

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

**PRODUÇÃO E VARIABILIDADE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS E
GALHOS FINOS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke.) EM DUAS
POPULAÇÕES NATURAIS LOCALIZADAS NA AMAZÔNIA CENTRAL**

CAROLINE SCHMAEDECK LARA

Manaus, Amazonas

Junho de 2012

CAROLINE SCHMAEDECK LARA

PRODUÇÃO E VARIABILIDADE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE FOLHAS E GALHOS FINOS DE PAU-ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke.) EM DUAS POPULAÇÕES NATURAIS LOCALIZADAS NA AMAZÔNIA CENTRAL

ORIENTADOR: Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais

Manaus, Amazonas

Junho de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Lara, Caroline Schmaedeck

Produção e variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke.) em duas populações naturais localizadas na Amazônia Central /

Caroline Schmaedeck Lara.--- Manaus : [s.n.], 2012.

Dissertação (mestrado)-- INPA, Manaus, 2012

Orientador: Paulo de Tarso Barbosa Sampaio

Área de concentração: Manejo Florestal e Silvicultura

1. Capacidade produtiva 2. Manejo da copa 3. Teor de óleo essencial. 4. Linalol 5. Enantiômeros I. Título.

SINOPSE

Sinopse:

Estudamos a capacidade produtiva e a variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke.) em populações naturais da Amazônia Central. Verificamos a variação no rendimento de óleo de folhas e galhos. Analisamos a variabilidade química intraespecífica e identificamos grupos de similaridade dentre os indivíduos amostrados. Quantificamos o teor de linalol no óleo essencial de folhas e galhos finos e o excesso enantiomérico do linalol.

Palavras-chave: Extrativismo, produtos florestais não madeireiros, manejo da copa, linalol, enantiômeros.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo crescimento profissional que me proporcionou e, em especial, aos pesquisadores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do projeto.

Agradeço ao Dr. Paulo de Tarso pela orientação e confiança e por permitir a realização desta pesquisa, facilitando todas as etapas do trabalho.

Agradeço aos inúmeros pesquisadores do INPA, Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e Universidade do Estado do Amazonas (UEA) pelos conhecimentos compartilhados e sugestões que permitiram a realização deste trabalho. Em especial ao Valdir Veiga e Maria Teresa Lopes pelas contribuições no planejamento desta pesquisa.

Agradeço aos que colaboraram de forma imprescindível nas etapas de campo e laboratório. Cabe aqui ressaltar a colaboração da comunidade São João Batista do Pacoval da Floresta Estadual de Maués, Cristiano, Pedro, Lourival, Cunha, Edmilson, Tati, Canela, Zanatta, Beto, Flávio e Cássia.

Agradeço aos colaboradores das etapas de laboratório, destacando a orientação de Mariko Funasaki, Sandra Zanotto, Carlos, Fernando e Hiléia, que me guiaram nas análises químicas com paciência e dedicação.

Agradeço aos amigos da turma de mestrado por todos os momentos compartilhados e por, de alguma forma, contribuir com a realização deste trabalho. Aos que muito acrescentaram, Zé, Dieguito e Adriano. À Tati e à Fernanda pelas dicas e revisão do texto.

Agradeço a minha família querida e meus amigos de longe por apoiar minhas escolhas.

Finalmente, agradeço às minhas companheiras de casa, Flávia, Mi, Livia, Naman, Tati, Fe, Sabine e ao Ernestinho, por todos os momentos de alegria que tornaram mais leve o dia a dia em Manaus.

“Só depois que a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio envenenado, vocês irão perceber que dinheiro não se come.”

(pensamento indígena)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
INTRODUÇÃO GERAL	1
<i>Capítulo 1</i>	5
Capacidade produtiva de óleo essencial de pau-rosa em duas populações naturais a partir do manejo de galhos e folhas.....	5
<i>Resumo</i>	6
<i>Abstract</i>	7
<i>Introdução</i>	9
<i>Objetivos</i>	12
<i>Metodologia</i>	13
<i>Resultados</i>	17
<i>Discussão</i>	26
<i>Conclusões</i>	33
<i>Capítulo 2</i>	34
Variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos entre diferentes árvores de pau-rosa em duas populações naturais da Amazônia Central	34
<i>Resumo</i>	35
<i>Abstract</i>	36
<i>Introdução</i>	37
<i>Objetivos</i>	40
<i>Metodologia</i>	41
<i>Resultados</i>	45
<i>Discussão</i>	54
<i>Conclusões</i>	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO.....	69
APÊNDICES.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Rendimento de óleo nas diferentes classes de diâmetro.....	20
Tabela 2. Produtividade de óleo essencial de pau-rosa na FLORESTA de Maués	22
Tabela 3. Produtividade de óleo essencial de pau-rosa na Reserva Ducke	23
Tabela 4. Simulação da seleção de árvores de pau-rosa para um Plano de Manejo Florestal Sustentável.....	24
Tabela 5. Rendimento de óleo essencial de pau-rosa observado em outros trabalhos	26
Tabela 6. Teor de linalol (%) nos grupos de similaridade química do óleo essencial de folhas	51
Tabela 7. Área relativa dos enantiômeros e excesso enantiomérico do linalol em amostras de óleo essencial de folhas e galhos finos.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teor médio do óleo essencial das folhas das árvores de pau-rosa na FLORESTA de Maués e na Reserva Ducke	17
Figura 2. Teor de óleo essencial de folhas e galhos finos de árvores de pau-rosa localizadas na Reserva Ducke	18
Figura 3. Relação entre o diâmetro a altura do peito da árvore com o teor de óleo essencial de folhas (A) e galhos (B)	20
Figura 4. Relação entre a posição da árvore no estrato vertical e o teor de óleo essencial de folhas e galhos finos	21
Figura 5. Distribuição diamétrica dos indivíduos de pau-rosa da população da FLORESTA de Maués	22
Figura 6. Relação entre a quantidade de óleo essencial exportada pelo Brasil (colunas) e o preço do produto (linha). Fonte: MDIC 2012.	32
Figura 7. Cromatograma do CG-EM do óleo essencial de uma amostra de folhas de pau-rosa	45
Figura 8. PCA da composição química do óleo essencial das folhas. As letras correspondem às iniciais das populações (RD: Reserva Ducke, FEM: Floresta Estadual de Maués) e os números correspondem ao número da amostra	46
Figura 9. HCA para a composição química do óleo essencial das folhas. As letras correspondem às populações (RD: Reserva Ducke, FEM: Floresta Estadual de Maués) e os números correspondem ao número da amostra	47
Figura 10. Cromatograma do CG-EM do óleo essencial de uma amostra de galhos finos de pau-rosa	48
Figura 11. PCA da composição do óleo essencial de folhas (F) e galhos finos (G) de vinte indivíduos de pau-rosa da reserva Ducke. Os números correspondem ao número da amostra	49
Figura 12. Curva analítica obtida pelo método do padrão externo, nas concentrações 0,25, 0,5, 0,75 e 1 mol.L ⁻¹ para a determinação das concentrações de linalol das amostras de óleo essencial de folhas e galhos finos	50
Figura 13. Teor de linalol (%) no óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa da população natural na Reserva Ducke	52

RESUMO GERAL

O pau-rosa está ameaçado de extinção devido à intensa exploração para a produção de óleo essencial, exigindo o desenvolvimento de alternativas que aliem a conservação da espécie com a continuidade da produção. Uma das alternativas refere-se à produção de óleo de folhas e galhos e a propagação de indivíduos com características químicas mais interessantes à indústria. Nesta pesquisa, avaliamos o rendimento, a capacidade produtiva e a variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos em duas populações naturais de pau-rosa localizadas em Maués, na Floresta Estadual de Maués e em Manaus, na Reserva Ducke. Foi extraído óleo essencial pelo método de hidrodestilação das folhas de 26 árvores localizadas na Floresta Estadual de Maués e das folhas e galhos finos de 30 e 20 árvores na Reserva Ducke, respectivamente. O teor de óleo foi calculado através da relação entre o peso seco do material destilado e o peso do óleo essencial obtido e relacionado com o diâmetro a altura do peito e posição no estrato vertical da árvore. A capacidade produtiva de cada população foi estimada de acordo com os parâmetros técnicos estabelecidos pela Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA. A composição dos óleos essenciais foi analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas e foi quantificado o teor de linalol através do método do padrão externo. O excesso enantiomérico do linalol foi analisado em dez amostras por análise quiral. O teor médio de óleo foi igual a 1,47% ($\pm 0,41$), 1,58% ($\pm 0,42$) e 1,69% ($\pm 0,51$), para as folhas da população de Maués e folhas e galhos finos da Reserva Ducke, respectivamente. O teor de óleo essencial de folhas não está associado ao diâmetro à altura do peito e o de galhos finos apresentou uma fraca associação com esta variável. Folhas e galhos finos apresentaram maior teor de óleo para os indivíduos que atingem o dossel da floresta. O Manejo Florestal Sustentável é inviável na população de Maués de acordo com a legislação vigente e nove árvores poderiam ser manejadas em uma população semelhante à da Reserva Ducke, o que representaria uma produção de 120,7 e 80,9 Kg de óleo, considerando o tronco e a copa, respectivamente. A análise da composição química revelou uma tendência de agrupamento de indivíduos de acordo com a localização geográfica e a parte da planta. Os maiores teores de linalol nas folhas foram observados nas amostras da Floresta Estadual de Maués. Os galhos finos apresentaram maior teor de linalol do que as folhas na Reserva Ducke. O excesso enantiomérico do linalol varia entre diferentes indivíduos e entre galhos finos e folhas. Esta análise permitiu a confirmação da dominância do linalol dextrógiro desta espécie na Amazônia Central. Concluímos que o teor de óleo de folhas e galhos finos parece estar associado a características individuais e a variabilidade química à localização geográfica das árvores. A produção de óleo essencial de folhas e galhos de pau-rosa é viável de do ponto de vista qualitativo, no entanto, é recomendada a formação de plantios, pois poucos indivíduos desta espécie ainda podem ser encontrados em populações naturais. As árvores encontradas na Floresta Estadual de Maués apresentam alta potencialidade para serem utilizadas em programas de melhoramento genético.

Palavras-chave: hidrodestilação, espectrometria de massas, linalol, enantiômeros

INTRODUÇÃO GERAL

O pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke.) é uma espécie arbórea da família Lauraceae que ocorre no Brasil, Guiana Francesa, Suriname, Guiana, Venezuela, Peru, Colômbia e Equador (Kubtzki e Renner 1982). No Brasil, ocorre desde o Amapá e estende-se pelos Estados do Pará e do Amazonas (Ohashi e Rosa 2004), sendo que as maiores populações encontram-se restritas à porção ocidental da Amazônia (Mitja e Lescure 1996).

Esta espécie é notavelmente marcada pelo odor doce e amadeirado, proveniente do óleo essencial obtido de qualquer parte da árvore. Uma das principais características deste óleo é a presença majoritária do composto conhecido como linalol, que atua como fixador nas fragrâncias que o contém. A alta concentração de linalol e o aroma peculiar desta essência faz com que este produto obtenha um alto valor no mercado da perfumaria fina.

A história da exploração do pau-rosa confunde-se com o progresso da indústria de perfumaria no século passado. A exploração da variedade *duckeii* (*A. duckeri*, considerada atualmente sinonímia de *A. rosaeodora*) teve início antes da Primeira Guerra Mundial, na Guiana Francesa (Vial-Debas 2000). No Brasil, o pau-rosa se destacou pela importância econômica que assumiu no século anterior, principalmente entre 1940 e 1970 quando foi produzido em larga escala. Neste período, o óleo do pau-rosa chegou a ser considerado o terceiro principal produto na balança comercial do Amazonas (May e Barata 2004).

No entanto, esta produção foi marcada pela exploração realizada de maneira extremamente predatória. Praticamente todas as árvores encontradas na floresta eram derrubadas pelos extrativistas contratados pelas usinas de destilação do óleo essencial. A ausência de um sistema de manejo adequado resultou em sérios danos às populações naturais. O corte das árvores adultas em idade de reprodução além de causar a erosão genética, impossibilita a regeneração natural desta espécie, causando uma redução drástica nas populações naturais, colocando-a em risco de extinção (Sampaio *et al.* 2005).

A ameaça de extinção do pau-rosa vem sendo reconhecida pelo governo brasileiro desde 1992, quando a espécie foi incluída pelo Instituto Brasileiro do Meio

Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) na lista de espécies ameaçadas de extinção (IBAMA 1992). Outras políticas públicas foram criadas com o intuito de regularizar e controlar a colheita, produção e comercialização do óleo essencial, como a Portaria 01/98 de 18.08.1998 do IBAMA e a Instrução Normativa nº 002/06 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS) do governo do Amazonas.

Recentemente, em abril de 2011, o pau-rosa foi incluído no Anexo II da Cites (Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção). Esta inclusão significa que a espécie passou a fazer parte de um acordo de combate ao comércio ilegal entre os países signatários da Cites.

Ainda em 2011, o IBAMA publicou uma instrução normativa (IN Nº 09, de 25 de agosto de 2011), estabelecendo procedimentos para a exploração das florestas primitivas e demais formas de vegetação arbórea natural que contemplem a espécie. De acordo com esta regulamentação, o pau-rosa só poderá ser manejado em populações naturais mediante a aprovação de um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) específico para a espécie. Uma das principais restrições estabelecidas, é que apenas 66% dos indivíduos inventariados que apresentarem diâmetro a altura do peito (DAP) superior a 25 cm poderão ser explorados (árvore inteira ou copa).

Além disto, a instrução normativa do IBAMA estabelece a obrigatoriedade do plantio de 80 mudas de pau-rosa para cada tambor (180 quilos) de óleo produzido pela beneficiadora do óleo essencial. Com isto, os produtores de óleo de pau-rosa do Amazonas são constantemente pressionados a adotar práticas que atendam a sustentabilidade da oferta, ou então, parar ou diminuir muito a produção. Esta exigência tem, por outro lado, estimulado a implantação de novos métodos de extração desse óleo essencial (Ferraz *et al.* 2009), como a produção de óleo a partir de folhas e galhos através do manejo da copa das árvores.

Muitas pesquisas têm demonstrado o potencial de produção de óleo a partir da copa da árvore. Este óleo essencial, assim como o da madeira, apresenta elevado teor de linalol, além de um bom rendimento (Araujo *et al.* 1971, Chaar 2000, Leite *et al.* 2001, Ohashi *et al.* 1997).

No entanto, a composição química e a qualidade do óleo podem ser afetadas por diversos fatores, como procedência, idade da árvore, época de colheita, parte da planta, entre outros. Desta forma, a caracterização de populações naturais considerando a variabilidade química dos indivíduos que a compõe pode ser útil no planejamento do manejo florestal sustentável do pau-rosa. A identificação de óleos essenciais de melhor qualidade permitirá a seleção de progênies de qualidade superior para serem utilizadas no estabelecimento de plantios desta espécie.

Neste contexto, este trabalho foi proposto com o intuito de caracterizar duas populações naturais de pau-rosa localizadas na Amazônia Central em relação à capacidade produtiva e à variabilidade química do óleo essencial obtido a partir de folhas e galhos finos.

Capítulo 1

Capacidade produtiva de óleo essencial de pau-rosa em duas populações naturais a partir do manejo de galhos e folhas

Resumo

O pau-rosa está ameaçado de extinção devido à intensa exploração para a produção de óleo essencial, tradicionalmente realizada através do corte raso de todas as árvores encontradas na floresta, exigindo o desenvolvimento de alternativas que aliem a conservação da espécie com a continuidade da produção. Nesta pesquisa, avaliamos a capacidade produtiva de populações naturais através do manejo da copa, analisando o rendimento do óleo essencial de folhas e galhos finos de diferentes indivíduos desta espécie. Foi extraído óleo essencial pelo método de hidrodestilação das folhas de 26 árvores de pau-rosa localizadas na Floresta Estadual de Maués e das folhas e galhos finos de 30 e 20 árvores da Reserva Ducke, respectivamente. O teor de óleo foi calculado através da relação entre o peso seco do material destilado e o peso do óleo essencial obtido e relacionado com o diâmetro a altura do peito e posição no estrato vertical da árvore. A capacidade produtiva de cada população foi estimada de acordo com os parâmetros técnicos estabelecidos pela Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA, que regulariza a colheita de pau-rosa. O teor médio de óleo foi igual a 1,47% ($\pm 0,41$), 1,58% ($\pm 0,42$) e 1,69% ($\pm 0,51$), para as folhas da população de Maués e folhas e galhos finos da Reserva Ducke, respectivamente. O teor de óleo essencial de folhas não está associado ao diâmetro à altura do peito e o de galhos apresentou uma fraca associação com esta variável. Ambas as partes da copa apresentaram maior teor de óleo para os indivíduos que atingem o dossel da floresta. Esta tendência pode estar relacionada à maior radiação que a copa recebe nesta posição do estrato vertical. Apenas uma das árvores analisadas seria passível de manejo na Floresta Estadual de Maués de acordo com a legislação vigente, o que reflete a intensa exploração que o pau-rosa sofreu nesta área. Nove árvores poderiam ser manejadas em uma população semelhante à inventariada na Reserva Ducke. Este manejo representaria uma produção de 209,2, 120,7 e 80,9 Kg de óleo, considerando a árvore inteira, tronco e copa, respectivamente. A produção de óleo do tronco e copa seria equivalente se mais cinco indivíduos tivessem sua copa manejada. Além disso, a realização do sistema de podas sucessivas poderia compensar, em um curto período de tempo, a diferença de produção entre as duas

partes. Sugerimos que na elaboração de um Plano de Manejo Sustentável para esta espécie, sejam priorizadas na seleção, árvores com maiores diâmetros e cuja copa se encontre no estrato superior da floresta. Concluimos que a produção de óleo essencial de folhas e galhos de pau-rosa é viável de ser executada e poderá contribuir com a conservação desta espécie sem inviabilizar a continuidade da produção.

Palavras-chave: rendimento de óleo essencial; manejo da copa; populações naturais

Abstract

Pau-rosa is threatened with extinction due to intensive exploitation for the production of essential oil, traditionally done by harvesting of all trees found in the forest, requiring the development of alternatives that combine conservation of the species with the continuity of production. In this study, we evaluated the productive capacity of natural populations through management of the crown and analyzing the yield of essential oil of fine twigs and leaves of different individuals of this species. Essential oil was extracted by hydrodistillation from leaves of 26 trees located in Floresta Estadual de Maués and leaves and fine twigs of 30 and 20 trees located in Reserva Ducke, respectively. The oil content was calculated as the ratio among the dry weight of the distilled material and weight of the essential oil obtained and related to the diameter at breast height and position in the vertical stratum matrix tree. The productive capacity of each population was estimated according to technical parameters established by IBAMA Normative Instruction N° 09 of August 25, 2011, which regulates the harvesting of pau-rosa. The average content of oil was 1.47 (\pm 0.41), 1.58 (\pm 0.42) and 1.69% (\pm 0.51) for the leaves of the Maués population and leaves and fine stems from the trees of Reserva Ducke, respectively. The essential oil content of the leaves is not related to the diameter at breast height and the fine stems value showed a weak association with this variable. Both parts of the canopy had higher oil content for those reaching the forest canopy. This trend may be related to higher radiation that gets this position the canopy stratum. Only one tree would be susceptible to managing in the Floresta Estadual de Maués in accordance with

current legislation, which reflects the intense exploitation that pau-rosa suffered in this area. Nine trees could be managed in population with trees similar to those of Reserva Ducke. This management would represent a production of 209.2, 120.7 and 80.9 Kg of oil, considering the whole tree, trunk and canopy, respectively. Oil production from the trunk and canopy would be equivalent to more than five tree had managed its canopy. Furthermore, the implementation of successive pruning system could offset, in a short period of time, the difference in production between the two parts. We suggest to establish a Sustainable Management Plan for this species, are prioritized in the selection trees with larger diameters and whose crown is in the upper stratum of the forest. We conclude that the production of essential oil from leaves and fine twigs of pau-rosa is viable to be executed in natural populations and may be contribute to the conservation of this species without make impracticable the continuity of production.

Keywords: essential oil yield, canopy management, natural populations

Introdução

O pau-rosa começou a ser explorado intensivamente no início do último século no Brasil. Porém, foi principalmente entre 1940 e 1970 que esta espécie foi utilizada em larga escala para a produção de óleo essencial destinado a indústria de perfumaria. Estima-se que neste período a produção média anual era equivalente a 360 toneladas de óleo (May e Barata 2004).

As características peculiares do óleo essencial do pau-rosa fizeram com que este produto garantisse uma alta demanda e um elevado valor no mercado, o que resultou em um modelo de extrativismo extremamente irracional e predatório. O sistema de extração de pau-rosa foi marcado pelo corte raso de praticamente todos os indivíduos desta espécie que eram encontrados na floresta.

No contexto extrativista da Amazônia Central, a exploração do pau-rosa é a única a acarretar o desaparecimento do recurso, através da derrubada das árvores e a única a utilizar maquinário pesado (Mitja e Lescure 1996), causando sérios danos às populações naturais desta espécie. Por outro lado, dificilmente outro produto florestal alcance atualmente no Brasil um valor de mercado tão alto quanto o óleo essencial do pau-rosa, que chegou a atingir o preço de US\$ 196,00/kg em 2012 (Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior - MDIC 2012). O aumento do valor está inversamente relacionado à oferta da essência nos últimos anos, que vem diminuindo significativamente, seja devido à escassez da matéria-prima ou então pelas restrições impostas pela legislação.

Apesar das restrições, populações naturais ainda podem ser manejadas de acordo com a Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA. Entretanto, esta normativa exige a elaboração de um Plano de Manejo Florestal Sustentável para as áreas de exploração desta espécie.

O pau-rosa é explorado em áreas cada vez mais longínquas e seu atual interesse econômico leva ao questionamento da sustentabilidade de sua produção e à procura de alternativas (Mitja e Lescure 1996). A escassez do recurso tem, por outro lado, estimulado a implantação de novos métodos de plantio e de extração desse óleo essencial (Ferraz *et al.* 2009), como a produção de óleo a partir de folhas e galhos através do manejo da copa das árvores.

Uma série de pesquisas vem sendo realizadas no intuito de comprovar a viabilidade da produção de óleo essencial a partir desta técnica. Uma vez consolidado, este sistema alternativo de produção poderá contribuir com a conservação desta espécie, pois o corte raso poderá ser substituído por um manejo de menor impacto.

Estudos como o de Gottlieb *et al* (1964) indicam a potencialidade do manejo da copa. Estes autores verificaram uma maior produtividade de óleo a partir dos galhos (2,2%) e folhas (1,6%) do que do tronco das árvores (1,2%). Pesquisas mais recentes corroboram com estes dados ao constatar uma produtividade que varia entre 1,3% e 2,6% para o óleo obtido da extração de folhas (Chaar 2000, Maia *et al.* 2007, Ohashi *et al.* 1997) e 1% a 2,4% para os galhos (Araujo *et al.* 1971, Chaar 2000).

No entanto, a maioria dos estudos considera um número pequeno de indivíduos, podendo resultar em uma super ou subestimação do rendimento médio de óleo das populações de pau-rosa, uma vez que estes valores podem diferir de acordo com características intrínsecas a cada árvore.

Além disto, uma análise da viabilidade da produção de óleo a partir do manejo da copa pode ser questionada ao considerarmos apenas o rendimento. Isto porque, apesar das folhas e galhos apresentarem maior produtividade de óleo essencial do que o tronco, a copa representa uma proporção significativamente inferior da biomassa total de uma árvore. Desta forma, a produção de óleo essencial através do manejo exclusivo da copa requer um número superior de indivíduos para produzir a mesma quantidade de óleo que o tronco da árvore.

Porém, considerando a sustentabilidade da produção, o manejo da copa representa inúmeras vantagens tanto econômicas quanto para a conservação da espécie em questão. Isto porque o pau-rosa apresenta boa capacidade de rebrota após sucessivas podas (Sampaio *et al.* 2005, 2007), o que permite que os mesmos indivíduos sejam manejados em um curto intervalo de tempo. Já o sistema de corte raso inviabiliza a produção na área explorada por cerca de cinquenta anos, de acordo com uma estimativa de Mitja e Lescure (1996), devido ao lento crescimento da espécie, que apresenta incremento anual em diâmetro de apenas 0,38 cm/ano (Alencar e Araujo 1981).

Apresentamos neste capítulo uma análise da capacidade produtiva de óleo essencial de pau-rosa a partir do manejo de galhos finos e folhas através do estudo de caso de duas populações naturais localizadas na Amazônia Central. Consideramos a variabilidade do teor de óleo entre indivíduos e entre as diferentes partes da copa para estimar a produtividade média destas populações durante o período de coleta. Comparamos o teor de óleo essencial entre folhas e galhos finos e analisamos a relação do teor de óleo com o diâmetro a altura do peito e à posição no estrato vertical da árvore. Analisamos também a viabilidade do manejo da copa em substituição ao corte raso em populações naturais de acordo com a instrução normativa do IBAMA que regulariza a colheita do pau-rosa.

Objetivos

Objetivo geral

Analisar a capacidade produtiva de óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa em populações naturais da Amazônia Central

Objetivos específicos

1. Avaliar o teor médio de óleo essencial das folhas das duas populações naturais
2. Comparar o teor de óleo essencial entre folhas e galhos finos
3. Relacionar o teor de óleo essencial das folhas e galhos com o DAP e posição no estrato vertical da árvore
4. Analisar a viabilidade do manejo de folhas e galhos finos em substituição ao corte raso em populações naturais de acordo com a instrução normativa do IBAMA que regulariza a colheita do pau-rosa

Metodologia

Áreas de estudo

As coletas foram realizadas em populações naturais de pau-rosa localizadas na Floresta Estadual (FLORESTA) de Maués (Maués, AM) e na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Manaus, AM) (Apêndice A).

A FLORESTA de Maués é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável, possuindo uma área de aproximadamente 438.440,32 ha que está localizada no interflúvio Madeira-Tapajós, sendo limitada pelos rios Apoquitaua, Pacoval e Parauari. Possui 14 comunidades dentro de seus limites e visa à exploração (inclusive comercial) de recursos naturais de forma racional e sustentável (Oliveira 2005).

Conforme a classificação de Köppen, o clima nesta região é do tipo Am, caracterizado por uma estação seca de curta duração, com chuvas inferiores a 60 mm no mês mais seco. A temperatura média é de 25°C, a precipitação entre 1.750 e 2.750 mm e a umidade relativa do ar varia entre 80 e 85% (Amazonas 2010).
***CARACTERIZAR O SOLO!**

De acordo com dados do Projeto RADAMBRASIL o solo que predomina é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico, e apresenta textura variando de média (15 a 35% de argila no Horizonte B) a argilosa (35 a 60% de argila no Horizonte B), são bem drenados a moderadamente drenados compostos de sedimentos do terciário ou da decomposição de granitos. Os solos do tipo Latossolo Amarelo Distrófico podem ser caracterizados como solos envelhecidos, ácidos a muito fortemente ácidos cujo teor de argila é variável, o que possibilita sua diferenciação (BRASIL, 1975).

A Reserva Florestal Adolfo Ducke corresponde a uma área de floresta amazônica primária de 100 km² e pertence ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) desde 1963 (Hopkins 2005, Ribeiro *et al.* 1999). A Reserva está situada na periferia da cidade de Manaus, podendo ser considerada uma área verde urbana, porém ainda não completamente isolada da floresta contínua (Ribeiro *et al.* 1999).

O clima nesta região é do tipo Afi, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 25,3°C e a umidade relativa do ar varia de 84 a 91%. A precipitação média anual é de 2.400 mm, com máxima de 300 mm em abril, e mínima de 99 mm em julho (Ribeiro e Villa Nova 1979). *CARACTERIZAR O SOLO!

A precipitação durante os meses de coleta foi verificada de acordo com dados disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2011), sendo que a coleta em Maués foi realizada no mês de fevereiro de 2011 (Anexo A) e em Manaus foi realizada no mês de maio de 2011 (Anexo B).

Coleta de dados

Coleta de galhos finos e folhas

Na Floresta Estadual de Maués, 26 indivíduos de pau-rosa foram encontrados nas proximidades da Comunidade São João Batista do Pacoval (Apêndice B). Na Reserva Florestal Adolpho Ducke, 30 indivíduos de pau-rosa foram inventariados (Apêndice C). Todas as árvores foram georreferenciadas e caracterizadas em relação ao diâmetro a altura do peito (DAP), altura estimada, posição no estrato vertical, estado sanitário, ontogenia das folhas, presença de herbivoria e relevo.

De todas as árvores foram coletados aproximadamente 2 kg de folhas e galhos finos. Este material permaneceu por seis semanas em ambiente climatizado a 17°C para possibilitar a secagem, minimizando a volatilização de seus componentes. Posteriormente, o material foi triturado em moinho de facas e armazenado a - 20°C.

Extração do óleo essencial

Os óleos essenciais foram obtidos através do método de hidrodestilação em aparelho Clevenger, acoplado a um balão de 2.000 mL e uma manta de aquecimento. Foram pesados 30 gramas do material triturado, adicionados ao balão

com 300 mL de água destilada. Esta mistura foi submetida à hidrodestilação por um período de três horas. As amostras foram secas com sulfato de sódio anidro e acondicionadas a uma temperatura de - 20°C.

Os óleos essenciais das folhas foram extraídos de todas as árvores de pau-rosa das duas populações e os óleos essenciais dos galhos foram extraídos de 20 árvores da Reserva Ducke. Para cada amostra foram realizadas duas repetições da extração. Para as amostras cujas repetições apresentaram diferença de rendimento superior a 0,3%, foi realizada uma terceira repetição da extração.

Cálculo do teor de óleo essencial

Para o cálculo do rendimento dos óleos essenciais consideramos a razão entre o peso do material seco destilado e o peso do óleo extraído. O teor de óleo para cada amostra foi calculado considerando o rendimento médio de óleo essencial entre as repetições.

Análise dos dados

Teor de óleo essencial das folhas

O teor médio de óleo essencial produzido pelas folhas foi calculado considerando o rendimento médio de todos os indivíduos para cada população. Foi calculado um intervalo de confiança para esta variável considerando o tamanho da amostra, a média e o desvio padrão para cada população. A comparação entre o teor de óleo essencial das duas populações foi realizada com o teste *t* para amostras independentes no programa Systat 12.

Teor de óleo essencial das folhas x Teor de óleo essencial dos galhos

Para analisar a diferença entre a produção de óleo essencial de folhas e galhos finos consideramos o teor médio de óleo essencial de 20 indivíduos

localizados na Reserva Ducke. A comparação entre o teor de óleo entre as partes foi realizada através do teste *t* pareado no programa Systat 12.

Teor de óleo essencial x DAP e posição no estrato vertical

A relação entre o DAP e o teor de óleo essencial foi verificada por regressão linear no programa Systat 12. A influência da posição no estrato vertical da árvore no teor de óleo essencial foi analisada de forma descritiva.

Viabilidade do manejo de folhas e galhos finos

Para verificar a viabilidade da produção de óleo essencial a partir do manejo da copa, estimamos a produtividade das duas populações de pau-rosa. Foram utilizados os parâmetros técnicos indicados na Instrução Normativa (IN) N° 09 de 25 de agosto de 2011 (IBAMA 2011), que são:

(I) A equação $p = 0,0009 * d^{1,585} * h^{2,651}$ para o cálculo do peso total médio (*p*) de uma árvore de pau-rosa em floresta natural, considerando o DAP em centímetros (*d*) e a altura em metros (*h*).

(II) A proporção em peso das partes da árvore equivalente a: 65,6%, 17,4% e 17%, para tronco, galhos grossos (> 10cm) e folhas e galhos finos, respectivamente.

(III) O rendimento de óleo essencial de 1,1%, 1,2%, 1,9% e 1,25% para tronco, galhos grossos, folhas e galhos finos e árvore inteira, respectivamente.

Comparamos a produção de óleo por meio do sistema de corte raso e manejo da copa. Consideramos o peso seco da rebrota da cepa e da rebrota da copa de indivíduos de pau-rosa, observados por Sampaio *et al.* (2005) em um plantio experimental na Reserva Ducke, treze anos após a poda das copas e do corte das árvores a 1 m do solo. Os autores verificaram que o peso seco da rebrota da copa (39,5 kg) foi significativamente superior ao peso seco de galhos e folhas das árvores testemunha (23 kg) e da rebrota das cepas (13,7 kg).

Resultados

Qual o teor de óleo essencial das folhas nas duas populações estudadas?

O teor médio dos óleos extraídos das folhas das árvores de pau-rosa da foi igual a 1,58% ($\pm 0,42$) e a 1,47% ($\pm 0,41$) para a Reserva Ducke e FLORESTA de Maués, respectivamente.

O intervalo de confiança (IC) para a média do teor de óleo essencial das folhas é igual a: IC_{Ducke}: $P[1,43\% \leq x \leq 1,73\%] = 95\%$ e IC_{Maués}: $P[1,31\% \leq x \leq 1,63\%] = 95\%$, onde x corresponde ao valor médio da população e 95% a confiança do intervalo.

O rendimento do óleo essencial das folhas de pau-rosa das duas populações está representado na Figura 1.

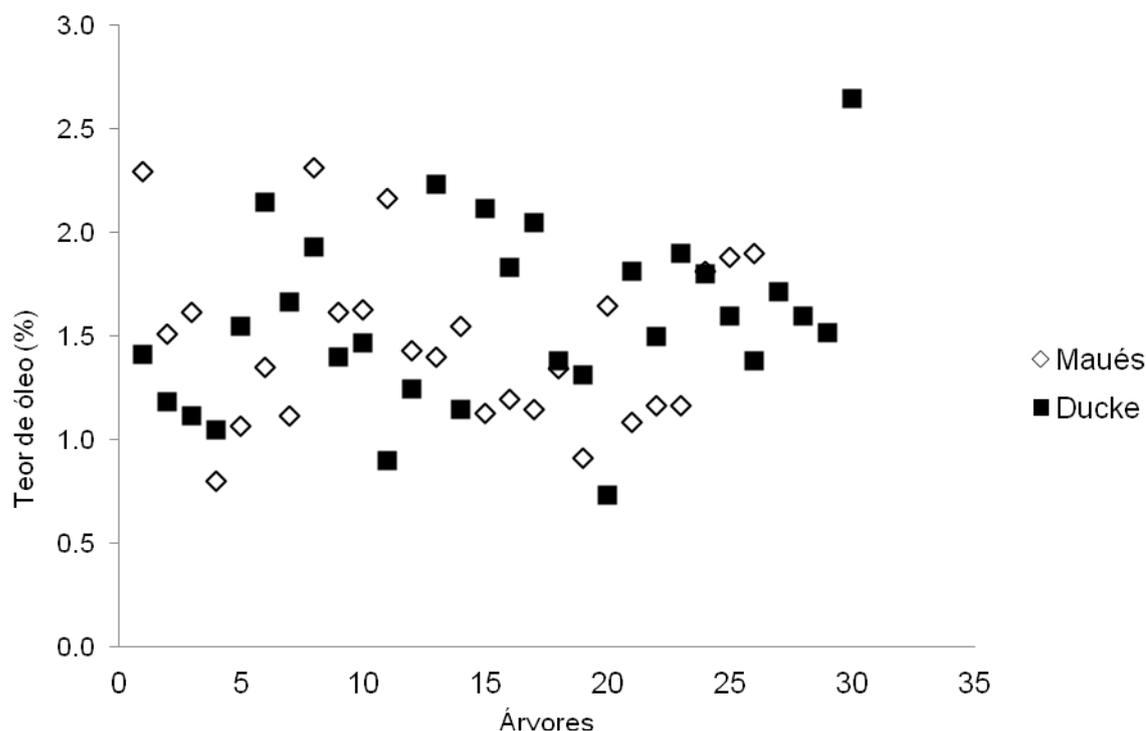


Figura 1. Teor médio do óleo essencial das folhas das árvores de pau-rosa na FLORESTA de Maués e na Reserva Ducke

Apesar da população da Reserva Ducke apresentar média superior do teor do óleo extraído das folhas, não foi verificada diferença significativa ($p= 0,232$) entre os rendimentos médios dos indivíduos das duas populações para esta parte da planta.

O teor de óleo essencial das folhas é diferente entre folhas e galhos finos?

Para as árvores de pau-rosa utilizadas na análise de comparação do rendimento de óleo essencial das diferentes partes, verificamos que o óleo extraído a partir dos galhos finos apresentou teor médio superior ($1,69\% \pm 0,51$) ao óleo das folhas ($1,57\% \pm 0,41$). O intervalo de confiança (IC) para o teor médio de óleo essencial de galhos na Reserva Ducke é igual a: $IC_{Galhos}: P[1,46\% \leq x \leq 1,91\%] = 95\%$, onde x corresponde ao teor médio da população e 95% a confiança no intervalo.

Verificamos que o rendimento do óleo de galhos finos e folhas das árvores de pau-rosa na Reserva Ducke não segue um padrão de diferenciação entre as duas partes da planta para todos os indivíduos (Figura 2).

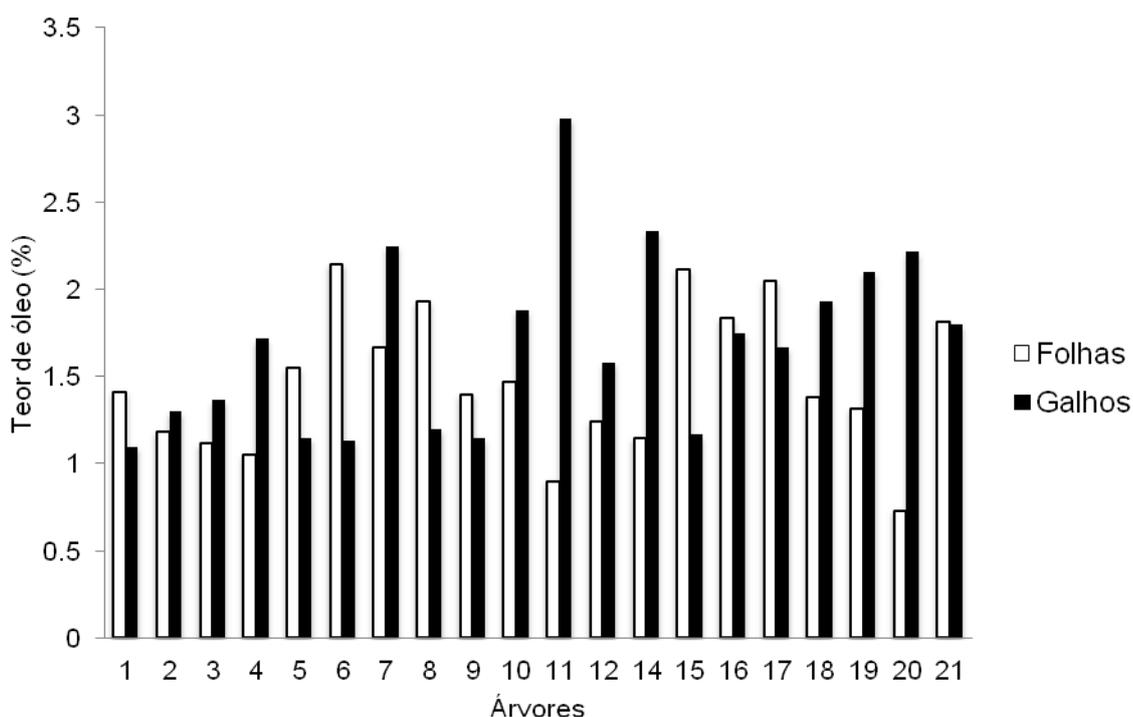


Figura 2. Teor de óleo essencial de folhas e galhos finos de árvores de pau-rosa localizadas na Reserva Ducke

A maior diferença foi observada na árvore número 11, onde o óleo de galhos apresentou rendimento igual a 2,98% e o óleo das folhas, 0,9%. Na árvore número 20 também foi possível verificar uma grande diferença entre as partes, já que galhos e folhas apresentaram teores de óleo de 2,21% e 0,73%, respectivamente.

Dos indivíduos em que o óleo extraído das folhas apresentou rendimento superior ao dos galhos destaca-se as árvores número 6, com teor de 2,15% nas folhas e 1,13% nos galhos e a número 15, com 2,16% nas folhas e 1,17% nos galhos.

Apesar do teor de óleo de galhos ter apresentado média superior para esta população, o teste *t* pareado indica que não houve diferença significativa ($p= 0,24$) no teor das diferentes partes dentro desta população.

O teor de óleo essencial das folhas e galhos finos está associado com o DAP e posição no estrato vertical da árvore?

Teor do óleo essencial e DAP

O diâmetro da árvore não apresentou associação com o teor de óleo essencial das folhas ($r^2= 0,03$, $p= 0,188$, $n= 56$), indicando que o tamanho da árvore não contribui para predição de óleo nesta parte da planta. No entanto, entre o teor de óleo presente nos galhos e o diâmetro das árvores foi detectada uma relação positiva fraca ($r^2= 0,25$, $p= 0,023$, $n= 20$), evidenciando que a quantidade de óleo proveniente dos galhos é maior em árvores de maiores diâmetros (Figura 3).

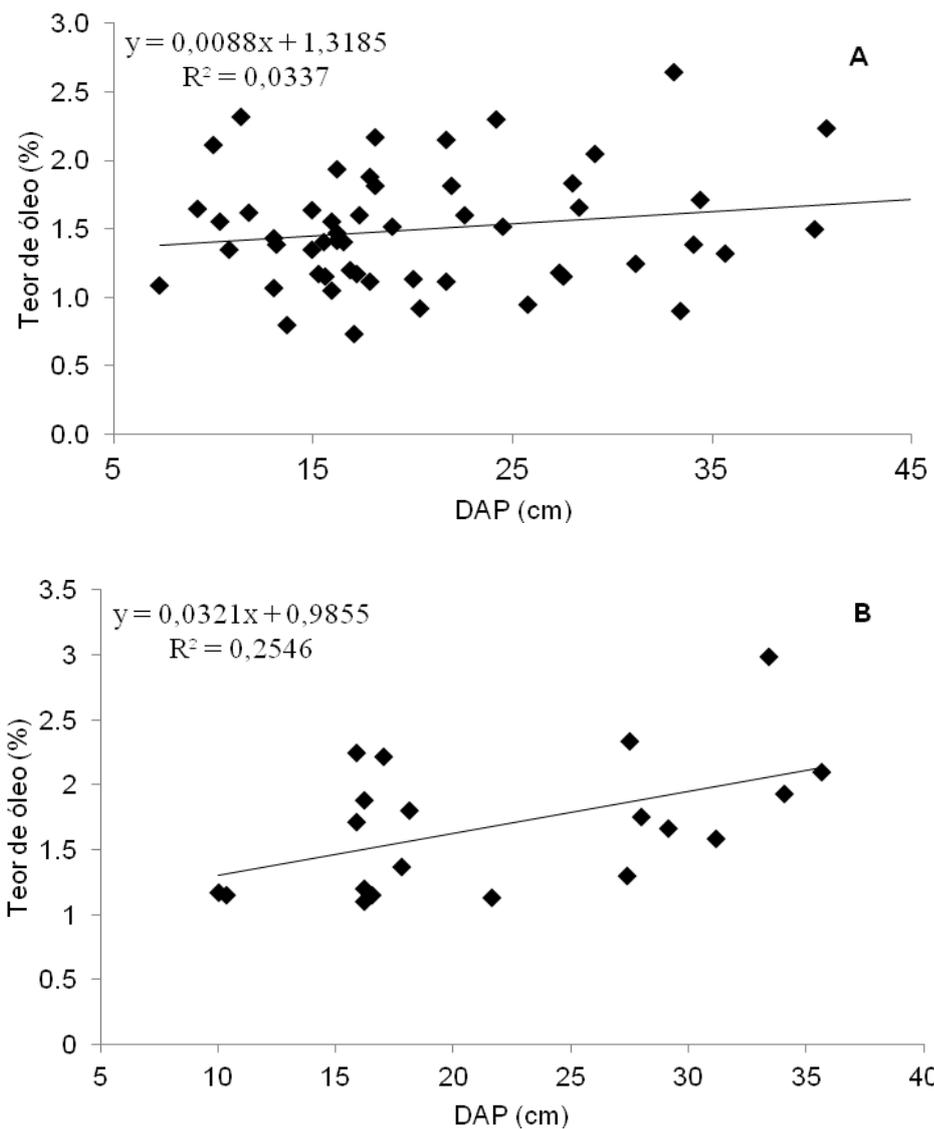


Figura 3. Relação entre o diâmetro a altura do peito da árvore com o teor de óleo essencial de folhas (A) e galhos (B)

Existe uma tendência de aumento do teor de óleo de galhos de acordo com a classe de diâmetro da árvore, considerando um intervalo de 10 cm (Tabela 1).

Tabela 1. Rendimento de óleo nas diferentes classes de diâmetro

DAP (cm)	Número de indivíduos	Frequência (%)	Teor de óleo (%)
10 ≤ 19.9	11	58	1,47
20 ≤ 29.9	5	26	1,64
≥ 30	4	21	2,15

Teor do óleo essencial e posição no estrato vertical

As árvores dominantes possuem um maior teor de óleo essencial provenientes de galhos e folhas quando comparado às árvores codominantes e intermediárias (Figura 4). No entanto, novas análises considerando um maior número de indivíduos nos diferentes estratos são necessárias para avançar na compreensão dos padrões de associação entre a produtividade de óleo e a posição da árvore no estrato vertical da floresta.

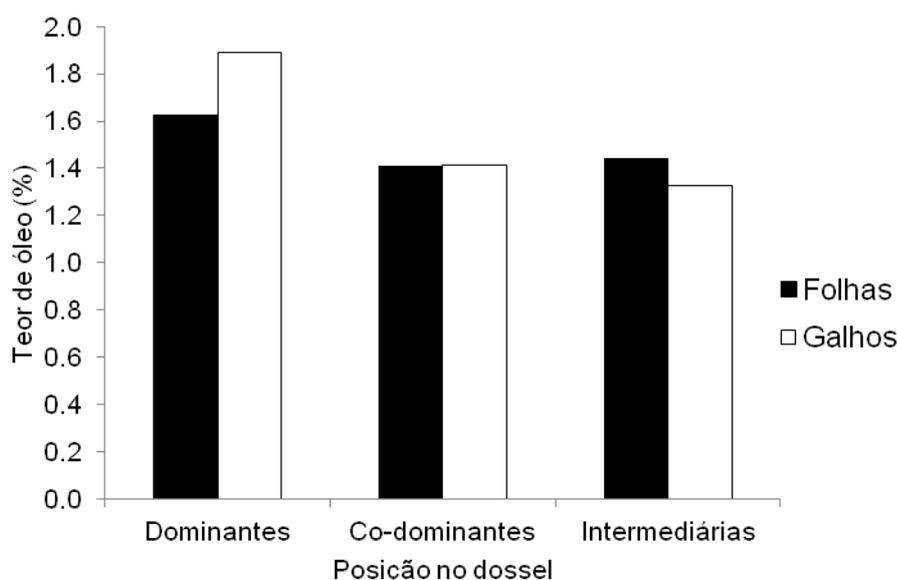


Figura 4. Relação entre a posição da árvore no estrato vertical e o teor de óleo essencial de folhas e galhos finos

A produção de óleo essencial através do manejo da copa é viável em populações naturais?

A estimativa de produção total de óleo essencial da população da FLORESTA de Maués foi de 117,2 Kg. Deste valor, 67,7 Kg correspondem ao óleo do tronco, 19,6 Kg dos galhos grossos e 30,3 Kg dos galhos finos e folhas (Tabela 2).

Os valores de produtividade de óleo de folhas e galhos finos observados neste trabalho foram inferiores aos estimados pelos parâmetros da instrução normativa do IBAMA (Tabela 2). Porém, ressaltamos que para esta população, utilizamos apenas o teor de óleo observado para as folhas, não considerando o teor médio dos galhos finos, o que pode ter subestimado este valor.

Tabela 2. Produtividade de óleo essencial de pau-rosa na FLORESTA de Maués

Classe de DAP (cm)		10 ≤ 19,9	20 ≤ 24,9	≥ 25	Total
N° de indivíduos		21	4	1	26
Peso (Kg)	Total	3.570,9	4.161,7	1.647,4	9.379,9
	Tronco	2.342,5	2.730,1	1.080,7	6.153,2
	Galhos grossos	621,3	724,1	286,6	1.632,1
	Galhos finos + folhas	607,1	707,5	280,1	1.594,6
Rendimento (Kg)	Árvore inteira*	44,6	52,0	20,6	117,2
	Tronco*	25,8	30,0	11,9	67,7
	Galhos grossos*	7,5	8,7	3,4	19,6
	Galhos finos + folhas*	11,5	13,4	5,3	30,3
	Galhos finos + folhas**	8,7	10,2	4,0	23,0

*Estimado com os parâmetros da Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA

**Observado na presente pesquisa

O Manejo Florestal Sustentável é inviável na população inventariada na FLORESTA de Maués, pois apenas um indivíduo apresentou DAP mínimo para corte estabelecido pela legislação (25 cm). Porém, a distribuição diamétrica desta população indica que futuramente alguns indivíduos poderão ser manejados nesta área (Figura 5).

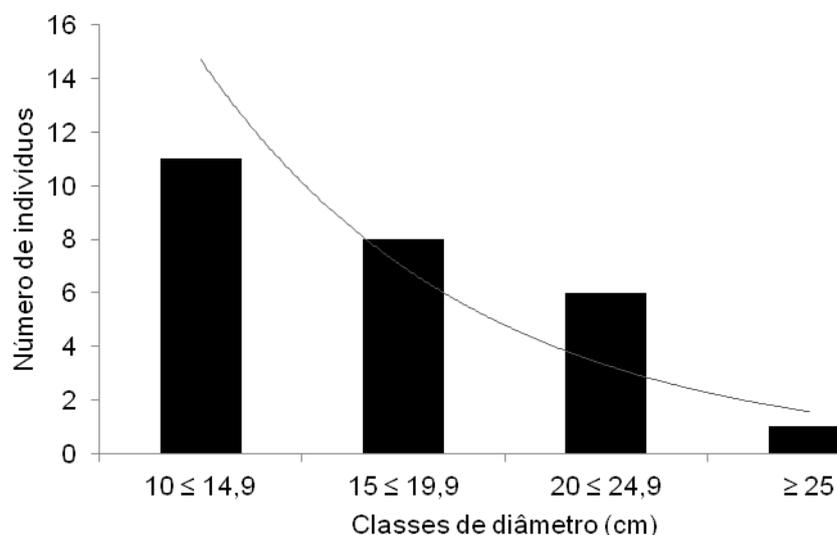


Figura 5. Distribuição diamétrica dos indivíduos de pau-rosa da população da FLORESTA de Maués

Na Reserva Ducke, os indivíduos inventariados apresentaram uma estimativa de produção total de óleo essencial equivalente a 480,8 Kg. Deste total, 277,5 Kg correspondem ao óleo do tronco, 80,3 Kg dos galhos grossos e 124,2 Kg dos galhos finos e folhas. Ressaltamos que os valores encontrados em nossa pesquisa para o

teor de óleo de folhas e galhos finos estão abaixo do estimado por estes parâmetros (Tabela 3). Porém, o rendimento de óleo indicado na instrução normativa encontra-se dentro do intervalo de confiança observado para o teor de óleo de galhos finos.

Tabela 3. Produtividade de óleo essencial de pau-rosa na Reserva Ducke

Classe de DAP (cm)		10 ≤ 19,9	20 ≤ 24,9	≥ 25	Total
N° de indivíduos		14	2	14	30
Peso (Kg)	Total	3.062,4	1.347,2	34.051,0	38.460,7
	Tronco	2.008,9	883,8	22.337,5	25.230,2
	Galhos grossos	532,9	234,4	5.924,9	6.692,2
	Galhos finos + folhas	520,6	229,0	5.788,7	6.538,3
Rendimento (Kg)	Árvore inteira	38,3	16,8	425,6	480,8
	Tronco*	22,1	9,7	245,7	277,5
	Galhos grossos*	6,4	2,8	71,1	80,3
	Galhos finos + folhas*	9,9	4,4	110,0	124,2
	Galhos finos + folhas**	8,4	3,7	93,6	105,7

*Estimado com os parâmetros da Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA

**Observado na presente pesquisa

Dentre os 30 indivíduos inventariados nesta população, 14 apresentaram DAP ≥ 25 cm. De acordo com a legislação, 66% destes indivíduos poderiam ser manejados, totalizando 9 árvores. Para a análise da viabilidade do manejo de galhos e folhas, selecionamos os 9 indivíduos com maior biomassa estimada. Foram excluídas desta seleção as árvores que apresentaram DAP ≥ 40 cm, conforme indicado na IN N° 002/2006 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Amazonas.

A capacidade produtiva de uma população natural com as características semelhantes aos dos indivíduos inventariados na Reserva Ducke seria equivalente a 120,7 Kg de óleo essencial utilizando o tronco da árvore. As estimativas da produção de óleo essencial através dos galhos finos e folhas são de 54 Kg e 45,9 Kg, respectivamente (Tabela 4) e 34,9 Kg de óleo essencial utilizando os galhos grossos.

Para os cálculos posteriores, consideramos a estimativa de produção de óleo de folhas e galhos finos utilizando o teor médio destas duas partes observados em nosso trabalho e o teor médio de óleo indicado na instrução normativa do IBAMA para as demais partes da planta.

Tabela 4. Simulação da seleção de árvores de pau-rosa para um Plano de Manejo Florestal Sustentável

		Selecionadas para o manejo									Total
Amostra		2	16	23	17	30	11	18	27	19	-
DAP (cm)		27,4	28,0	28,3	29,1	33,1	33,4	34,1	34,4	35,7	-
Peso (Kg)	Total	1.534	900	1.017	1.293	2.256	2.106	1.361	1.682	4.585	16.733
	Tronco	1.007	590	667	848	1.480	1.381	893	1.103	3.008	10.977
	G. grossos	267	157	177	225	393	366	237	293	798	2.912
	G. finos + folhas	261	153	173	220	384	358	231	286	779	2.845
Rendimento (Kg)	Árvore inteira*	19,2	11,2	12,7	16,2	28,2	26,3	17,0	21,0	57,3	209,2
	Tronco*	11,1	6,5	7,3	9,3	16,3	15,2	9,8	12,1	33,1	120,7
	G. grossos*	3,2	1,9	2,1	2,7	4,7	4,4	2,8	3,5	9,6	34,9
	G. finos + folhas*	5,0	2,9	3,3	4,2	7,3	6,8	4,4	5,4	14,8	54,0
	G. finos + folhas**	4,2	2,5	2,8	3,6	6,2	5,8	3,7	4,6	12,6	46,0

*Estimado com os parâmetros da Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011 do IBAMA

**Observado na presente pesquisa

De acordo com os valores estimados, o manejo destes indivíduos produziria 209,2 kg de óleo essencial se as árvores inteiras fossem utilizadas, 120,7 kg se apenas o tronco fosse utilizado na destilação, enquanto a copa (galhos grossos + galhos finos + folhas) produziria um total de 80,9 kg. A diferença de produção de óleo essencial entre o tronco e a copa seria equivalente a 40 kg de óleo no primeiro corte, o que poderia ser compensado através do manejo da copa de outros cinco indivíduos com DAP \geq 25 cm no momento da extração.

Ressaltamos que, ao considerar os dados do trabalho de Sampaio *et al.* (2005), em um período de 13 anos, o peso seco da rebrota destes indivíduos seria de 355,5 kg para a copa (39,5 kg/árv.) e apenas 123,3 kg para as cepas (13,7 kg/cepa). Esta biomassa representaria uma produção de 5,7 kg de óleo essencial a partir de uma segunda poda na copa, enquanto as cepas produziram apenas 0,15 kg de óleo.

Apesar da grande diferença de produção de óleo entre os dois sistemas de manejo, percebemos que a quantidade produzida pela copa é pequena para o período considerado. Porém, devemos considerar que o intervalo de tempo entre as sucessivas podas na copa pode ser menor. No estudo de Sampaio *et al.* (2007), os indivíduos podados pela segunda vez após 13 anos produziram 13 kg de biomassa de galhos e folhas por árvore após 36 meses e as árvores podadas pela terceira vez, 15,2 kg neste mesmo período.

Assim, em três anos, o incremento em biomassa da copa representa 34,7% do total de biomassa produzido em 13 anos, indicando que as podas sucessivas podem ser realizadas dentro de um curto período de tempo. Percebemos, portanto, que para uma população semelhante ao agrupamento de pau-rosa inventariado na Reserva Ducke, o manejo da copa para a produção de óleo essencial é viável e tende a garantir a continuidade da produção ao longo do tempo, o que não seria possível se o sistema de corte raso fosse utilizado.

Discussão

Teor de óleo essencial

Os teores de óleo essencial de galhos e folhas de pau-rosa observados nesta pesquisa apresentam valores semelhantes aos reportados em outros trabalhos com esta espécie (Tabela 5).

Tabela 5. Rendimento de óleo essencial de pau-rosa observado em outros trabalhos

Referência	Rendimento (%)		
	Folhas	Galhos	Madeira
Amazonas 2012	0,83 a 2,05		
Araujo <i>et al.</i> 1971	1,4 a 2,6	1 a 2	
Chaar 2000	1,3	1,2	
IBAMA 2011	1,9	1,1 a 1,9	1,1
Leite <i>et al.</i> 2001	2,4	2,4	1,1
Maia <i>et al.</i> 2007	1,6 a 2,2		
May e Barata 2004			0,7 a 1,2
Presente estudo	1,57*	1,66*	
	1,43**		

*Rendimento observado na Reserva Ducke

**Rendimento observado na Floresta Estadual de Maués

As diferenças metodológicas destas pesquisas dificultam a comparação entre os resultados. Estas diferenças podem ser decorrentes da localização geográfica das amostras, temperatura e precipitação no período de coleta, tempo de secagem do material e métodos de extração. Além disto, a produção de metabólitos secundários pode sofrer influência de diversos fatores, como disponibilidade de água, temperatura, altitude, herbivoria, radiação, nutrição, entre outros (Gobbo-Neto e Lopes 2007, Lima *et al.* 2003).

Alguns autores reportam que o rendimento do óleo essencial de pau-rosa pode estar associado à sazonalidade do período de coleta. De acordo com Sangwan *et al.* (2001), os principais parâmetros da sazonalidade climática que influenciam o rendimento e a qualidade de óleo essencial são temperatura e pluviosidade.

Araujo *et al.* (1971) extraíram mensalmente o óleo essencial de folhas e galhos finos de uma árvore de pau-rosa da população natural da Reserva Ducke, verificando que o rendimento de óleo essencial foi inferior durante a estação

chuvosa. O menor valor observado por estes autores foi de 1,4% no mês de março para as folhas e 1,0% para os galhos no mês de fevereiro, enquanto os maiores valores corresponderam a 2,6% em agosto e 2% em dezembro, para folhas e galhos, respectivamente.

Porém, Maia *et al.* (2007) observaram que o rendimento do óleo das folhas de pau-rosa apresenta uma outra tendência de variação sazonal, tendo observado o menor valor (1,6%) nos meses de setembro e outubro e o maior rendimento (2,2%) no mês de março. Estes autores estudaram o rendimento mensal das folhas de um indivíduo desta espécie em Belém do Pará. Foi verificado um maior rendimento de óleo durante a estação chuvosa e no período de emissão foliar. Os autores acreditam que o maior rendimento de óleo no mês de março pode ser atribuído a maior precipitação de água que afeta as células oleíferas, tornando mais fácil a separação na hidrodestilação.

No estudo de Chaar (2000) o rendimento observado para folhas foi igual a 1,5% no mês de janeiro e 1,2% no mês de outubro. O autor coletou galhos finos apenas no mês de janeiro e obteve um rendimento de 1,3%. Para esta pesquisa, foi coletado material de três indivíduos de pau-rosa de um plantio localizado na Reserva Ducke.

Na presente pesquisa, as coletas foram realizadas em meses diferentes. A precipitação mensal observada durante a coleta na Reserva Ducke (maio de 2011) foi inferior à observada durante a coleta na FLORESTA de Maués (fevereiro de 2011) (Anexo A). No entanto, esta diferença parece não ter influenciado nos teores de óleo, pois as duas populações não apresentaram diferença significativa na análise desta variável. A distância geográfica entre as duas populações também parece não influenciar no teor de óleo essencial. Esta característica deve, portanto, estar associada a características individuais de cada árvore para as áreas estudadas.

Já em um estudo realizado em duas populações naturais de pau-rosa no Pará, Amazonas (2012) verificou uma grande diferença no teor de óleo entre os indivíduos localizados na Floresta Nacional (FLONA) do Tapajós e na Reserva Extrativista (RESEX) Tapajós-Arapiuns. A média do teor de óleo observado na FLONA foi igual a 2,05% enquanto na população da RESEX, foi de apenas 0,83%.

Esta autora acredita, porém, que os indivíduos estudados na RESEX podem ter sido erroneamente identificados como *Aniba rosaeodora* Ducke., podendo se tratar de outra espécie deste gênero.

Observamos que o teor de óleo essencial de galhos finos e folhas é uma variável heterogênea entre as árvores de pau-rosa localizadas na mesma população. A diferença chegou a 1,92% entre o óleo das folhas de dois indivíduos. O maior teor de óleo de folhas (2,65%) foi referente à árvore número 30 da Reserva Ducke, que apresentava folhas novas no momento da coleta. Araujo *et al.* (1971) e Maia *et al.* (2007) atribuem um maior rendimento de óleo a fenofase de mudança foliar. Entretanto, para esta avaliação, é necessário que os mesmos indivíduos sejam observados nas diferentes fenofases, o que não foi objeto de estudo na presente pesquisa.

Outras árvores que apresentavam folhas jovens foram as de número 9 e 24, apresentando teor de 1,4% e 1,8%, respectivamente. Estas duas apresentavam um número muito reduzido de folhas na copa, parecendo ainda não ter completado a emissão foliar, diferente da árvore 30, que estava com folhas em toda a copa. A árvore número 11 apresentou o teor mais baixo de óleo (0,9%) da população da Reserva Ducke e também se encontrava em fase de emissão foliar. Porém, este indivíduo apresentava um acentuado grau de herbivoria em suas folhas no momento da coleta. Ressaltamos que deste mesmo indivíduo foi que se obteve o maior teor de óleo nos galhos finos (2,98%), podendo indicar uma possível estratégia de defesa da planta.

O teor médio do óleo de galhos foi superior ao teor médio do óleo das folhas, porém, o teste estatístico indicou que esta diferença não é significativa através da comparação dos teores das diferentes partes nos mesmos indivíduos. Esta comparação permite observar que a população não segue um padrão de diferenciação para todos os indivíduos. Assim, a diferença de teor de óleo entre estas partes parece estar associada a características intrínsecas a cada árvore. Estes resultados demonstram a importância em amostrar um grande número de indivíduos para obtermos uma média de teor de óleo representativa da população. Em populações inequidistantes principalmente, diferentes indivíduos podem estar submetidos a distintas condições de luminosidade e solo, por exemplo.

O teor de óleo nos galhos finos parece estar associado ao DAP da árvore e recomendamos que um maior número de indivíduos seja amostrado para verificar esta relação. O diâmetro pode ser considerado uma medida indireta da idade da planta, e quando observado o teor médio de óleo por classe de diâmetro, a relação entre as variáveis pode ser observada de forma mais clara. Esta relação indica que as árvores com maior diâmetro apresentam teor médio de óleo de galhos superior aos indivíduos de classes menores.

A posição da copa da árvore no estrato vertical pareceu estar relacionada com o teor de óleo essencial para as duas partes da copa, sendo que os indivíduos cuja copa se encontra no dossel da floresta apresentaram maior rendimento de óleo. Esta relação pode estar associada a maior radiação que chega à copa de indivíduos nesta posição.

Além disso, a exposição a uma maior radiação está diretamente relacionada ao incremento da biomassa após a realização de podas em plantios de pau-rosa (Sampaio *et al.* 2007), possivelmente devido a alta capacidade fotossintética. Assim, recomendamos que na seleção de indivíduos em um plano de manejo florestal sustentável para esta espécie, seja dada preferência para as árvores dominantes.

Consideramos ainda que a diferença de teor de óleo entre as árvores de pau-rosa pode estar associada a outras características que não foram testadas em nossa pesquisa, como as condições edáficas e as características genéticas de cada indivíduo da população.

É importante ressaltar que o teor de óleo indicado pela instrução normativa do IBAMA que regulariza a colheita do pau-rosa, é superior às médias encontrada em nossa pesquisa para os galhos finos. No entanto, os valores estão dentro do intervalo de confiança observado para o teor médio de galhos finos, o que representa que o parâmetro indicado na legislação poderia ser utilizado como referência para estas duas populações de pau-rosa.

Viabilidade do manejo da copa para a produção de óleo essencial

O inventário realizado em uma população da FLORESTA de Maués evidenciou o grande impacto que a exploração desta espécie acarretou nesta área

ao encontrarmos um número restrito de indivíduos de pau-rosa, os quais eram em sua grande maioria árvores jovens. De acordo com Oliveira (2005), o extrativismo, principalmente de pau-rosa, foi o elemento comum na ocupação desta Unidade de Conservação e, por muito tempo, prevaleceu como a única alternativa econômica para estas famílias.

Atualmente, o extrativismo de pau-rosa é insignificante na FLORESTA de Maués, mas ainda ocorre (Oliveira 2005). No entanto, o abandono pela maioria das comunidades desta atividade há mais de 20 anos nesta área poderá contribuir na conservação desta espécie. Por outro lado, a produção de óleo, mesmo que a partir de galhos e folhas, está comprometida na população encontrada nas proximidades da Comunidade São João Batista do Pacoval e recomendamos que estes indivíduos sejam utilizados apenas como árvores porta sementes. Estratégias de conservação *in situ*, como a condução da regeneração natural e o enriquecimento do sub-bosque ou clareiras com indivíduos desta espécie também são recomendadas.

A Reserva Ducke é um fragmento florestal urbano que foi cedido ao INPA pelo governo do estado do Amazonas no ano de 1963 sendo, portanto, uma área destinada apenas à pesquisa. Esta peculiaridade pode justificar o fato de encontrarmos indivíduos de pau-rosa muito antigos, já que a área é protegida há pelo menos 50 anos. Em uma população com características semelhantes aos indivíduos estudados na Reserva Ducke, o manejo florestal sustentável da espécie seria viável de acordo com as instruções normativas que regularizam a colheita do pau-rosa.

Acreditamos que ainda é possível encontrar populações naturais desta espécie com estrutura semelhante à encontrada na Reserva Ducke, uma vez que algumas empresas do estado do Amazonas continuam produzindo e exportando este produto atualmente. Mesmo considerando mais adequada a produção de óleo essencial a partir do manejo de plantios desta espécie, o manejo da copa em populações naturais é uma alternativa viável até que o estabelecimento de plantios possa fornecer matéria prima suficiente para atender a demanda do mercado.

Apesar de a copa apresentar maior produtividade de óleo do que a madeira (Leite *et al.* 2001, May e Barata 2004), a biomassa desta parte da árvore é inferior a do tronco, o que requer que um número maior de indivíduos seja manejado para

produzir a mesma quantidade de óleo que o corte raso. No entanto, a rebrota da copa resulta em um incremento de biomassa superior a rebrota das cepas e um sistema sucessivo de podas parece não afetar este incremento (Sampaio *et al.* 2005, 2007).

Além disso, devemos considerar que o impacto causado por este sistema é inferior ao que a derrubada da árvore ocasiona. Isto porque, as populações naturais de pau-rosa mais próximas dos rios foram exploradas há muito tempo, sendo hoje uma espécie de difícil acesso. Para sua exploração, é preciso montar uma infraestrutura pesada, com caminhões e tratores, até distâncias consideráveis na floresta (Mitja e Lescure 1996). Este sistema pode afetar não apenas a conservação da espécie explorada, mas também a regeneração natural de outras espécies através da abertura de estradas para o transporte das toras.

A derrubada da árvore também acarreta a queda de outros indivíduos na área de extração, formando grandes clareiras na floresta. Neste sentido, o manejo da copa poderia não interferir tanto na área de exploração, uma vez que dificilmente iria impactar uma área com a mesma intensidade que a derrubada da árvore inteira. Além disso, o transporte do material seria realizado com o uso de equipamentos menores para arraste, resultando em uma menor interferência ambiental na área de exploração.

A mudança na infraestrutura da extração de pau-rosa pelo sistema de manejo da copa resultaria na diminuição dos custos da exploração. A redução dos custos poderia compensar a diferença da quantidade de óleo produzida pela copa em relação à produção a partir do tronco. Porém, um estudo mais detalhado sobre a mudança nestes custos é necessário para aprofundar esta avaliação.

A escolha entre o sistema de extração mais adequado para o pau-rosa também deve considerar a crescente valorização do óleo essencial no mercado (Figura 6). A tendência de aumento no valor deste produto com o passar dos anos deve-se à provável escassez do recurso e ao *marketing* ecológico, que se ampara sobre a moda criada em torno dos produtos naturais, principalmente os provenientes da floresta amazônica (Vial-Debas 1996).

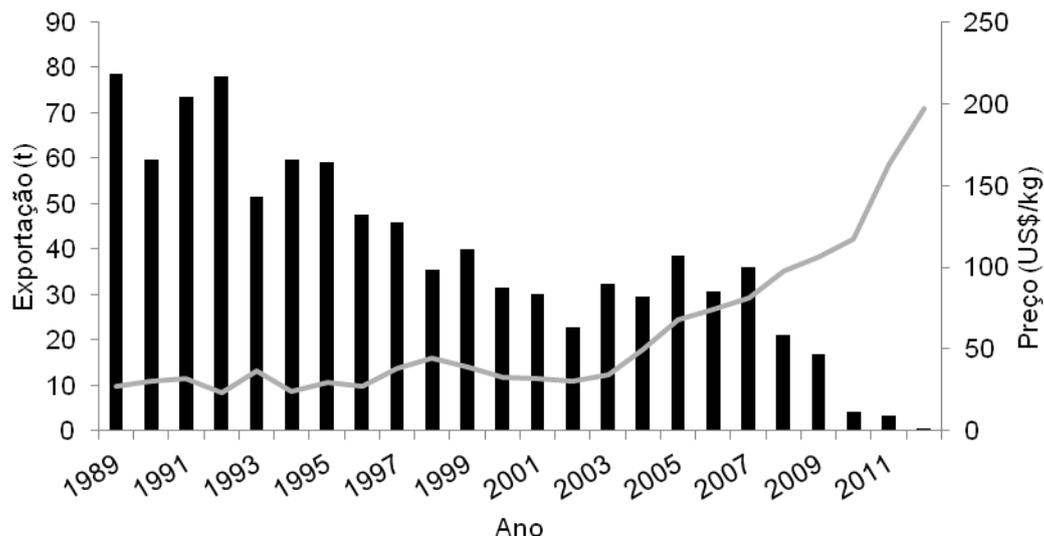


Figura 6. Relação entre a quantidade de óleo essencial exportada pelo Brasil (colunas) e o preço do produto (linha). Fonte: MDIC 2012.

A extração contínua de óleo essencial de pau-rosa, possibilitada pelo manejo da copa, pode acarretar em um maior retorno financeiro ao produtor ao longo do tempo. Além disto, é possível que estas medidas contribuam com a conservação desta espécie.

Se um número relativamente pequeno de indivíduos fosse incluído no plano de manejo a produção de óleo de galhos e folhas seria equivalente à da árvore inteira. Esta informação provoca a reflexão de que algumas modificações na legislação poderiam contribuir com a mudança no sistema de manejo desta do pau-rosa.

Por outro lado, acreditamos que estudos que evidenciem o impacto da prática de podas sucessivas na produção de sementes devem ser realizados, tentando garantir que o manejo seja realizado em um intervalo de tempo que não inviabilize a reprodução da espécie na área explorada. Além disto, também se faz importante o conhecimento da variabilidade genética da população. É possível que este estudo contribua para que o manejo da espécie não comprometa a conservação do pau-rosa na área explorada. No manejo de populações naturais deve-se priorizar a manutenção da diversidade genética para evitar problemas como a endogamia e consequente erosão genética da espécie.

Conclusões

- O teor de óleo essencial das folhas é uma variável heterogênea entre indivíduos de uma mesma população natural, parecendo estar mais associado a características individuais de cada árvore do que à localização geográfica das mesmas.
- A diferença entre o rendimento de óleo essencial de folhas e galhos finos de um mesmo indivíduo não segue um padrão para todas as árvores da população, sendo que o rendimento total para cada parte não é significativamente diferente.
- A amostragem de um pequeno número de indivíduos de pau-rosa em uma população natural pode superestimar ou subestimar a capacidade produtiva de óleo essencial da população como um todo.
- Recomenda-se priorizar o manejo da copa de indivíduos com maiores diâmetros e cuja copa alcance o estrato superior da floresta.
- O manejo da copa é viável para a produção de óleo essencial em populações naturais de pau-rosa de acordo com os parâmetros técnicos da instrução normativa do IBAMA que regulariza o manejo da espécie. Esta viabilidade está fundamentada na continuidade da produção aliada à crescente valorização e à possível redução dos custos de extração do recurso na floresta.

Capítulo 2

**Variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos
entre diferentes árvores de pau-rosa em duas populações naturais
da Amazônia Central**

Resumo

A compreensão da variabilidade química do óleo essencial de pau-rosa entre e dentro de populações desta espécie poderá possibilitar a seleção de indivíduos com características mais interessantes à indústria para o desenvolvimento de programas de melhoramento genético. Avaliamos a variabilidade química intraespecífica do óleo de folhas e galhos finos de duas populações naturais de pau-rosa localizadas em Maués, na Floresta Estadual de Maués e em Manaus, na Reserva Ducke. A composição dos óleos essenciais foi analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas, possibilitando a análise da similaridade entre e dentro das populações e da dissimilaridade entre o óleo de folhas e galhos finos. O teor de linalol das amostras foi calculado através do método do padrão externo e comparado entre os grupos de similaridade. A composição dos enantiômeros do linalol foi analisada em dez amostras por análise quiral em cromatógrafo em fase gasosa com detector por espectrometria de massas. A análise da composição química revelou uma tendência de agrupamento de indivíduos de acordo com a localização geográfica. Constatamos que na Floresta Estadual de Maués os indivíduos de pau-rosa apresentam maior similaridade química, o que pode representar uma menor variabilidade genética nesta população. Os óleos de folhas e galhos são diferentes quimicamente e os galhos apresentam menor variabilidade do que as folhas. Verificamos que o teor de linalol de folhas e galhos finos é uma variável heterogênea, sendo que os maiores teores foram observados nas amostras provenientes da Floresta Estadual de Maués. Os galhos finos apresentaram maior teor de linalol do que as folhas na Reserva Ducke. Observamos que a composição enantiomérica do linalol varia entre diferentes indivíduos de pau-rosa e entre galhos finos e folhas. Esta análise permitiu a confirmação da dominância do linalol dextrógiro desta espécie na Amazônia Central. Concluímos que, apesar do linalol apresentar menor teor em folhas e galhos do que na madeira, existe um grande potencial de utilização deste óleo para a indústria de perfumaria. Estas análises poderão servir para a seleção de árvores matrizes de acordo com as características de interesse para a indústria.

Palavras chave: espectrometria de massas, linalol, análise quiral, composição enantiomérica

Abstract

The understanding of chemical variability of essential oil of pau-rosa between and within populations of this species may allow the selection of individuals with the most interesting features to the industry for the development of genetic improvement programs. We evaluated the intraspecific chemical variability of the oil from leaves and twigs of two natural populations of pau-rosa located in Floresta Estadual de Maués, Maués and in Reserva Ducke Manaus. The composition of essential oils was analyzed by gas chromatography coupled to mass spectrometry, enabling analysis of similarity between and within populations and dissimilarity between the oil of leaves and twigs. Linalool content of the samples was calculated using the external standard method and compared among groups of similarity. The composition of the enantiomers of linalool was analyzed in ten samples by chiral analysis in gas chromatograph with mass spectrometry detector. The chemical composition analysis revealed a trend of clustering of individuals according to geographical location. We found that the Floresta Estadual de Maués individuals of pau-rosa are more chemically similar, which may represent a lower genetic variability in this population. Oils of leaves and twigs are chemically different; twigs have less variability than the leaves. We note that the content of linalool from leaves and twigs is a variable heterogeneous and highest levels were observed in samples from the Floresta Estadual de Maués. The twigs showed a high level of linalool than the leaves in the Ducke Reserve. We found that the enantiomeric composition of linalool varies between different individuals of pau-rosa and between twigs and leaves. This analysis allowed the confirmation of the dominance of the dextrorotatory linalool of this species in Central Amazon. We conclude that although leaves and twigs have lower linalool content than in the wood, there is large potential to use this oil for the perfume industry. These analyzes could serve to selecting trees according to the characteristics of interest to the industry.

Keywords: mass spectrometry, linalool, chiral analysis, enantiomeric composition

Introdução

A riqueza de recursos provenientes da Floresta Amazônica não se limita apenas a madeira ou produtos alimentícios. Este bioma ainda possui inúmeras espécies de plantas com potencial para a produção de óleos essenciais. Os óleos essenciais são extraídos das plantas através da técnica de arraste a vapor na grande maioria das vezes, sendo compostos principalmente de mono e sesquiterpenos e de fenilpropanóides. Estes metabólitos conferem suas características organolépticas (Bizzo e Rezende 2009).

Os óleos essenciais e aromas produzidos na região amazônica podem ser utilizados como matéria-prima nas indústrias químicas para aplicação direta em produtos como perfumes, fragrâncias e cosméticos. Outra possível utilização é no desenvolvimento de produtos com uso nas indústrias de medicamentos (fitofarmacêuticos) ou na veterinária e horticultura (inseticidas, fungicidas, bactericidas, larvicidas) (Maia e Andrade 2009).

O pau-rosa é uma espécie que se destacou neste sentido, tendo o seu óleo essencial utilizado há mais de um século pela indústria de perfumaria. Estudos recentes indicam que o linalol, composto majoritário deste óleo, pode ter aplicabilidade na medicina, possuindo efeito sedativo, bactericida e fungicida (Alcântara *et al.* 2010, Almeida *et al.* 2009, Belaiche *et al.* 1995, Sugawara 2000). Apesar da potencialidade de utilização deste óleo em medicamentos, sua exploração e comercialização estão diretamente relacionadas à indústria cosmética, possuindo alto valor no mercado de perfumaria fina.

A grande aceitação deste produto no mercado no último século causou um grande impacto nas populações naturais desta espécie devido à intensa exploração pelas usinas de óleo. Ohashi *et al.* (1997) estimam que o pico de produção no Brasil foi na década de 1960, sendo que a produção anual chegou a atingir o valor de 500 toneladas de óleo. Neste período aproximadamente 50 destilarias estavam em funcionamento no Brasil (Ohashi *et al.* 1997).

A partir de meados dos anos 60, com a introdução do linalol sintético no mercado, com preço muito inferior ao proveniente da extração de óleo de pau-rosa, o mercado deste produto enfrentou um forte declínio (May e Barata 2004, Ohashi *et*

al. 1997, Zellner *et al.* 2006). Ainda, a produção de óleo da madeira e de folhas de uma árvore conhecida como Ho (*Cinnamomum camphora*), uma espécie de Lauraceae que ocorre na Ásia, também rica em linalol, começou a ganhar espaço no mercado a partir da década de 1970 (May e Barata 2004, Ohashi *et al.* 1997, Siani *et al.* 2002). A introdução deste óleo no mercado desbancou mais uma vez a hegemonia do produto proveniente da floresta amazônica.

No entanto, além das qualidades inerentes ao óleo essencial do pau-rosa, há diversos elementos de natureza comercial próprios que fazem com que esse produto se mantenha no mercado. Trata-se de um produto antigo, de tradição, cuja história se entrelaça à história da perfumaria. O óleo de pau-rosa é uma matéria-prima nobre, que faz referência a criações ilustres, sempre solicitadas por uma clientela disposta a investir em produtos de alto padrão e que devem ser produzidos a partir das mesmas regras e com os mesmos ingredientes de outrora (Vial-Debas 1996).

O linalol é um monoterpene alcóolico terciário de cadeia aberta, podendo ser encontrado normalmente sob a forma de uma mistura de isômeros de posição da primeira ligação dupla (Silva *et al.* 2003). Uma das características que influi no valor comercial dos óleos que o contém é a presença de estereocentro na sua estrutura, possuindo dois estereoisômeros: coriandrol e licareol. A quantidade destes dois isômeros influi não somente no aroma, mas também nas atividades farmacológicas (Alcântara *et al.* 2010).

Assim, o linalol ocorre naturalmente em duas formas isoméricas ópticas, 3*R*-(-)-linalol ou 3*S*-(+)-linalol, cada uma com odor bastante distinto (Siani *et al.* 2002, Sugawara 2000, Zellner *et al.* 2006). O isômero levorotatório (licareol) possui um aroma que lembra flor fresca e lavanda, enquanto o isômero dextrorotatório (coriandrol) é descrito como um aroma herbáceo, possuindo uma nota cítrica (Koppenhoefer *et al.* 1994 citado por Siani 2002).

A qualidade do óleo tem sido reconhecida há muito tempo pelos produtores como sujeita a variação, em particular no conteúdo (composição) do óleo essencial e na atividade óptica do linalol, de acordo com as espécies utilizadas (que muitas vezes correspondem a outras espécies do gênero *Aniba*) e o local de colheita (Ohashi *et al.* 1997).

O óleo produzido a partir das folhas e galhos finos pode apresentar uma grande variabilidade química em sua composição entre e dentro das populações naturais desta espécie. Através do estudo desta variabilidade, é possível encontrarmos óleos com características mais valorizadas pela indústria. Para Ohashi *et al.* (1997), isto poderia aumentar o interesse comercial do óleo proveniente destas partes da planta, através da seleção de germoplasma de árvores cujo óleo seja mais interessante para a perfumaria.

A compreensão da variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos de duas populações naturais de pau-rosa da Amazônia Central foi o objetivo central desta etapa do trabalho. Para isso, foi realizada a identificação de grupos similares em relação à composição química e uma análise da dissimilaridade entre o óleo de folhas e galhos finos. Para inferir sobre a qualidade do óleo essencial proveniente da copa de pau-rosa nas populações estudadas, verificamos a concentração de linalol das amostras e o excesso enantiomérico deste composto.

Objetivos

Objetivo geral

Analisar a variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa em duas populações naturais da Amazônia Central

Objetivos específicos

1. Analisar a variabilidade química intraespecífica do óleo essencial das folhas dos indivíduos de pau-rosa das duas populações
2. Analisar a diferença entre a composição química do óleo essencial de folhas e galhos finos dentro de uma população natural de pau-rosa
3. Quantificar o teor de linalol nos óleos essenciais das folhas dos diferentes agrupamentos de similaridade química
4. Comparar o teor de linalol entre galhos finos e folhas
5. Avaliar o excesso enantiomérico do linalol do óleo de folhas e galhos finos

Metodologia

Coleta de dados

Composição química dos óleos essenciais

A composição química dos óleos essenciais de galhos finos e folhas foi analisada em cromatógrafo em fase gasosa com detector por espectrometria de massas (CG-EM), modelo GCMS-QP2010 Plus da Shimadzu, operando por impacto eletrônico a 70 eV. Foi utilizada uma coluna capilar Rtx-WAX (30 m x 0,25 mm d.i. x 0,25 um espessura do filme) e hélio como gás de arraste. Programação de temperatura do forno: 60-150 °C (5 °C/min), 150 °C (2 min). A temperatura do injetor foi 150 °C. O aparelho foi equipado com injetor automático em modo split 1:20 (volume da injeção: 1 µL) com pressão de entrada de 96,3 kPa e velocidade linear constante de 45,4 cm/seg. A detecção foi feita com faixa de varredura de 35 a 450 *m/z* com 0,5 scans/seg.

No cromatograma resultante desta análise, é possível visualizar diferentes picos, os quais se referem a compostos químicos distintos. Os compostos com área de pico $\geq 0,2\%$ nos cromatogramas foram identificados através da comparação com dados disponíveis nas bibliotecas Willey.229 e Nist.08, Nist.08s, Nist.21 e Nist.107. Foi assumida como correta a identificação dos compostos com similaridade superior a 90% com os dados das bibliotecas.

Duas repetições de cada amostra foram submetidas a esta análise. Todas as análises foram realizadas no Núcleo de Apoio Instrumental de Análise Química e Estrutural (NAI) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

Teor de linalol

O teor de linalol foi analisado pelo método de padrão externo. Foi construída uma curva de calibração (curva analítica) ao injetar o padrão puro de linalol racêmico (97%) em diferentes concentrações nas mesmas condições que as amostras foram

injetadas no CG-EM. As amostras de padrão de linalol foram diluídas em hexano e as injeções foram realizadas em duplicatas.

A porcentagem em massa de uma amostra de concentração desconhecida é determinada a partir da equação da reta gerada na curva analítica (Chaar 2000). A concentração de linalol foi calculada, portanto, considerando a área do composto verificada em cada cromatograma em relação à curva analítica padrão.

Excesso enantiomérico do linalol

A análise da composição dos enantiômeros do linalol foi realizada CG-EM. Foi utilizada uma coluna quiral Beta Dex 110 (30 m x 0,25 mm d.i. x 0,25 µm espessura do filme) e hélio como gás de arraste. A programação de temperatura do forno foi: 60-90 °C (2 °C/min), 90-125 (6 °C/min), 125-150 °C (1°C/min), 150 °C (1 min). A temperatura do injetor foi de 220 °C. O aparelho foi equipado com injetor automático em modo split 1:100 (volume da injeção: 1µL) com pressão de entrada de 31,4 kPa e velocidade linear constante de 30,5 cm/seg.

Os enantiômeros do linalol foram identificados de acordo com a literatura, que indica a eluição dos isômeros na ordem *R*-(-)-linalol, *S*-(+)-linalol, utilizando coluna quiral semelhante a utilizada nesta pesquisa (Siani *et al.* 2002, Zelnner *et al.* 2006).

Foi calculado o excesso enantiomérico (ee) do linalol através da fórmula:
$$ee = \frac{(\% \text{ de área do enantiômero maior}) - (\% \text{ de área do enantiômero menor})}{(\% \text{ de área do enantiômero maior}) + (\% \text{ de área do enantiômero menor})} * 100$$

Análise dos dados

Variabilidade química intraespecífica entre os indivíduos de pau-rosa das duas populações

A comparação entre a composição química do óleo essencial das folhas coletadas nas duas populações foi realizada pela Análise dos Componentes Principais (PCA) por covariância. Para esta análise, foi considerada a porcentagem relativa da área de cada composto no cromatograma.

A PCA é uma análise estatística multivariada de dissimilaridade, sendo sua principal função diminuir a dimensionalidade dos dados. Esta análise 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 (Neto e Moita 1998).

Os indivíduos de pau-rosa foram agrupados de acordo com a semelhança da composição química do óleo essencial através da Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA), uma análise estatística multivariada de similaridade. Nesta análise, utilizamos os scores resultantes dos eixos da PCA para realizar o agrupamento dos indivíduos. O método utilizado na HCA foi a média, pois dentre os métodos testados foi o que apresentou maior correlação de Pearson com a distância original dos dados. A distância utilizada foi a euclidiana.

A técnica de agrupamento hierárquico interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma onde as amostras semelhantes, segundo as variáveis escolhidas, são agrupadas entre si. A premissa básica de sua interpretação é que quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras (Neto e Moita 1998).

As análises estatísticas foram realizadas nos programas R 2.14.2 e Past.

Diferença entre a composição química do óleo essencial de folhas e galhos finos dentro de uma população natural de pau-rosa

A comparação entre a composição química de folhas e galhos finos de 20 indivíduos da Reserva Ducke foi realizada através da Análise dos Componentes Principais por covariância. Esta análise foi realizada no programa R 2.14.2.

Teor de linalol nos óleos essenciais de folhas dos diferentes agrupamentos de similaridade

Foi calculada a média e o desvio padrão do teor de linalol do óleo das folhas de cada população. Posteriormente, estas variáveis foram calculadas para os diferentes grupos de similaridade, realizando uma comparação descritiva entre estes.

Diferença entre o teor de linalol do óleo essencial de folhas e galhos finos dentro de uma população natural de pau-rosa

A comparação do teor de linalol entre o óleo essencial das duas partes foi realizada através do teste *t* pareado. Para esta análise foram consideradas as amostras de 20 indivíduos da Reserva Ducke. A análise estatística foi realizada no programa Systat 12.

Excesso enantiomérico dos isômeros do linalol

O excesso enantiomérico do linalol foi calculado em dez amostras de óleo essencial de folhas das duas populações e em duas amostras de óleo essencial de galhos da Reserva Ducke. A composição de enantiômeros foi analisada considerando a porcentagem relativa da área de cada enantiômero nos cromatogramas gerados na análise quiral e este valor foi utilizado no cálculo do excesso enantiomérico. A razão entre os picos fornece uma medida da composição enantiomérica da amostra precisa e quantitativa (Zanotto 2003). A comparação entre as amostras foi realizada de forma descritiva.

Resultados

Existe variabilidade química do óleo essencial das folhas de pau-rosa entre e dentro das duas populações naturais estudadas?

Com a análise da composição do óleo essencial das folhas por CG-EM dos 56 indivíduos de pau-rosa estudados, verificamos a presença de 26 diferentes compostos no total. Destes compostos, quatro correspondem a monoterpenos, vinte e um a sesquiterpenos e um composto foi identificado pelas bibliotecas do CG-EM como diterpeno. Para todas as amostras, o linalol foi o composto com maior percentual de área relativa no cromatograma, variando de 46,4% a 82% (Figura 7). No Apêndice D apresentamos uma tabela com o percentual dos constituintes químicos do óleo essencial das folhas, considerando a média geral deste percentual para todos os indivíduos de ambas as populações.

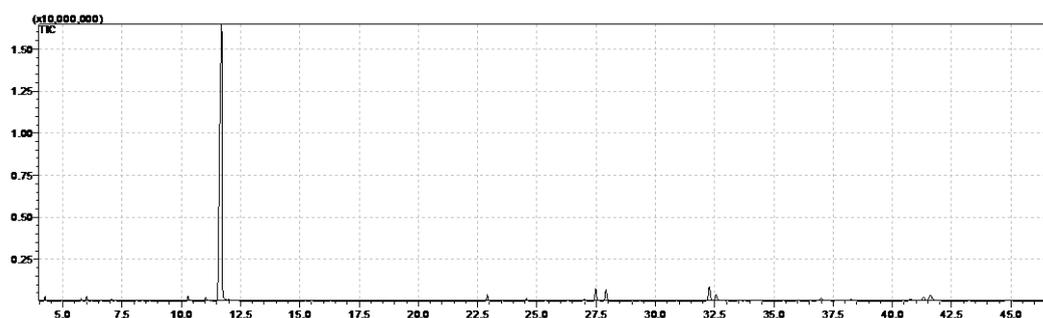


Figura 7. Cromatograma do CG-EM do óleo essencial de uma amostra de folhas de pau-rosa

A variação na composição química das folhas entre as amostras foi reduzida a dois eixos de ordenação, que explicaram 92,3% da variação dos dados (Apêndice E). O eixo 1 (PC 1) explicou 79,14% da variação nos dados e descreveu um gradiente majoritário de linalol, evidenciando que a área relativa do linalol em cada cromatograma é o fator que mais influencia a variação no primeiro eixo (Apêndice F). O eixo 2 (PC 2) explicou 13,17% da variação nos dados e descreveu prioritariamente a área relativa do composto espatulenol (Apêndice F).

Considerando a PCA (Figura 8) é possível verificar que a variação na composição química pode estar associada à localização geográfica dos indivíduos.

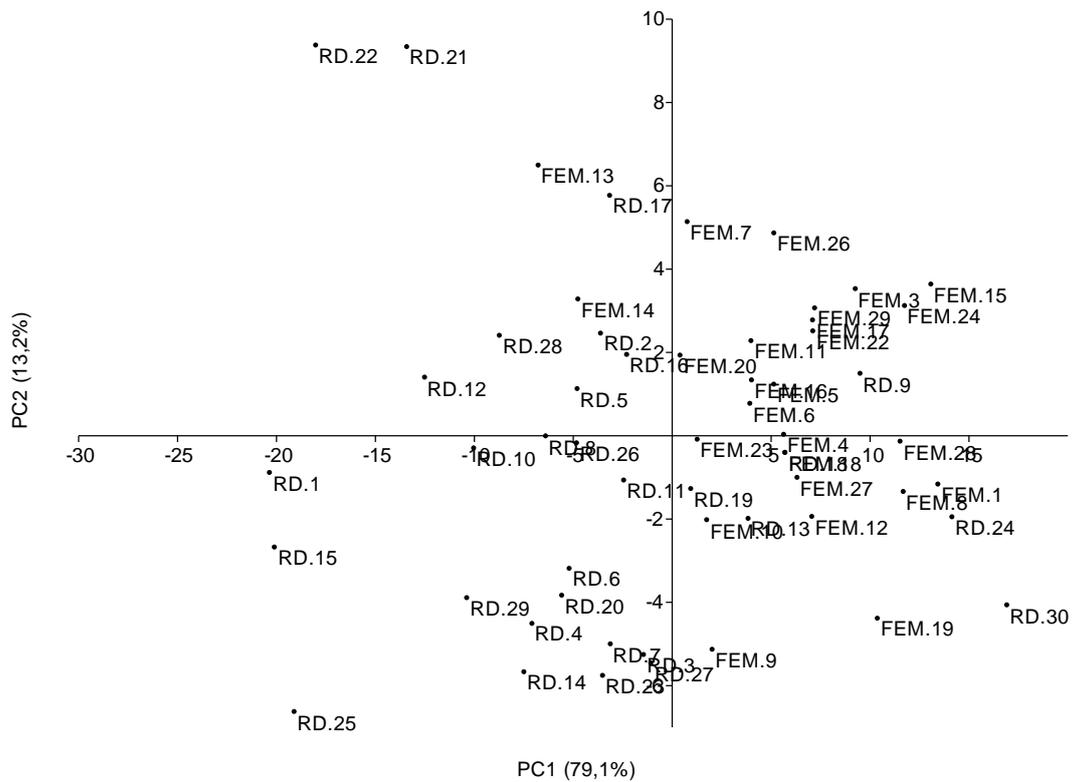


Figura 8. PCA da composição química do óleo essencial das folhas. As letras correspondem às iniciais das populações (RD: Reserva Ducke, FEM: Floresta Estadual de Maués) e os números correspondem ao número da amostra

A tendência de agrupamento entre óleos essenciais das folhas de indivíduos provenientes da mesma população natural pode ser visualizada de forma clara no dendrograma gerado pela Análise Hierárquica de Agrupamento (Figura 9).

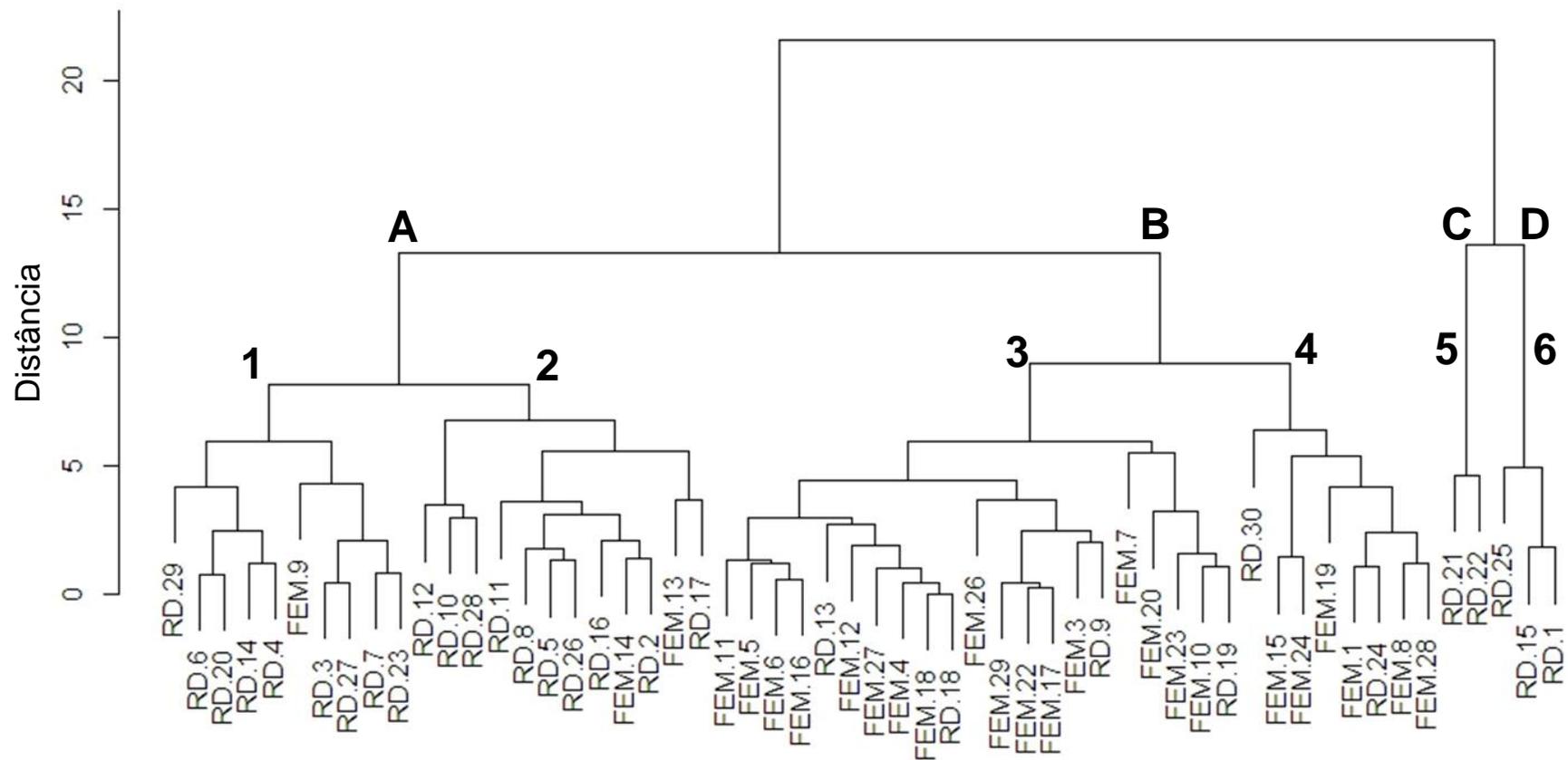


Figura 9. HCA para a composição química do óleo essencial das folhas. As letras correspondem às populações (RD: Reserva Ducke, FEM: Floresta Estadual de Maués) e os números correspondem ao número da amostra

Percebemos que os grandes grupos, que denominamos com as letras A, B, C e D (distância maior que 7), são formados majoritariamente por indivíduos provenientes da mesma população. Dentre estes, três grupos referem-se, em sua maioria, a indivíduos da Reserva Ducke, enquanto apenas um (grupo B) abrange quase todas as amostras da Floresta Estadual de Maués.

Porém, os grupos C e D abrangem apenas cinco indivíduos que são, no entanto, os que apresentam menor similaridade ao restante das amostras dos outros grupos. Assim, excluindo estes indivíduos, percebemos a formação de dois grandes grupos, cada um referente a uma população estudada.

Considerando esta análise, podemos constatar que os óleos essenciais das folhas da FLORESTA de Maués apresentam maior similaridade química entre si do que os da Reserva Ducke.

A composição do óleo essencial das folhas difere da composição do óleo essencial de galhos finos?

Com a análise da composição do óleo essencial dos galhos por CG-EM das amostras de 20 indivíduos coletados na Reserva Ducke, verificamos a presença de 32 diferentes compostos no total (Figura 10). Para todas as amostras, o linalol foi o composto com maior percentual de área relativa no cromatograma, variando de 62,13% a 80,32% (Figura 7).

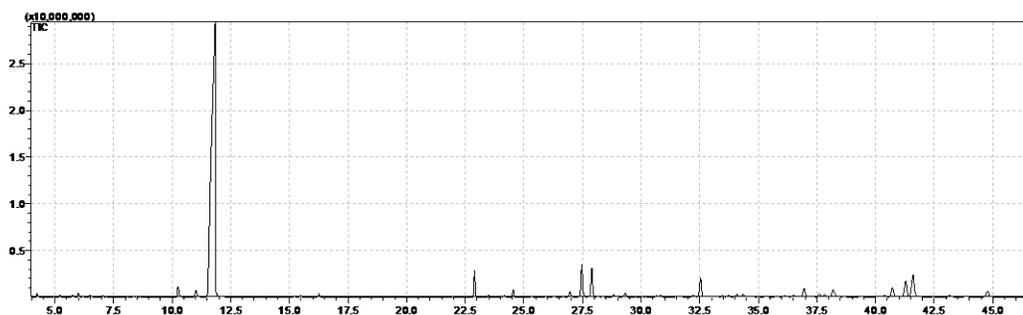


Figura 10. Cromatograma do CG-EM do óleo essencial de uma amostra de galhos finos de pau-rosa

Verificamos uma tendência de agrupamento entre as amostras de galhos, revelando que estas folhas e galhos finos diferem em relação à composição química. É perceptível uma maior variação na composição entre os óleos das folhas do que entre galhos conforme os resultados da PCA (Figura 11).

Foram reconhecidos dois eixos principais através da ordenação, que explicam 88% da variação nos dados (Apêndice G). O eixo 1 representa 78% na variação dos dados e descreveu prioritariamente a porcentagem de área no cromatograma de linalol (Apêndice H). O eixo 2 representa 10% da variação nos dados e descreve principalmente a variação da porcentagem de área no cromatograma do espatulenol, dos sesquiterpenos oxigenados não identificados número 10 e 11 (sendo o último exclusivo da composição do óleo de galhos), do β -selineno e do linalol (Apêndice H).

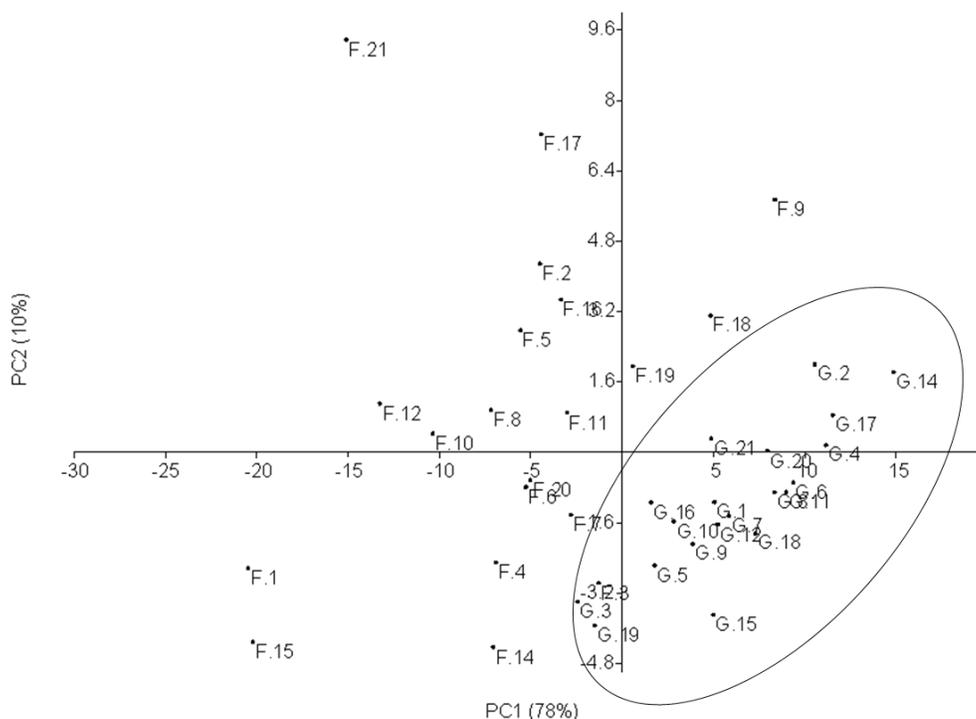


Figura 11. PCA da composição do óleo essencial de folhas (F) e galhos finos (G) de vinte indivíduos de pau-rosa da reserva Ducke. Os números correspondem ao número da amostra

Para todas as amostras de óleo de galhos, o linalol foi o composto com maior percentual de área relativa no cromatograma, variando de 62,7% a 80,3%. No Apêndice

I apresentamos uma tabela com o percentual médio dos constituintes químicos do óleo essencial dos galhos finos dos vinte indivíduos de pau-rosa da Reserva Ducke.

Qual agrupamento de similaridade química apresenta maior teor de linalol nos óleos essenciais de folhas?

A análise do padrão de linalol em diferentes concentrações no CG-EM gerou uma curva de calibração ($R^2 = 0,993$) (Figura 12). Através da equação da reta gerada na curva analítica, foi calculada a concentração de linalol de todas as amostras de óleo essencial.

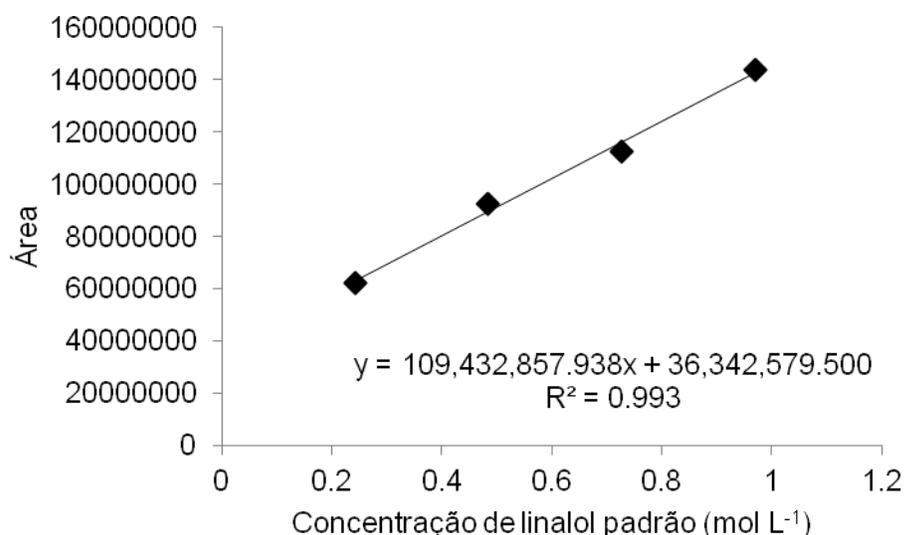


Figura 12. Curva analítica obtida pelo método do padrão externo, nas concentrações 0,25, 0,5, 0,75 e 1 mol.L⁻¹ para a determinação das concentrações de linalol das amostras de óleo essencial de folhas e galhos finos

O teor médio de linalol para o óleo essencial das folhas de pau-rosa da Reserva Ducke foi equivalente a 52% ($\pm 9,5$) e a 63% ($\pm 15,5$) para a FLORESTA de Maués.

Considerando a variabilidade química intraespecífica dentro das populações observada na Análise Hierárquica de Agrupamento, analisamos a concentração média de linalol dos diferentes grupos de similaridade de folhas. Esta análise permitiu

observar que estes grupos diferem entre si. A comparação indicou um maior teor de linalol nos agrupamentos das amostras da FLORESTA de Maués (Tabela 6).

Tabela 6. Teor de linalol (%) nos grupos de similaridade química do óleo essencial de folhas

Grupo	Subgrupo	Teor de linalol (%)	Desvio padrão
A	1	56,2	9,0
A	2	51,7	13,0
Total		53,2	10,6
B	3	61,5	16,3
B	4	65,7	9,8
Total		62,7	13,7
C	5	43,8	5,2
Total		43,8	5,2
D	6	40,6	9,6
Total		40,6	9,6

O teor de linalol difere entre os óleos essenciais de folhas e galhos finos?

Os óleos essenciais obtidos a partir dos galhos e folhas de pau-rosa da Reserva Ducke apresentaram teor médio de linalol igual a 59,2% ($\pm 8,3$) e 51,3% ($\pm 8,8$), respectivamente. O teste *t* pareado indicou que há diferença significativa entre o teor de linalol das duas partes ($t= 3,41$, $p= 0,001$, $n= 20$). A maior parte das árvores apresentou maior teor de óleo nos galhos finos do que nas folhas (Figura 13).

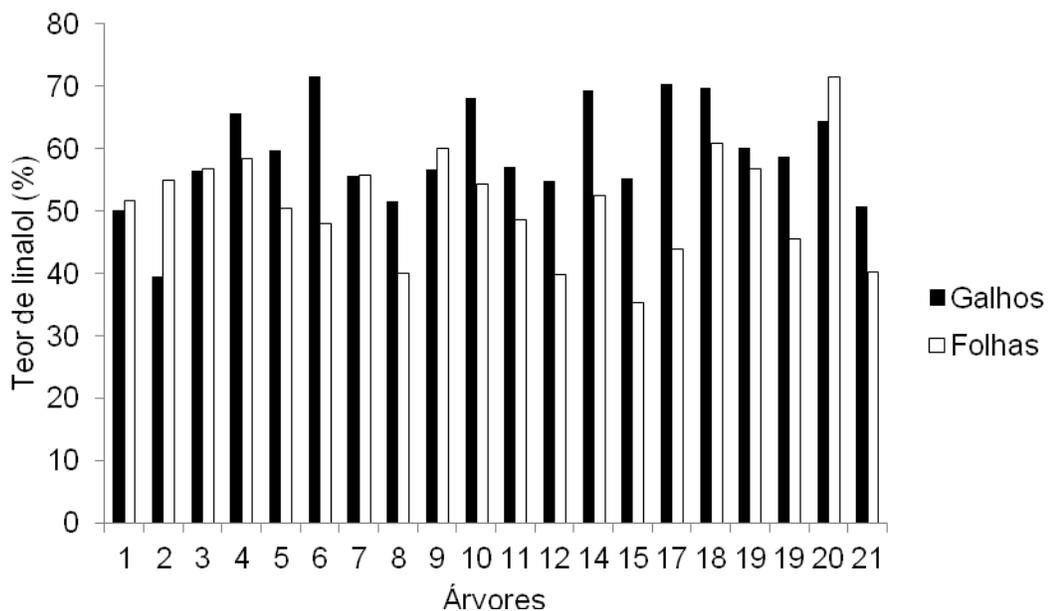


Figura 13. Teor de linalol (%) no óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa da população natural na Reserva Ducke

O excesso enantiomérico do linalol nos óleos essenciais de folhas e galhos finos é diferente entre indivíduos de pau-rosa?

Para a análise do excesso enantiomérico do linalol foram avaliados os óleos essenciais de sete amostras de folhas e duas amostras de galhos finos da população da Reserva Ducke e três amostras de folhas dos indivíduos da FLORESTA de Maués. A proporção de cada enantiômero foi verificada de acordo com a porcentagem de área de cada pico no cromatograma e utilizada para calcular o excesso enantiomérico.

Em todas as amostras foi observado um excesso enantiomérico da forma S-(+)-linalol, mostrando que os óleos essenciais das folhas e galhos finos das populações estudadas são fortemente dextrógiros (Tabela 7).

Tabela 7. Área relativa dos enantiômeros e excesso enantiomérico do linalol em amostras de óleo essencial de folhas e galhos finos

Amostra	Área no cromatograma (%)		Excesso enantiomérico (ee) (%)
	R(-)-linalol	S-(+)-linalol	
Ducke – Folhas - 12	24,2	75,8	51,58
Ducke – Folhas - 17	9,2	90,8	81,54
Ducke – Folhas - 16	13,1	86,9	73,76
Ducke – Folhas - 14	29,2	70,8	41,56
Ducke – Folhas - 23	16,0	84,0	67,94
Ducke – Folhas - 19	19,2	80,8	61,62
Ducke – Folhas - 30	23,0	77,0	54,06
Maués – Folhas - 06	9,4	90,6	81,14
Maués – Folhas - 12	24,1	76,0	51,9
Maués – Folhas - 22	17,1	82,9	65,86
Ducke – Galhos - 01	43,6	56,4	12,8
Ducke – Galhos - 16	29,8	70,2	40,34

A maior porcentagem relativa de área no cromatograma do enantiômero *R*-(-)-linalol foi verificada nas duas amostras de óleos essenciais dos galhos finos analisadas (43,6% e 29,8%). Para as folhas, a diferença de proporção entre os isômeros apresentou grande variação (de 9:91 a 29:71), representando uma variação de 81,54 e 41,56% no excesso enantiomérico, demonstrando a heterogeneidade desta característica do óleo mesmo entre indivíduos da mesma população.

Discussão

Variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos

Para todos os óleos essenciais analisados, o composto majoritário foi o linalol, corroborando com outras pesquisas realizadas com esta espécie na Amazônia Central e Oriental. Além dos monoterpenos, um grande número de sesquiterpenos foi verificado nos óleos de folhas e galhos finos, porém, apresentando porcentagem de área relativa no cromatograma inferior à dos monoterpenos.

Em uma pesquisa realizada por Zellner *et al.* (2006) foi realizada a comparação entre o óleo essencial de folhas e de madeira de pau-rosa. Estes autores verificaram que o óleo extraído das folhas é caracterizado por uma maior concentração de sesquiterpenos oxigenados em comparação com o óleo de madeira, que é composto de uma quantidade ligeiramente superior de monoterpenos oxigenados.

Os autores supracitados confirmaram a semelhança entre o perfil químico dos óleos essenciais de folhas e madeira de pau-rosa. Eles concluem que apesar do óleo da madeira ser mais rico para a indústria de perfumaria, pois tradicionalmente os monoterpenos oxigenados são mais utilizados, o óleo extraído das folhas também pode ser interessante para a composição de perfumes. Isto porque o óleo das folhas apresenta uma concentração mais elevada de sesquiterpenos oxigenados e não oxigenados. Como estes compostos são menos voláteis, estão aptos a ser utilizados como fixadores em perfumes (Curtis e Willians 2001 citado por Zellner 2006).

Apesar da alta variabilidade na composição química dos óleos essenciais das folhas foi possível observar a tendência de agrupamento dos indivíduos de pau-rosa provenientes da mesma população. A análise de agrupamento permitiu a visualização destes grupos de forma clara, além de demonstrar que dentro das populações existe uma similaridade mais evidente entre alguns indivíduos, formando subgrupos.

Foi possível perceber que a Reserva Ducke apresenta maior variabilidade química intraespecífica dentre os indivíduos de pau-rosa da população do que as amostras da Floresta Estadual de Maués. Esta característica da FLORESTA deve estar

associada a uma menor variabilidade genética dos indivíduos desta população, o que pode ser reflexo da intensa exploração de pau-rosa que ocorreu nesta área.

O corte de praticamente todos os indivíduos em fase reprodutiva nas populações naturais de pau-rosa pode ter acarretado a erosão genética desta espécie (Sampaio *et al.* 2005), através de mecanismos como a endogamia, por exemplo. Neste sentido, é extremamente relevante que intervenções visando à conservação *in situ* da espécie sejam realizadas nesta população. Pesquisas relacionadas ao estudo da variabilidade genética desta população se fazem urgentes e vêm sendo realizados pelo nosso grupo de pesquisa, apesar de não terem sido concluídas até o presente momento.

Em relação às diferenças de composição entre galhos e folhas, foi possível perceber que o óleo essencial de galhos finos apresenta menor variação entre os diferentes indivíduos do que o de folhas. Manhães (2010) em um estudo com óleo essencial de folhas e galhos de *Aniba canelilla* (H.B.K.) Mez. verificou a mesma tendência para esta espécie. A autora atribuiu a maior variabilidade da composição química das folhas por este órgão da planta estar relacionado com a produção de carboidratos através da fotossíntese, possuindo maior atividade biológica do que os galhos e, portanto, mais produtos e subprodutos bioquímicos nas folhas. ATUALIZAR CITAÇÃO DA DRI COM O ARTIGO!!!

Teor de linalol do óleo essencial de folhas e galhos finos

Observamos uma grande variação entre os indivíduos dentro das populações estudadas para o teor de linalol do óleo essencial das folhas. Com este resultado, reafirmamos a importância em realizar uma amostragem com um número relativamente grande de indivíduos para a caracterização química do óleo essencial de populações naturais de pau-rosa.

A comparação desta variável entre as populações permitiu verificarmos que o óleo essencial obtido a partir das folhas apresenta maior concentração de linalol nas amostras obtidas dos indivíduos da Floresta Estadual de Maués. Isto indica a

potencialidade desta população de pau-rosa para ser utilizada em programas de melhoramento genético através da seleção de árvores porta-sementes.

A comparação do teor de linalol entre os grupos de similaridade permitiu uma avaliação mais minuciosa, identificando dentro das populações quais agrupamentos apresentam maior potencial em relação a esta característica. Esta análise pode ser interessante em estudos de melhoramento genético, onde indivíduos superiores podem ser selecionados para a formação de bancos de germoplasma.

O teor de linalol médio para galhos e folhas verificado neste trabalho corrobora com valores encontrados por Silva *et al.* (2003). Estes autores verificaram um teor de linalol de 55,2% e 54,5% para galhos e folhas de pau-rosa, respectivamente.

Araujo *et al.* (1971) analisaram o óleo essencial de folhas e galhos de um indivíduo de pau-rosa da Reserva Ducke, verificando que o teor de linalol varia de acordo com a sazonalidade da coleta. Através de observações mensais, estes autores constataram um maior teor de linalol nas folhas no mês de janeiro (85,5%) e menor teor no mês de fevereiro do ano anterior (27,3%). Cabe ressaltar que nestes dois meses a precipitação observada foi igual, sendo que neste caso esta diferença deve estar relacionada à fenofase, pois em janeiro a árvore analisada apresentava folhas novas.

Para o mês de maio, coincidente com o período em que foi realizada a coleta de material na Reserva Ducke no presente trabalho, Araujo *et al.* (1971) observaram um teor de linalol de 37,7%, inferior ao teor médio encontrado nesta pesquisa (52%).

Para o óleo obtido dos galhos, Araujo *et al.* (1971) observaram o maior teor de linalol no mês de dezembro (94,3%) e o menor em fevereiro (35,7%). No mês de maio, o valor verificado por estes autores foi de 73,7%, superior ao encontrado em nossa pesquisa, 59,2%.

Outros autores também verificaram uma variação do teor de linalol do óleo das folhas de acordo com o mês de coleta, como Maia *et al.* (2007), que verificaram um teor de 96,1% no mês de dezembro e de 68% no mês de março posterior. Esta variação ocorreu entre amostras provenientes do mesmo indivíduo de pau-rosa, localizado no Parque Zoobotânico Emilio Goeldi, em Belém do Pará. Estes pesquisadores atribuem o

menor teor de linalol ao período de maior circulação de água nas células oleíferas, pois alcoóis como o linalol são mais solúveis e, portanto, mais facilmente eliminados.

Ohashi *et al.* (1997) encontraram uma variação do teor de linalol no óleo de folhas de indivíduos de pau-rosa localizados em Curua Una (sul do Pará) entre 73 a 78%. Estes resultados foram inferiores aos teores verificados por estes autores na madeira, entre 87 a 92%.

Na madeira, podem ser encontrados teores de linalol de 80 a 92%, conforme reportado na literatura (Alcântara *et al.* 2010, Leite *et al.* 2001, Maia *et al.* 2007, Ohashi *et al.* 1997). Estes valores já foram verificados também em amostras de galhos e folhas, o que indica o potencial do manejo da copa para a produção de óleo essencial.

Excesso enantiomérico do linalol do óleo essencial de folhas e galhos finos

Verificamos uma grande variação na composição dos enantiômeros do linalol entre as amostras analisadas. No entanto, todas as amostras apresentaram excesso enantiomérico da forma S-(+)-linalol, enantiômero do linalol conhecido como coriandrol. Estes resultados corroboram com as outras pesquisas realizadas com esta espécie na Amazônia brasileira.

No estudo de Ohashi *et al.* (1997), os autores verificaram a composição de 22,2% de R-(-)-linalol para 77,8% de S-(+)-linalol no óleo essencial de folhas de pau-rosa em Curua Una (sul do Pará), mostrando-se um óleo fortemente dextrógiro. Estes autores revelam que a análise quiral por cromatografia gasosa permitiu verificar que a composição dos enantiômeros do linalol da madeira pode estar associada a características individuais de cada árvore. Isto porque em uma amostra, foi observada uma proporção de 10:90, enquanto em outro indivíduo a proporção foi de 65,6:34,6 de (-)-linalol e (+)-linalol, respectivamente (Ohashi *et al.* 1997).

Os autores supracitados atribuem esta diferença a características genéticas dos indivíduos, ressaltando que estas diferenças podem resultar em uma forte influência na produção de óleo essencial. Estas implicações referem-se ao fato de que o linalol levógiro (R-(-)-linalol) possui aroma de madeira ou lavanda, enquanto o linalol

dextrógiro (S-(+)-linalol) tem um odor mais doce, com uma nota cítrica (Ohashi *et al.* 1997).

Zellner *et al.* (2006) analisaram a distribuição racêmica do linalol de uma amostra de óleo de madeira e folhas, revelando uma proporção de 38,3% (-)-linalol para 61,7% (+)-linalol no óleo da madeira, enquanto o óleo das folhas apresentou proporção de 29,3% para 70,7%, respectivamente. Estes autores analisaram as amostras através do método de cromatografia gasosa-olfatometria, que consiste na cromatografia gasosa de alta resolução acoplada a um detector olfativo, uma espécie de “nariz eletrônico”, já programado para avaliar sensorialmente os efluentes da coluna cromatográfica (Lopes *et al.* 1999). Este estudo permitiu a caracterização dos óleos obtidos por estas diferentes partes da árvore de pau-rosa. Ambas as amostras foram descritas por apresentarem notas florais, doce e perfumadas, embora o aroma doce tenha sido considerado menos relevante para o óleo da madeira (Zellner *et al.* 2006).

Os autores analisaram que as notas amadeirada, cítrica e verde representam as principais diferenças entre os óleos de madeira e folhas, sendo a primeira mais representativa para o óleo da madeira e as outras para o óleo das folhas. Apesar das diferenças entre os dois óleos essenciais, Zellner *et al.* (2006) concluem que existe um grande potencial para a utilização do óleo das folhas pela indústria da perfumaria.

Ohashi *et al.* (1997) acreditam que um maior interesse comercial poderia acontecer se, através da seleção de germoplasma, fosse possível produzir um óleo das folhas com a dominância de linalol levógiro, com o aroma mais amadeirado. No entanto, a semelhança na composição dos enantiômeros do linalol entre o óleo das folhas e da madeira confirma a potencialidade da substituição do sistema tradicional de produção de óleo essencial de pau-rosa.

Percebemos, portanto, que existe um grande potencial de produção de óleo de alta qualidade para a indústria de perfumaria utilizando-se de folhas e galhos. A garantia da manutenção da qualidade, além da redução dos impactos da produção, justifica a substituição do sistema tradicional de corte raso pelo manejo da copa do pau-rosa.

Conclusões

- A composição química dos óleos essenciais das folhas está associada à localização geográfica das árvores de pau-rosa estudadas, apesar de apresentar alta variabilidade química intraespecífica.
- A população de pau-rosa da Floresta Estadual de Maués apresentou maior similaridade química intraespecífica do óleo essencial das folhas do que a população da Reserva Ducke. Isto pode representar uma menor variabilidade genética na primeira, devido à intensa exploração de pau-rosa que ocorreu na área.
- A variabilidade química intraespecífica é menor no óleo essencial dos galhos do que nas folhas considerando os mesmos indivíduos de uma população natural.
- O teor de linalol é uma característica heterogênea do óleo essencial dentro das populações naturais estudadas, evidenciando a importância de amostrar vários indivíduos para caracterizar uma população natural.
- A Floresta Estadual de Maués apresentou maior teor de linalol no óleo essencial das folhas do que a Reserva Ducke, demonstrando que a população de pau-rosa de Maués apresenta genótipos interessantes para serem utilizados em programas de melhoramento genético da espécie.
- A análise de similaridade química contempla a identificação de indivíduos que apresentam maior teor de linalol no óleo essencial das folhas, indicando ser uma ferramenta útil na identificação de árvores matrizes e seleção de material para o melhoramento genético da espécie.
- O teor de linalol é maior nos galhos finos do que nas folhas e o óleo essencial obtido destas diferentes partes podem ser utilizados para fins distintos.
- O excesso enantiomérico do linalol é distinto entre diferentes indivíduos e assemelha-se à composição do linalol da madeira, refletindo no grande

potencial da utilização do óleo de folhas e galhos em substituição ao tradicional, obtido da madeira.

- A análise do excesso enantiomérico é útil na identificação de indivíduos superiores para formação de bancos de germoplasma, de acordo com as características de interesse para a indústria de perfumaria ou farmacêutica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pau-rosa é uma espécie que se destaca dentre os produtos extrativistas da Amazônia. A grande aceitação e conseqüente valorização que este produto assumiu no mercado, especialmente na indústria de perfumaria, trouxeram graves conseqüências à conservação da espécie em suas populações naturais.

O fato de a espécie estar hoje reconhecidamente ameaçada de extinção vem trazendo avanços no que diz respeito à regularização da colheita em populações naturais. O estabelecimento de plantios de pau-rosa pode vir, em um futuro próximo, a substituir a extração em populações naturais. No entanto, atualmente esta matéria prima ainda provém da floresta, o que torna relevante que práticas de manejo de menor impacto sejam realizadas. Acreditamos que o manejo de galhos e folhas apresenta um elevado potencial para a substituição do sistema tradicional de corte raso da árvore. Percebemos que esta nova prática é viável em relação à produção e também à qualidade do produto final.

Para contribuir com o manejo sustentável do pau-rosa em populações naturais, algumas lacunas no conhecimento sobre a espécie devem ser superadas. Portanto, sugerimos que trabalhos futuros sejam desenvolvidos, tais como:

- Estabelecimento de uma equação específica de peso das diferentes partes da árvore em populações naturais (tronco, galhos grossos, galhos finos e folhas), para possibilitar uma análise produtiva mais precisa para o manejo da copa;
- Estudo detalhado da viabilidade econômica na produção de óleo essencial através do manejo da copa em populações naturais, considerando todos os diferentes custos da extração e valor do produto final;
- Estudo contínuo da capacidade de rebrota da copa após podas sucessivas, estabelecendo o ciclo de poda ideal para a produção de óleo através do manejo da copa;

- Estudo relacionado ao impacto do manejo da copa na reprodução da espécie, visando à manutenção da diversidade genética na população manejada;
- Escolha de árvores matrizes com características mais interessantes para a indústria de perfumaria através de análises químicas e sensoriais, para formação de bancos de germoplasma e propagação da espécie, possibilitando a formação de plantios de alta qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, J.M.A., Yamaguchi, K.H.L., Veiga Junior, V.F., Lima, E.S. 2010. Composição química de óleos essenciais de *Aniba* e *Licaria* e suas atividades antioxidante e antiagregante plaquetária. *Química Nova*, Vol. 33, N° 1, 141-145.

Alencar, J.D.C., Araujo, V.C. 1981. Incremento anual de pau-rosa (*Aniba duckei* Kostermans) Lauraceae, em floresta tropical úmida primária. *Acta Amazonica*, 11 (3): 547-552

Almeida, R.N.; Araujo, D.A.M.; Gonçalves, J.C.R.; Montenegro, F.C.; Sousa, D.P.; Leite, J.R.; Mattei, R.; Benedito, M.A.C.; Carvalho, J.G.B.; Cruz, J.S.; Maia, J.G.S. 2009. Pau-rosa oil induces sedation and inhibits compound action potential in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. v. 124, p. 440-443.

AMAZONAS. Governo do Estado. 2010. *Plano de Gestão da Floresta Estadual de Maués (1ª. Revisão)* / Domingos S. M. dos S. Macedo, Geise de G. Canalez e Rômulo F. Batista (supervisão e coordenação). Manaus: CEUC/SDS.

Amazonas, D.R. 2012. *Variabilidade intraespecífica e atividade antimicrobiana de Aniba rosaeodora Ducke. (Lauraceae) no oeste do Pará*. 66p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, Pará.

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

Bizzo, H.R., Hovell, A.M.C., Rezende, C.M. 2009. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, Vol. 32, N° 3, 588-594.

Chaar, J. S. 2000. *Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie Aniba duckei Kostermans*. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos, São Paulo. 125p.

Cites 2011. Convention on International trade in endangered species of wild fauna and flora. IFRA position on cites rules for guaiacwood and pau-rosa. Nineteenth meeting of the Plants Committee – Geneva (Switzerland), 18-21.

Ferraz, J.B.S.; Barata, L.E.S.; Sampaio, P.T.B.; Guimarães, G.P. 2009. Perfumes da floresta amazônica: em busca de uma alternativa sustentável. *Ciência e Cultura*, v. 61, n° 3. São Paulo.

Gobbo-Neto, L., Lopes, N.P. 2007. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, Vol. 30, N° 2, 374-381.

Gottlieb, O.R.; Fineberg, M.; Guimarães, M.L.; Magalhães, M.T.; Maravalhas, N. 1964. Notes on Brazilian Pau-rosa. *Perfumery and Essential Oil*. Record 55 (4): 253-257.

Hopkins, M. J.G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia* 56 (86): 9-25.

IBAMA 1992. Portaria N° 37 de 3 abril de 1992.

IBAMA 2011. Instrução Normativa N° 09 de 25 de agosto de 2011.

INMET 2011. Desvio da precipitação mensal (fevereiro e maio de 2011). Disponível em: www.INMET.gov.br. Acesso em: julho de 2011.

Kubitzki, K. ; Renner, M. 1982. *Flora Neotropica* 1982, Monograph No. 31. The New York Botanical Garden.

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. 6 p.

Lima, H.R.P.; Kaplan, M.A.C.; Cruz, A.V.M. 2003. Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas. *Floresta e Ambiente*. V. 10, N° 2, p. 71-77, ago/dez.

Maia, J.G.S e Andrade, E.H.A. 2009. Database of the amazona aromatic plants and their essential oils. *Química Nova*, Vol. 32, N° 3, 588-594.

Maia, J.G.S.; Andrade, E.H.A.; Couto, H.A.R.; Silva, A.C.M.; Marx, F.; Henke, C. 2007. Plant sources of amazon pau-rosa oil. *Química Nova*, v. 30, n° 8, 1906-1910.

Manhães, A.P. 2010. *Distribuição espacial de Aniba canelilla (H.B.K.) Mez. e sua produção de óleo essencial utilizando galhos e folhas na Amazônia Central*. Dissertação (mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais. 54 p.

May, P.H. e Barata, L.E.S. 2004. Pau-rosa exploitation in the brazilian amazon: options for sustainable production. *Economic Botany*. 58(2) pp. 257-265.

MDIC 2012. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <http://alicesweb.mdic.gov.br/>. Acesso em: abril de 2012.

Mitja, D. e Lescure, J.P 1996. Madeira para perfume: qual será o destino do pau-rosa? In Emperaire, L. ed.: *A floresta em jogo: o extrativismo na Amazônia Central*. São Paulo: Editora UNESP. 234 pp. 2000.

Neto, J.M.M., Moita, G.C. 1998. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, 21(4).

Ohashi, S.T.; Rosa, L.S. 2004. Pau-rosa – *Aniba rosaeodora* Ducke. *Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia* (4). 2 p.

Ohashi, S.T.; Rosa, L. S.; Santana, J. A. 1997. Brazilian pau-rosa oil: sustainable production and oil quality managment. *Perfumer & Flavorist* 22: 1-5

Oliveira, V.L.F. 2005. Floresta Estadual de Maués: Relatório Socioeconômico. Instituto Brasileiro de Educação e Negócios Sustentáveis. Disponível em: www.ceuc.sds.am.gov.br. Acesso em: 02 de outubro de 2010.

Ribeiro, M.N.G. e Villa Nova, N.A. 1979. Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus, AM. III: Evapotranspiração. *Acta Amazonica* v. 9(2), p. 305-309.

Ribeiro, J.E.L.S.; Hopkins, M.J.G.; Vicentini, A.; Sothers, C.A.; Costa, M.A.S.; Brito, J.M.; Souza, M.A.D.; Martins, L.H.P.; 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*. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Department for International Development (DFID), Manaus, Amazonas.

Sampaio, P.T.B., Santos, M.C., Vieira, G., Spironello, W.R., Useche, F.L., Bruno, F.M.C. 2007. Avaliação da rebrota da copa das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistemas de podas sucessivas. *Acta Amazonica*, v.37(1) p. 55-60.

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*, v. 35(4) 2: p. 491-494.

Sangwan, N.S.; Farooqi, A.H.A.; Shabih, F.; Sangwan, R.S. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, v. 34, p. 3-21.

SDS. Instrução Normativa N° 002 de 2006.

Siani, A.C., Tappin, M.R.R., Ramos, M.F.S., Mazzei, J.L., Ramos, M.C.K.V., Neto, F.R.A., Frighetto, N. 2002. Linalool from *Lippia alba*: Study of the Reproducibility of the Essential Oil Profile and the Enantiomeric Purity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 3518-3521.

Silva, D.D.; Chierice, G.O.; Galhiane, M.S.; Chaar, J.S.; Mouchrek-filho, V.E. 2003. Quantificação do linalol no óleo essencial da *Aniba duckei* Korstermans utilizando uma nova coluna capilar POLYH4-MD em Cromatografia Gasosa. *Química Nova* v.26, n° 4.

Sugawara, Y., Hara, C., Aoki, T., Sugimoto, N., Masujima, T. 2000. Odor Distinctives between Enantiomers of Linalool: Difference in Perception and Responses Elicited by Sensory Test and Forehead Surface Potential Wave Measurement. *Chemical Senses* 25: 77-84.

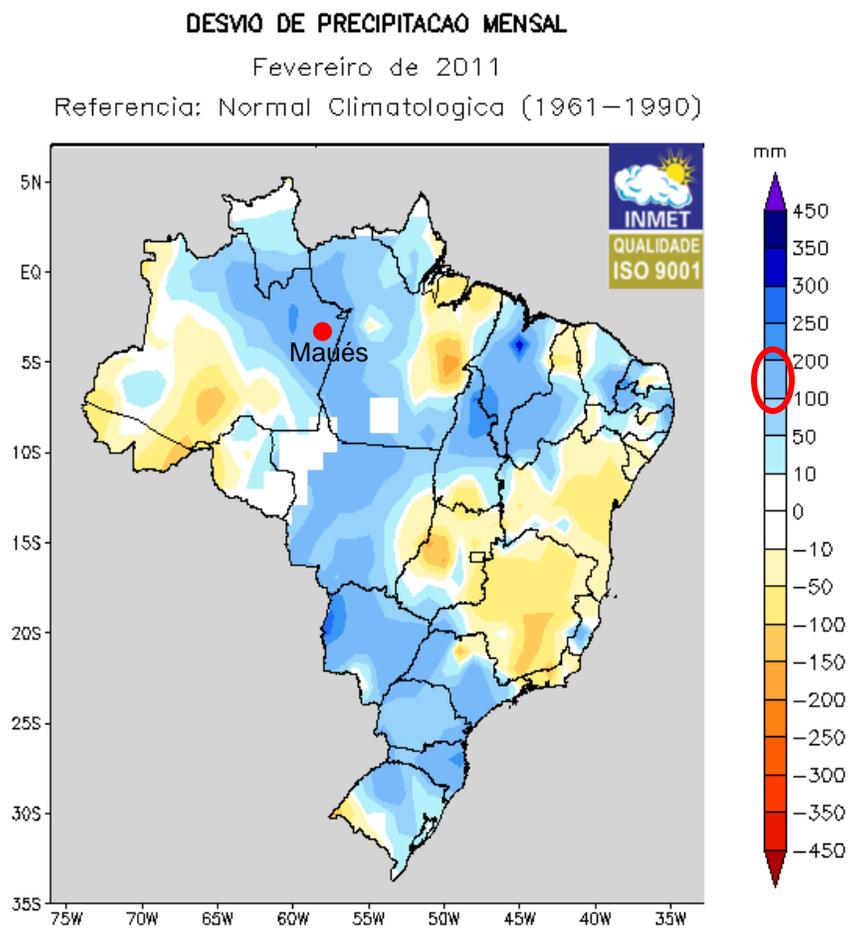
Vial-Debas, C. 1996. Da tora ao linalol: uma interface economia-ecologia. In Emperaire, L. ed.: *A floresta em jogo: o extrativismo na Amazônia Central*. São Paulo: Editora UNESP. 234 pp. 2000.

Zanotto, S. 2003. *Utilização de enzimas e microrganismos para a obtenção de compostos óticamente ativos*. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. 19 p.

Zellner, B.A., Presti, M.L., Barata, L.E.S., Dugo, P., Dugo, G., Mondello, L. 2006. Evaluation of Leaf-Derived Extracts as an Environmentally Sustainable Source of Essential Oils by Using Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Enantioselective Gas Chromatography-Olfactometry. *Analytical Chemistry*, Vol. 78, N° 3, February 1.

ANEXO

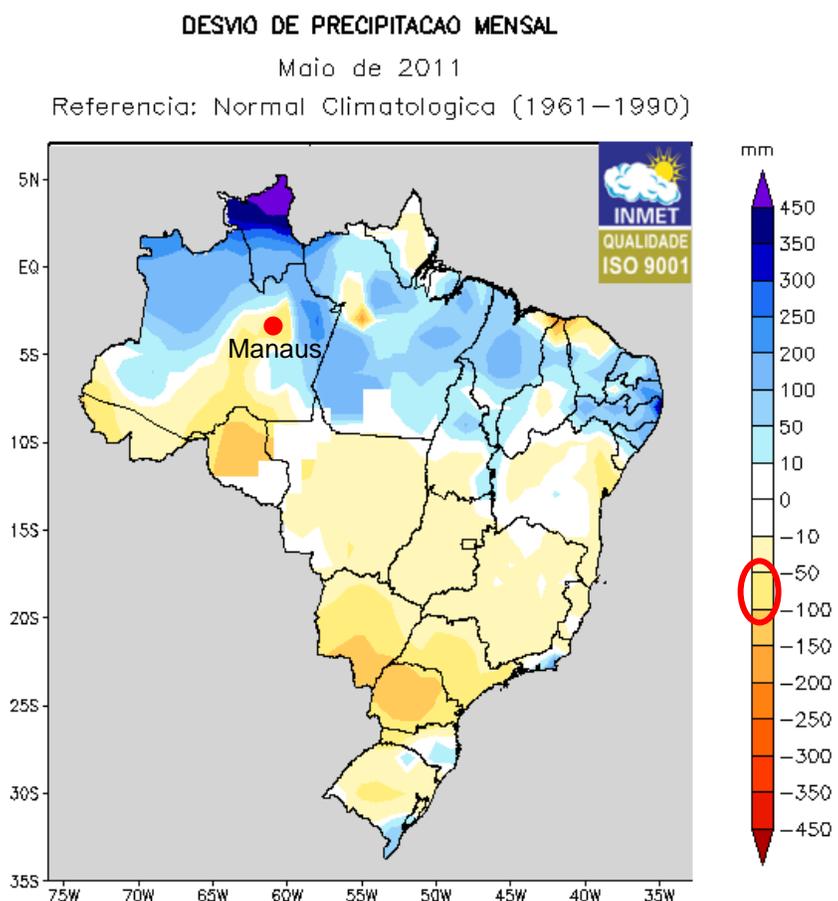
ANEXO A – Precipitação no mês de fevereiro no município de Maués. Fonte: INMET 2011.



GrADS: COLA/IGES

2011-03-01-15:08

ANEXO B – Precipitação nos mês de maio no município de Manaus. Fonte: INMET 2011.

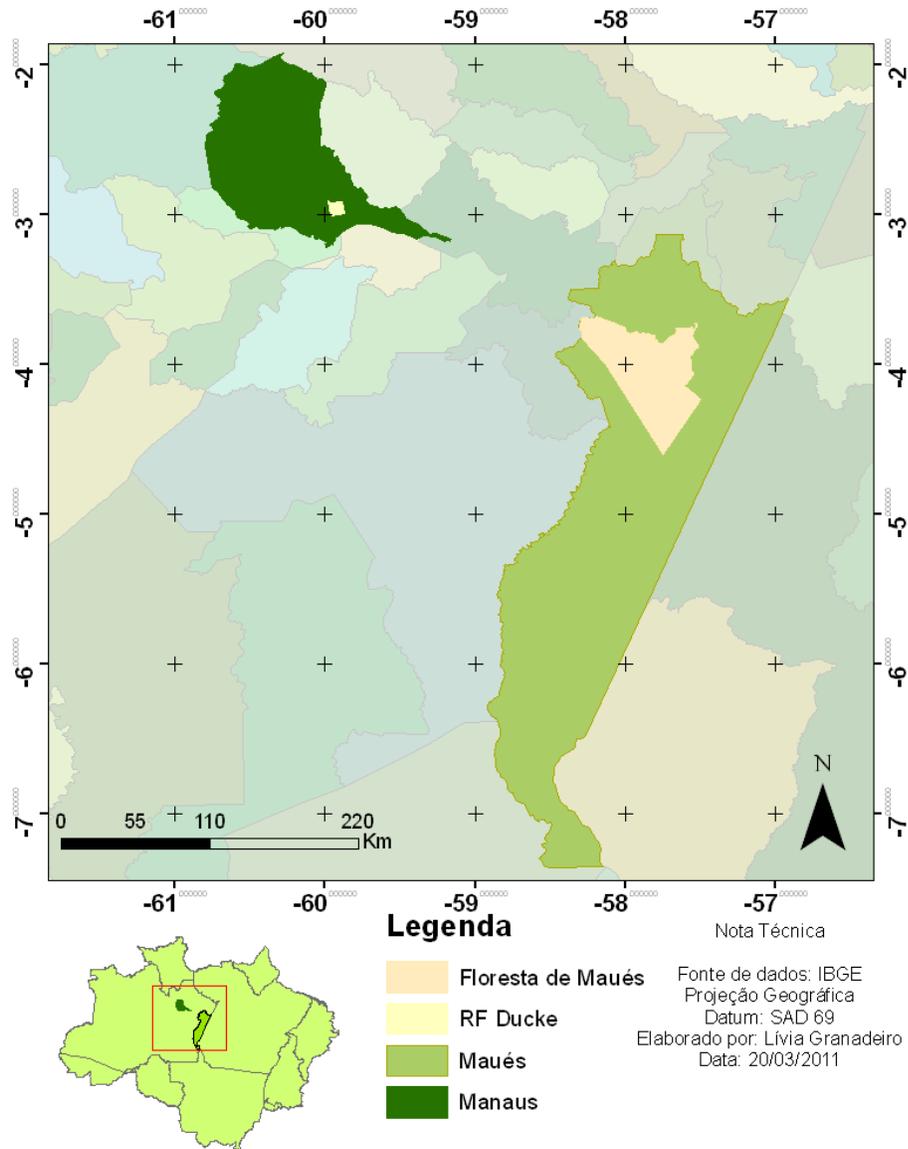


GRADS: COLA/IGES

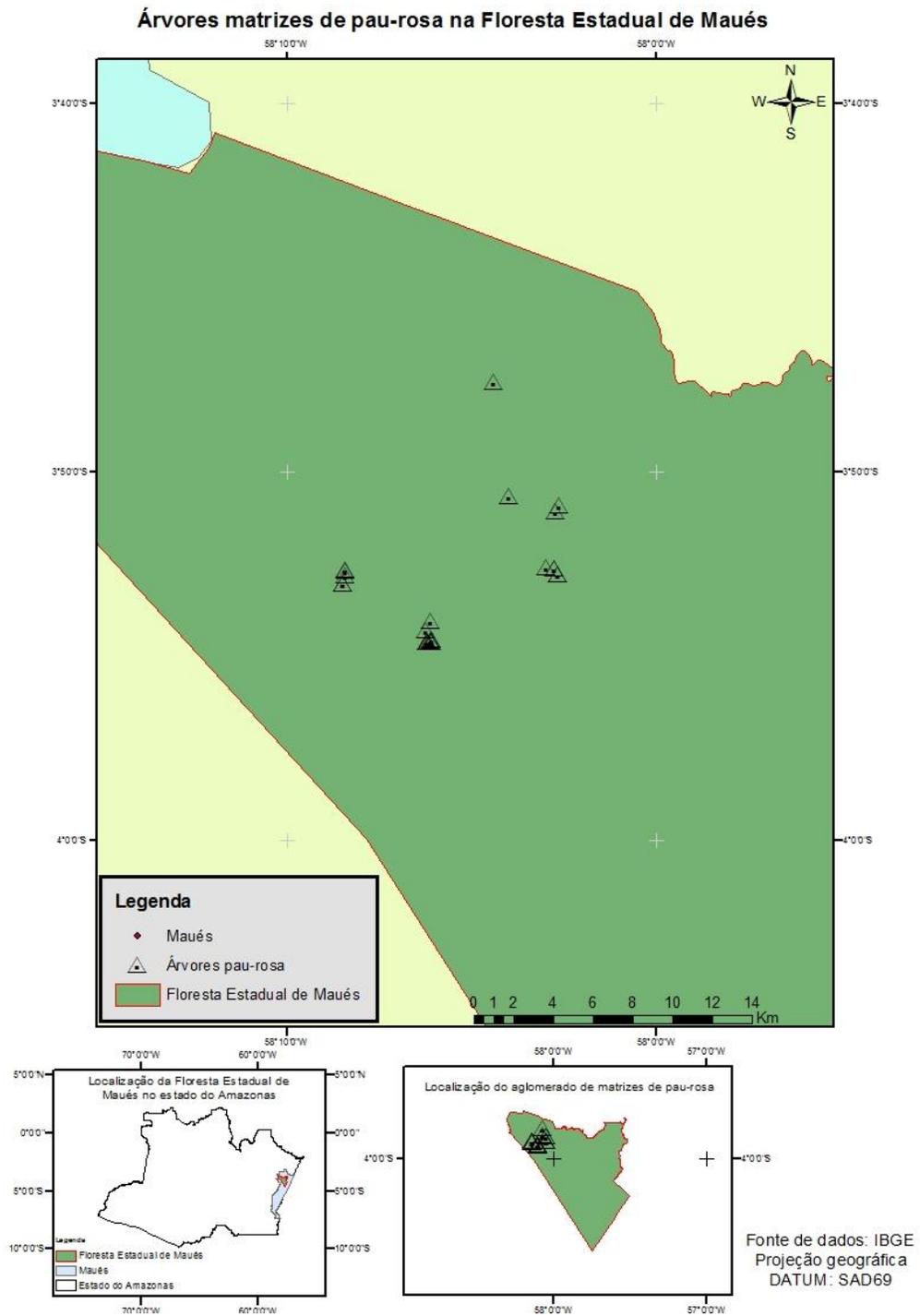
2011-06-01-09:49

APÊNDICES

APÊNDICE A – Localização da Floresta Estadual de Maués e Reserva Ducke.

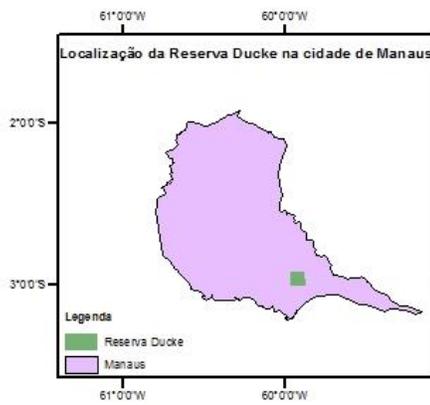
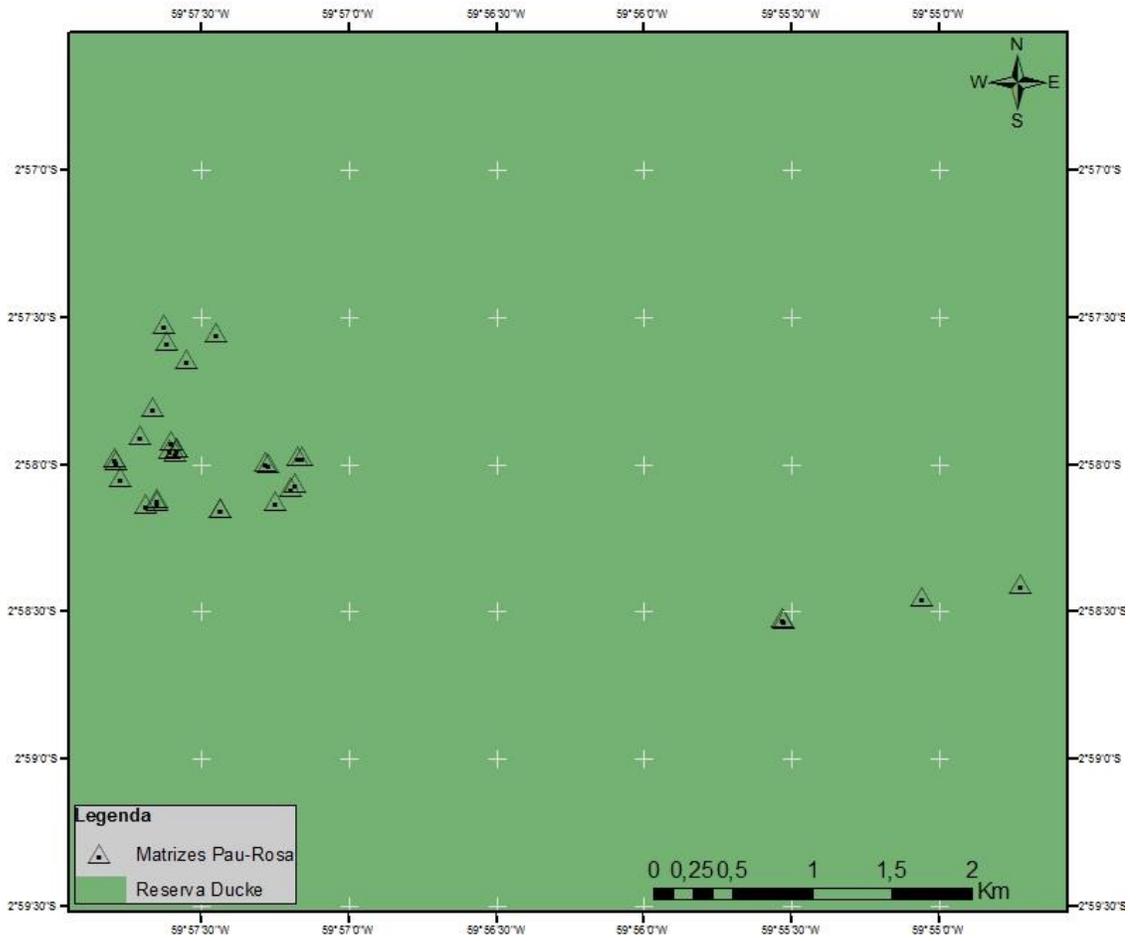


APÊNDICE B – Localização das árvores de pau-rosa na FLORESTA de Maués.



APÊNDICE C – Localização das árvores de pau-rosa na Reserva Ducke.

Árvores matrizes de pau-rosa na Reserva Ducke



Fonte de dados: IBGE
Projeção geográfica
DATUM: SAD69

APÊNDICE D – Composição química do óleo essencial de folhas de pau-rosa na Reserva Ducke e Floresta Estadual de Maués.

Área relativa média dos compostos nos cromatogramas do óleo essencial das folhas da FLORESTA de Maués e Reserva Ducke (%)

Compostos	TR (min)	FEM (%)	RD (%)
óxido de <i>cis</i> -linalol	10,28	1,18	0,56
óxido de <i>trans</i> -linalol	11,04	0,96	0,45
linalol	11,56	71,27	61,50
α -copaeno	22,83	1,51	2,50
β -elemeno	23,46	tr	0,16
β -cariofileno	24,51	0,35	1,22
α -humuleno	25,93	tr	0,13
γ -selineno	26,94	0,48	0,79
β -selineno	27,36	3,61	4,60
α -selineno	27,79	2,92	3,81
δ -cadineno	29,33	tr	tr
sesquiterpeno oxigenado não identificado 1	30,86	tr	tr
espatulenol	32,19	5,74	4,54
óxido de cariofileno	32,51	2,25	5,24
guaiol	33,49	tr	0,17
sesquiterpeno oxigenado não identificado 2	34,06	tr	0,42
sesquiterpeno oxigenado não identificado 3	34,38	tr	0,32
sesquiterpeno oxigenado não identificado 4	35,99	tr	0,15
sesquiterpeno oxigenado não identificado 5	36,93	1,18	1,29
sesquiterpeno oxigenado não identificado 6	37,59	tr	0,47
sesquiterpeno oxigenado não identificado 7	37,88	tr	tr
sesquiterpeno oxigenado não identificado 8	38,16	0,83	1,47
sesquiterpeno oxigenado não identificado 9	40,69	1,44	1,84
diterpeno não identificado	41,04	2,55	3,13
sesquiterpeno oxigenado não identificado 10	41,58	3,44	4,10
benzoato de benzila	44,76	tr	0,40

TR= tempo de retenção FEM= FLORESTA de Maués RD= Reserva Ducke
tr= traço

APÊNDICE E – PCA para os óleos essenciais das folhas de pau-rosa de duas populações naturais.

	Variância	Porcentual (%)	Porcentual acumulado (%)
Fator1	4502,32	79,14	79,14
Fator2	749,05	13,17	92,31
Fator3	229,34	4,03	96,34
Fator4	78,24	1,38	97,72
Fator5	41,83	0,74	98,45
Fator6	26,52	0,47	98,92
Fator7	15,51	0,27	99,19
Fator8	12,06	0,21	99,40

APÊNDICE F – *Loadings* da PCA para os óleos essenciais das folhas de pau-rosa de duas populações naturais.

	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Fator5	Fator6	Fator7	Fator8
óxido de <i>cis</i> -linalol	0,0292	0,0207	0,0309	-0,1084	-0,2092	-0,0713	0,5461	0,0453
óxido de <i>trans</i> -linalol	0,0244	0,0158	0,0145	-0,0590	-0,1694	-0,0750	0,4008	0,0621
linalol	0,9538	0,0074	-0,0700	0,0054	0,0562	0,1957	0,0016	-0,0045
α -copaeno	-0,0990	-0,1228	0,1543	-0,6746	0,5934	0,1073	0,1262	-0,1603
β -elemeno	-0,0126	0,0142	0,0002	-0,0046	-0,0109	-0,0021	-0,0599	0,1247
β -cariofileno	-0,0583	-0,0382	-0,1336	-0,0457	-0,0629	0,1962	-0,3657	0,3081
α -humuleno	-0,0110	0,0049	-0,0402	-0,0309	-0,0484	-0,0103	0,0394	0,0064
γ -selineno	-0,0237	-0,0133	-0,0989	-0,0660	-0,1485	-0,4697	-0,1196	-0,0642
β -selineno	-0,1071	0,0153	0,1372	-0,1659	-0,5065	0,2211	0,0561	0,0779
α -selineno	-0,0922	-0,0329	0,2468	-0,1615	-0,2588	0,6408	-0,0744	0,0555
δ -cadineno	-0,0053	-0,0115	0,0017	-0,0367	0,0193	0,0165	-0,0805	-0,0657
sesquiterpeno oxigenado não identificado 1	-0,0050	-0,0092	0,0043	-0,0187	0,0269	-0,0762	-0,0020	0,0636
espatulenol	-0,0754	0,9409	0,0744	0,1137	0,1908	0,1127	0,0009	-0,0212
óxido de cariofileno	-0,1960	-0,0946	-0,7886	0,1926	0,1528	0,3661	0,1982	-0,0731
guaiol	-0,0137	-0,0151	0,0405	-0,0530	0,0164	-0,0283	-0,1258	0,1623
sesquiterpeno oxigenado não identificado 2	-0,0244	-0,0423	-0,0812	-0,0024	0,0461	0,0138	0,0725	0,0750
sesquiterpeno oxigenado não identificado 3	-0,0188	-0,0247	0,0025	0,0290	-0,0150	-0,0312	0,0180	0,0350
sesquiterpeno oxigenado não identificado 4	-0,0087	0,0054	-0,0098	-0,0168	0,0965	-0,0030	-0,0493	0,4410
sesquiterpeno oxigenado não identificado 5	-0,0201	0,0173	0,0365	0,0709	-0,1970	-0,0037	0,0650	-0,4895
sesquiterpeno oxigenado não identificado 6	-0,0184	-0,0497	0,0090	0,0147	0,0791	-0,0398	-0,1699	0,1234
sesquiterpeno oxigenado não identificado 7	-0,0082	-0,0086	0,0252	-0,0147	0,0527	-0,0494	-0,0212	0,1422
sesquiterpeno oxigenado não identificado 8	-0,0376	-0,1126	0,0758	0,1311	0,0506	-0,0729	-0,1737	0,0978
sesquiterpeno oxigenado não identificado 9	-0,0280	-0,0760	0,1276	0,1866	0,0863	0,0450	-0,0840	0,0924
diterpeno não identificado	-0,0526	-0,1312	0,2483	0,3698	0,1394	-0,0200	0,0509	0,0013
sesquiterpeno oxigenado não identificado 10	-0,0598	-0,2104	0,3733	0,4671	0,2521	0,2198	0,2143	-0,0956
benzoato de benzila	-0,0071	-0,0348	-0,0174	-0,0229	-0,0814	0,0764	-0,4178	-0,5481

APÊNDICE G – PCA para os óleos essenciais de folhas e galhos finos de pau-rosa de vinte indivíduos da Reserva Ducke.

	Variância	Porcentual (%)	Porcentual acumulado (%)
Fator1	2851,88	78,03	78,03
Fator2	366,34	10,02	88,06
Fator3	162,51	4,45	92,50
Fator4	105,12	2,88	95,38
Fator5	59,37	1,62	97,00
Fator6	26,79	0,73	97,74
Fator7	17,07	0,47	98,20
Fator8	15,65	0,43	98,63
Fator9	8,35	0,23	98,86
Fator10	7,07	0,19	99,05

APÊNDICE H – *Loadings* da PCA para os óleos essenciais de folhas e galhos finos de pau-rosa da Reserva Ducke.

	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Fator5	Fator6	Fator7	Fator8
óxido de <i>cis</i> -linalol	0,0010	0,0479	-0,0427	0,0929	0,0172	-0,0931	-0,1839	0,2092
óxido de <i>trans</i> -linalol	-0,0027	0,0367	-0,0446	0,0774	0,0447	-0,0419	-0,1485	0,1438
linalol	0,9156	0,2509	-0,0220	0,2234	-0,0256	-0,0206	0,1252	0,0343
α -terpineol	0,0054	-0,0226	0,0313	-0,0422	0,0459	-0,0687	-0,0154	-0,0144
α -cubebeno	0,0034	-0,0207	0,0260	-0,0096	0,0689	-0,0421	-0,0479	0,0018
α -copaeno	-0,1265	-0,0718	0,1328	0,2134	-0,7430	-0,4130	0,2181	-0,0923
β -elemeno	-0,0122	-0,0059	0,0166	-0,0711	0,0304	0,1450	0,0653	-0,0839
α -gurjuneno	0,0157	-0,0342	0,0264	-0,1266	-0,0468	0,1673	0,0631	-0,0147
β -cariofileno	-0,0178	-0,0336	-0,0844	-0,1445	-0,1007	0,3662	0,3896	-0,1588
α -humuleno	-0,0084	0,0230	-0,0320	-0,0601	-0,0194	0,0163	-0,0234	-0,0016
γ -selineno	-0,0442	0,0336	-0,1963	0,0170	-0,0801	-0,1527	-0,4133	-0,0360
β -selineno	-0,1794	0,1199	-0,0155	0,2928	-0,0135	0,1575	-0,0238	0,4378
α -selineno	-0,1472	0,0412	0,1417	0,3558	-0,0455	0,2658	0,3731	0,4396
α -muuroleno	0,0011	-0,0070	0,0065	-0,0262	-0,0054	0,0406	-0,0331	-0,0086
γ -cadineno	0,0129	-0,0285	0,0189	-0,1069	-0,0516	0,1742	0,0037	-0,0376
δ -cadineno	0,0531	-0,0805	0,0715	-0,2185	-0,1629	0,2490	0,2337	-0,1410
sesquiterpeno oxigenado não identificado 1	-0,0041	-0,0286	0,0055	-0,0458	-0,0292	0,0307	-0,1063	-0,0900
nerolidol	0,0028	-0,0111	0,0064	-0,0262	0,0095	0,0419	-0,0061	0,0379
espatulenol	-0,2192	0,8287	0,3628	-0,1328	0,1529	-0,1219	0,1054	-0,1425
óxido de cariofileno	-0,1472	0,1272	-0,7627	0,0239	0,2340	-0,1882	0,3962	-0,0208
guaiol	-0,0148	-0,0176	0,0317	-0,0149	-0,1089	-0,0050	0,0114	-0,0272
viridiflorol	0,0066	-0,0356	0,0246	-0,1131	0,0021	0,0824	-0,0852	0,0660
sesquiterpeno não identificado 1	0,0002	-0,0076	0,0045	-0,0221	0,0013	0,0453	-0,0219	-0,0233
δ -cadinol	0,0105	-0,0380	0,0331	-0,1520	-0,0308	0,1963	-0,1450	0,0258
sesquiterpeno oxigenado não identificado 2	-0,0211	-0,0223	-0,1001	0,0423	-0,0162	-0,0689	0,0562	-0,0735
sesquiterpeno oxigenado não identificado 3	-0,0183	-0,0206	-0,0291	0,0607	0,0060	0,0183	-0,0508	0,0330

Continuação da Tabela – *Loadings* da PCA

	Fator1	Fator2	Fator3	Fator4	Fator5	Fator6	Fator7	Fator8
sesquiterpeno oxigenado não identificado 4	-0,0158	0,0216	0,0156	-0,0252	0,0216	-0,0434	0,0746	-0,1769
sesquiterpeno oxigenado não identificado 5	-0,0145	0,0046	0,0012	-0,0119	-0,0113	0,2298	-0,1305	0,2206
sesquiterpeno oxigenado não identificado 6	-0,0063	-0,0749	0,0172	-0,0089	0,0241	-0,0288	0,0304	-0,0279
sesquiterpeno oxigenado não identificado 7	-0,0129	-0,0227	0,0140	0,0177	-0,0274	-0,0341	0,0276	-0,0950
sesquiterpeno oxigenado não identificado 8	-0,0092	-0,1336	0,0375	0,0768	0,0845	-0,0540	0,0394	-0,1352
sesquiterpeno não identificado 2	0,0060	-0,0311	0,0243	-0,1200	-0,0269	0,2300	-0,0654	-0,0377
sesquiterpeno oxigenado não identificado 12	0,0004	-0,0046	0,0066	-0,0208	0,0004	0,0070	-0,0335	0,0126
sesquiterpeno oxigenado não identificado 9	-0,0117	-0,1067	0,1181	0,0879	0,1589	-0,0021	0,0878	-0,1142
diterpeno não identificado	-0,0427	-0,1684	0,1670	0,2447	0,2859	-0,0798	-0,0044	-0,1404
sesquiterpeno oxigenado não identificado 10	-0,0304	-0,2798	0,2939	0,3353	0,3870	-0,0801	0,1563	-0,1977
sesquiterpeno oxigenado não identificado 11	0,1061	-0,2206	0,2076	-0,5455	0,1619	-0,4301	0,2657	0,4988
benzoato de benzila	-0,0169	-0,0035	-0,0429	0,0859	-0,0405	0,0136	-0,0586	0,1108

APÊNDICE I – Composição química do óleo essencial de galhos finos de pau-rosa da Reserva Ducke.

Área relativa média dos compostos nos cromatogramas de óleo essencial de galhos finos na Reserva Ducke (%)

Composto	TR (min)	Média
óxido de <i>cis</i> -linalol	10,275	0,16
óxido de <i>trans</i> -linalol	11,025	0,10
linalol	11,558	70,97
α -terpineol	16,258	0,22
α -cubebeno	21,958	0,11
α -copaeno	22,842	0,91
β -elemeno	23,442	0,19
α -gurjuneno	24,175	0,50
β -cariofileno	24,342	1,33
α -humuleno	25,992	0,04
β -selineno	27,408	1,71
α -selineno	27,758	1,58
α -muuroleno	28,125	0,06
γ -cadineno	28,792	0,40
δ -cadineno	29,108	1,39
sesquiterpeno oxigenado não identificado 1	30,625	0,15
nerolidol	31,508	0,11
espatulenol	32,192	1,10
óxido de cariofileno	32,492	2,55
guaiol	33,458	0,06
viridiflorol	33,708	0,31
sesquiterpeno não identificado 1	35,292	0,05
δ -cadinol	36,142	0,41
sesquiterpeno oxigenado não identificado 5	36,975	1,16
sesquiterpeno oxigenado não identificado 6	37,575	0,61
sesquiterpeno oxigenado não identificado 8	38,158	1,60
sesquiterpeno não identificado 2	39,292	0,33
sesquiterpeno oxigenado não identificado 12	40,258	0,03
sesquiterpeno oxigenado não identificado 9	40,725	1,96
diterpeno não identificado	41,042	2,85
sesquiterpeno oxigenado não identificado 10	41,558	4,22
benzoato de benzila	44,725	2,75