

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	-6.824	0.000	-7.880	-5.768
Capoeira	10 anos	-1.150	0.029	-2.206	-0.095
Capoeira	20 anos	-0.824	0.175	-1.880	0.231
Capoeira	Floresta	-0.815	0.183	-1.871	0.241
4 anos	10 anos	5.674	0.000	4.618	6.729
4 anos	20 anos	5.999	0.000	4.944	7.055
4 anos	Floresta	6.009	0.000	4.953	7.064
10 anos	20 anos	0.326	0.884	-0.730	1.382
10 anos	Floresta	0.335	0.874	-0.721	1.391
20 anos	Floresta	0.009	1.000	-1.047	1.065

Apêndice F - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de de química do solo com scores da ACP para o CP 1 na profundidade de 20 - 30 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	26,318	35,689	0,000
Erro	20	0,737		

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	-5.220	0.000	-6.845	-3.595
Capoeira	10 anos	0.427	0.932	-1.198	2.052
Capoeira	20 anos	-1.074	0.312	-2.699	0.551
Capoeira	Floresta	-0.306	0.979	-1.931	1.319
4 anos	10 anos	5.647	0.000	4.021	7.272
4 anos	20 anos	4.146	0.000	2.521	5.771
4 anos	Floresta	4.914	0.000	3.289	6.539
10 anos	20 anos	-1.501	0.079	-3.126	0.124
10 anos	Floresta	-0.733	0.665	-2.358	0.893
20 anos	Floresta	0.768	0.626	-0.857	2.393

Apêndice G - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de de química do solo com scores da ACP para o CP 1 na profundidade de 30-40 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	24,425	14,741	0,000
Erro	20	1,657		

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	-4.775	0.000	-7.211	-2.338
Capoeira	10 anos	-0.805	0.857	-3.241	1.631
Capoeira	20 anos	-1.744	0.242	-4.181	0.692
Capoeira	Floresta	1.011	0.728	-1.425	3.447
4 anos	10 anos	3.970	0.001	1.534	6.406
4 anos	20 anos	3.030	0.010	0.594	5.466
4 anos	Floresta	5.786	0.000	3.350	8.222
10 anos	20 anos	-0.940	0.776	-3.376	1.497
10 anos	Floresta	1.816	0.209	-0.620	4.252
20 anos	Floresta	2.756	0.022	0.320	5.192

Apêndice H - ANOVA para os dados de química do solo com scores da ACP para o CP 2 na profundidade de 0 – 10 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	4,697	1,769	0,175
Erro	20	2,656		

Apêndice I - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de química do solo com scores da ACP para o CP 2 na profundidade de 10-20 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	6,093	6,221	0,002
Erro	20	0,979		

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	0.988	0.527	-0.885	2.861
Capoeira	10 anos	1.191	0.348	-0.682	3.064
Capoeira	20 anos	3.047	0.001	1.174	4.920
Capoeira	Floresta	1.136	0.393	-0.737	3.009
4 anos	10 anos	0.203	0.997	-1.670	2.076
4 anos	20 anos	2.059	0.027	0.186	3.932
4 anos	Floresta	0.148	0.999	-1.725	2.021
10 anos	20 anos	1.856	0.053	-0.017	3.729
10 anos	Floresta	-0.055	1.000	-1.928	1.818
20 anos	Floresta	-1.911	0.044	-3.784	-0.038

Apêndice J - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de química do solo com scores da ACP para o CP 2 na profundidade de 20-30 cm.

Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	11,047	11,342	0,000
Erro	20	0,974		

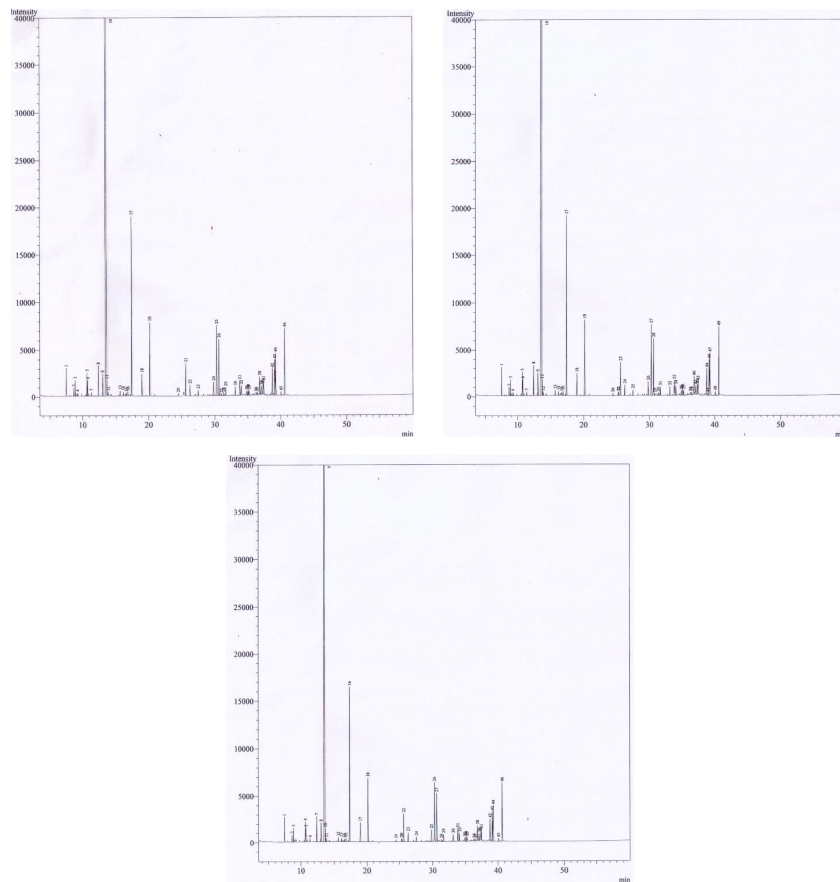
Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	2.484	0.006	0.617	4.352
Capoeira	10 anos	3.935	0.000	2.067	5.802
Capoeira	20 anos	1.066	0.451	-0.801	2.934
Capoeira	Floresta	2.134	0.020	0.266	4.002
4 anos	10 anos	1.450	0.179	-0.418	3.318
4 anos	20 anos	-1.418	0.195	-3.286	0.450
4 anos	Floresta	-0.350	0.979	-2.218	1.518
10 anos	20 anos	-2.868	0.001	-4.736	-1.000
10 anos	Floresta	-1.800	0.062	-3.668	0.067
20 anos	Floresta	1.068	0.450	-0.800	2.936

Apêndice L - Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para os dados de de química do solo com scores da ACP para o CP 2 na profundidade de 30 - 40 cm.

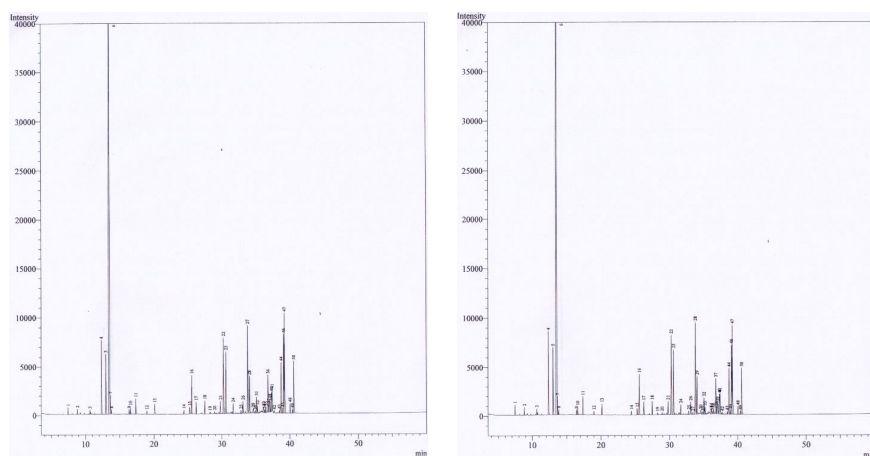
Fonte	GL	QM	F	Valor de p
Sítio	4	5,044	3,001	0,043
Erro	20	1,681		

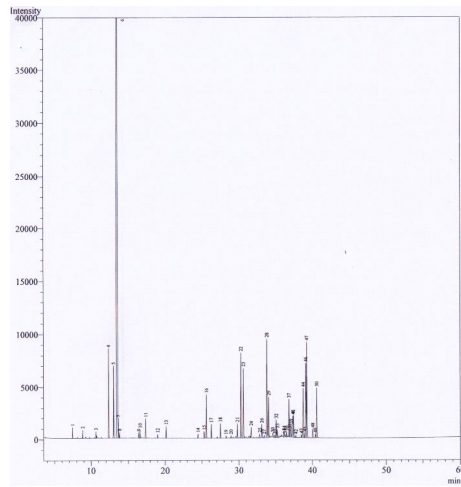
Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
Capoeira	4 anos	2.136	0.107	-0.318	4.589
Capoeira	10 anos	0.923	0.792	-1.531	3.376
Capoeira	20 anos	2.523	0.042	0.069	4.976
Capoeira	Floresta	1.155	0.629	-1.298	3.609
4 anos	10 anos	-1.213	0.587	-3.667	1.241
4 anos	20 anos	0.387	0.989	-2.066	2.841
4 anos	Floresta	-0.980	0.754	-3.434	1.474
10 anos	20 anos	1.600	0.324	-0.853	4.054
10 anos	Floresta	0.233	0.998	-2.221	2.687
20 anos	Floresta	-1.367	0.475	-3.821	1.086

APÊNDICE M – Cromatogramas do óleo de árvores de 4 anos de idade extraído na destilaria de Maués.

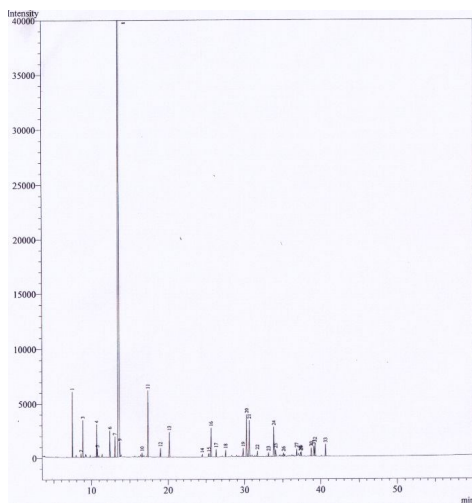
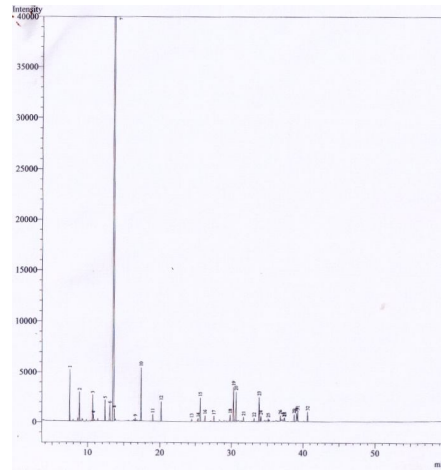
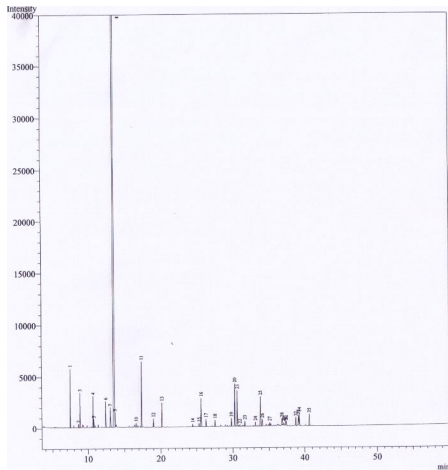


APÊNDICE N – Cromatogramas do óleo de árvores de 4 anos de idade extraído no laboratório.

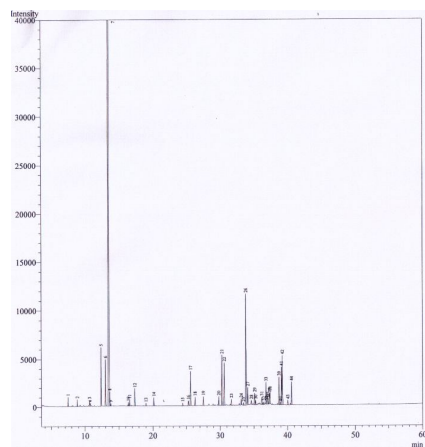
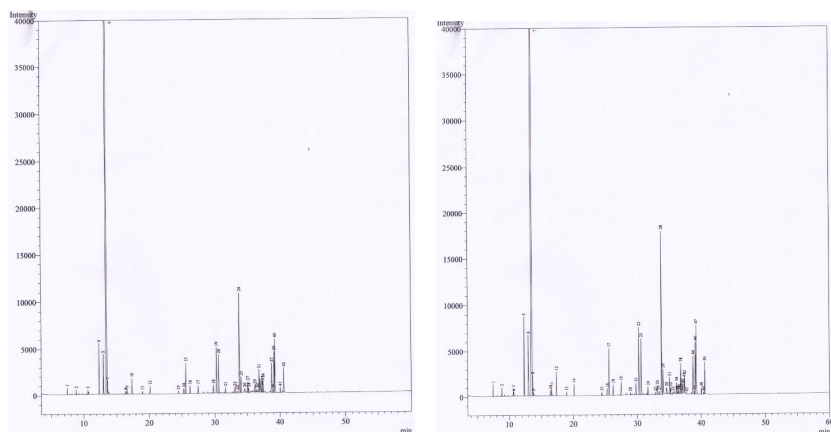




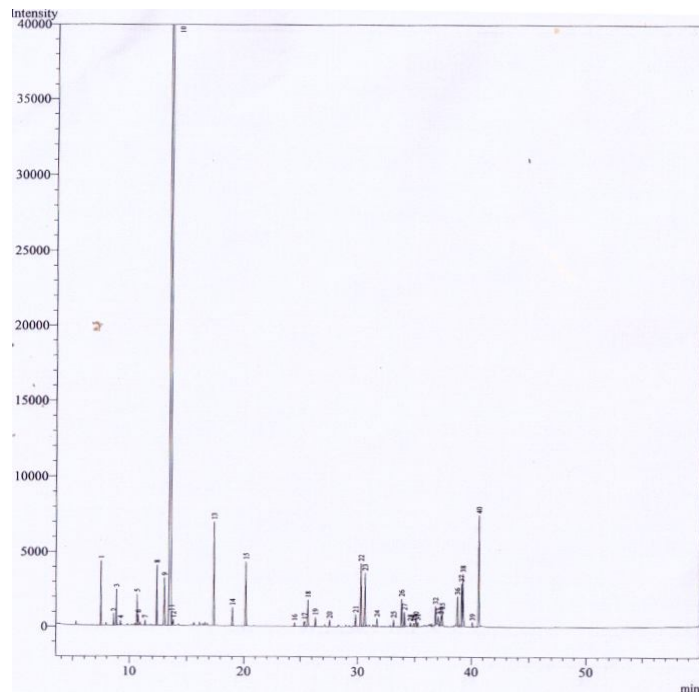
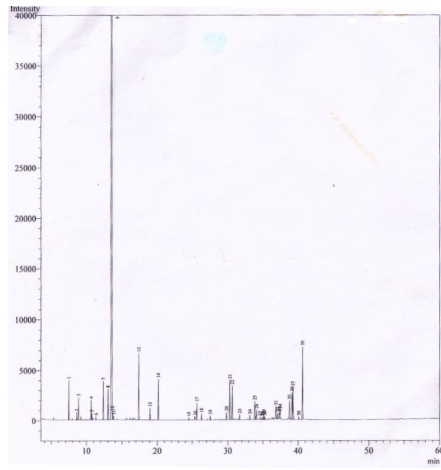
APÊNDICE O – Cromatogramas do óleo de árvores de 10 anos de idade extraído na destilaria de Maués.

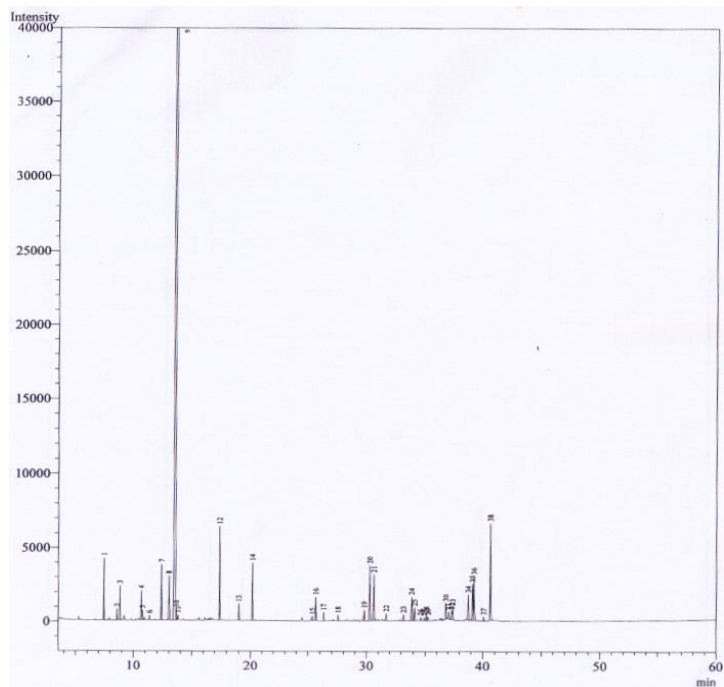


APÊNDICE P – Cromatogramas do óleo de árvores de 10 anos de idade extraído no laboratório.

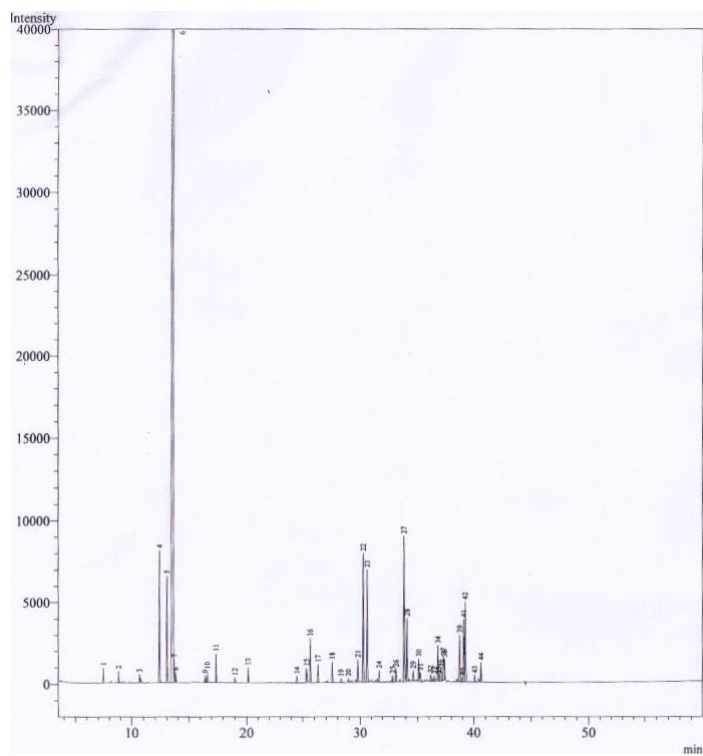


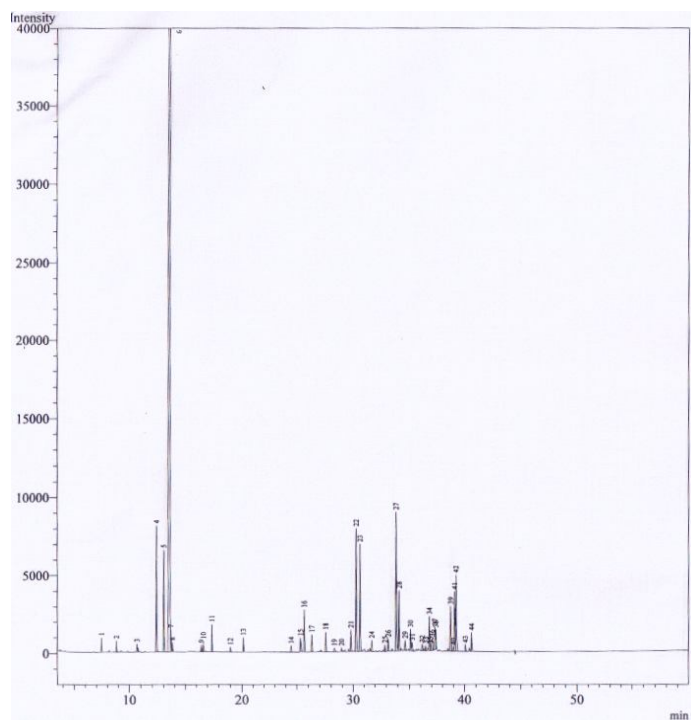
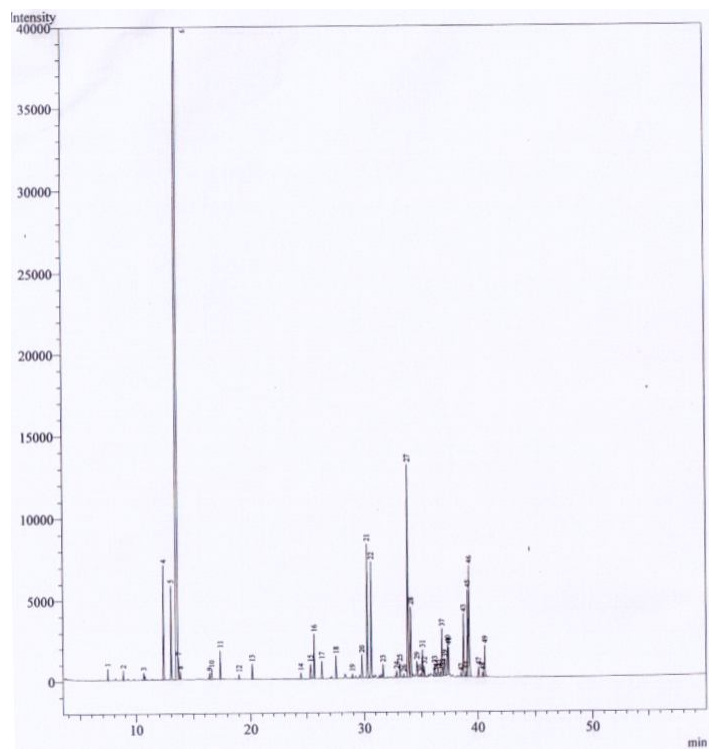
APÊNDICE Q – Cromatogramas do óleo de árvores de 20 anos de idade extraído na destilaria de Maués.





APÊNDICE R – Cromatogramas do óleo de árvores de 20 anos de idade extraído no laboratório.





APÊNDICE S – Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade pra os teores de linalol entre as idades e os métodos.

Sítio (i)	Sítio (j)	Diferença	Valor de p	I.C (95%)	
10dest	10lab	11.957	0.000	7.043	16.871
10dest	20dest	10.907	0.000	5.993	15.821
10dest	20lab	4.180	0.114	-0.734	9.094
10dest	4dest	8.347	0.001	3.433	13.261
10dest	4lab	14.867	0.000	9.953	19.781
10lab	20dest	-1.050	0.976	-5.964	3.864
10lab	20lab	-7.777	0.002	-12.691	-2.863
10lab	4dest	-3.610	0.208	-8.524	1.304
10lab	4lab	2.910	0.401	-2.004	7.824
20dest	20lab	-6.727	0.006	-11.641	-1.813
20dest	4dest	-2.560	0.528	-7.474	2.354
20dest	4lab	3.960	0.145	-0.954	8.874
20lab	4dest	4.167	0.116	-0.747	9.081
20lab	4lab	10.687	0.000	5.773	15.601
4dest	4lab	6.520	0.008	1.606	11.434