



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ**  
**PRÓ-REITORIA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA**

**INFLUÊNCIA DE NIVEIS DE SOMBREAMENTO NO  
DESENVOLVIMENTO DE PLANTIO JUVENIL DE PAU-  
ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke), NO OESTE DO PARÁ**

**EUCLIDES DA SILVA GOMES**

Santarém, Pará

Agosto, 2012

**EUCLIDES DA SILVA GOMES**

**INFLUÊNCIA DE NIVEIS DE SOMBREAMENTO NO  
DESENVOLVIMENTO DE PLANTIO JUVENIL DE PAU-  
ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke), NO OESTE DO PARÁ**

ORIENTAÇÃO: PROF. DR. LAURO E. S. BARATA  
CO-ORIENTAÇÃO: PROF. DR. EDGARD S. TRIBUZY

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título em Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Bioprospecção em Recursos Naturais

Santarém – Pará

Agosto, 2012

**INFLUÊNCIA DE NIVEIS DE SOMBREAMENTO NO  
DESENVOLVIMENTO DE PLANTIO JUVENIL DE PAU-  
ROSA (*Aniba rosaeodora* Ducke), NO OESTE DO PARÁ**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Bioprospecção em Recursos Naturais, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Para – UFOPA, em 28 de Agosto de 2012.

Prof. Dr. Luis Reginaldo Ribeiro Rodrigues (UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ) Coordenador do PGRNA

Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores

---

Prof. Dr. João Baptista Silva Ferraz (INPA)  
Examinador

---

Prof. Dr. Troy Patrick Beldini (UFOPA)  
Examinador

---

Profa. Dra. Cristina Aledi Felsemburgh (UFOPA)  
Examinadora

---

Prof. Dr. Lauro E. S. Barata (UNICAMP/UFOPA)  
Orientador

---

Prof. Dr. Edgard Siza Tribuzy (UFOPA)  
Co-orientador

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E  
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS RONDON -  
UFOPA

**BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL:**

---

0000 Gomes, Euclides da Silva.

Influência de níveis de sombreamento no desenvolvimento de plantio juvenil de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora Ducke*), na região Oeste do Pará.

69 páginas.

Bibliografia.

Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Oeste do Pará, 2012. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Santarém, 2012.

Orientador: Lauro Euclides Soares Barata

1. Pau-rosa 2. Óleo essencial 3. Fisiologia Vegetal 4. Amazônia

---

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus idolatrados pais, Eriberto e Nazaré, a minha amada esposa Silwanya, ao meu adorado filho Jairo Neto e a minha inesquecível amiga, Jomara Dias (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

Ao PGRNA e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia pela oportunidade;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq/CAPES pela bolsa de mestrado concedida;

A empresa Pematec Tringel por ter concedido realizar esta pesquisa na Fazenda Curaua.

Ao LBA, através de Dr. Rodrigo da Silva pelo apoio durante toda a realização do experimento;

Aos meus orientadores, Dr. Lauro Barata e Dr. Edgard Tribuzy, pela orientação, confiança, respeito, amizade, oportunidade e contribuição em minha carreira profissional;

A todos os professores do Programa de Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia pelos ensinamentos de realizar ciências no coração da Amazônia brasileira;

Eu não teria como estar aqui, se uma grande quantidade de pessoas com suas lições, conselhos, abdições, amor, carinho, respeito e companheirismo não tivessem contribuído direta ou indiretamente com este sonho que se torna, agora, realidade.

À minha querida e amada esposa, Silwanya e meu amado filho Jairo Neto, que sempre acreditaram em mim.

A meus queridos pais Nazaré e Eriberto.

Aos meus seis irmãos: Elcione, Márcio, Helenice, Enádia, Paulo Henrique e Eneida, e, não menos importante, meu querido sogro, Jairo e minha sogra, Ivani.

Aos meus ex-sócios Marco Antônio e Alderley.

Aos meus grandes amigos Cleomar Speroto, Wendel Cunha, Elias Melo, Ronaldo Gama, Sebastião Geraldo, Ademilson Leverguini, Charles Alves, Antônio Wildes, professor Regivaldo, professor Ulissys e a inesquecível amiga Jomara Dias (*in memoriam*).

Aos funcionários da Pematec: Juvenal, Romero, Mário, João, que sempre demonstraram boa vontade em me ajudar.

Aos meus colegas de curso, em especial a alguns que participaram efetivamente, socializando seus conhecimentos nos momentos em que nos encontrávamos estudando na sala de estudos do PGRNA, dentre eles: Josué, Jabert, Jonas, Wilderclay, Raphael,

Paulo, Miércio, Diana, Valéria, Irislene, sempre dispostos a dar uma força.

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram na realização desta pesquisa. Meu muitíssimo OBRIGADO!

GOMES, Euclides da Silva. **Titulo da Dissertação**. 2012. 69p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Bioprospecção em Recursos Naturais – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2012.

## RESUMO

### **Influência de níveis de sombreamento no desenvolvimento de plantio juvenil de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), na região Oeste do Pará**

Pesquisou-se o efeito de diferentes níveis de sombreamento e temporariedade, sobre as características fotossintéticas e de crescimento em plantas juvenis de *Aniba rosaeodora* (pau-rosa), cultivadas no município de Santarém, oeste do Estado do Pará. Plantas entre dois e três anos de idade foram submetidas a quatro tratamentos: **(T1)** = 70% de sombreamento; **(T2)** = 50% de sombreamento; **(T3)** = 30% de sombreamento e **(T4)** = pleno sol. Analisaram-se variáveis de crescimento, teores de pigmentos cloroplastídicos, a fluorescência da clorofila *a*, teores de óleo essencial e massa seca de tronco, galhos, folhas e raízes das plantas submetidas aos diferentes tratamentos e temporalmente. Observou-se que plantas juvenis de pau-rosa exibiram maiores valores de crescimento em altura e diâmetro, quando submetidas a tratamentos de 70% **(T1)** e 50% **(T2)** de sombreamento, demonstrando certa elasticidade fisiológica, e menores crescimentos quando em condições de pleno sol **(T4)**. Os maiores valores para os teores relativos dos pigmentos cloroplastídicos apresentaram valores muito próximos, com variações pontuais entre os tratamentos e pequena variação temporal nos meses do experimento. Quanto à eficiência fotoquímica do fotossistema II (**Fv/Fm**) observou-se que apenas o tratamento T4 alterou a funcionalidade das plantas, inibindo a fotossíntese e o crescimento. Quando a pleno sol **(T4)** ou sobre 30% de sombreamento **(T3)** as plantas desenvolveram mecanismos de fotoproteção. Para o teor de óleo essencial observou-se que plantas juvenis submetidas a nível 50% de sombreamento tiveram os melhores resultados, sendo que os menores resultados foram alcançados por **T1**. Quanto a massa seca, **T1** apresentou os melhores resultados, sendo que **T4** apresentou os menores resultados. A análise dos resultados deste trabalho evidenciam que os níveis de sombreamento de 70% e 50% influenciaram fortemente o desenvolvimento do plantio juvenil e no teor de óleo essencial de pau-rosa, principalmente para **T2**, que obteve melhor resultado. **T4** foi influenciado negativamente pelos altos níveis de RFA resultando em menor crescimento em altura, diâmetro, piores resultados em massa seca, influenciados diretamente pelos problemas nos fotossistemas.

Palavras-chave: 1. Pau-rosa 2. Óleo essencial 3. Fisiologia Vegetal 4. Amazônia



GOMES, Euclides da Silva. **Titulo da Dissertação**. 2012. 69p. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de Concentração: Bioprospecção em Recursos Naturais – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2012.

## RESUMO

### ABSTRACT

We researched the effect of different levels of shade and seasonality on the photosynthetic characteristics and growth in juvenile *Aniba rosaeodora* trees that were cultivated in a plantation in Santarém, Pará, Brazil. The trees were between two and three years old and were submitted to four treatments: **(T1)** = 70% shade; **(T2)** = 50% shade; **(T3)** = 30% shade; **(T4)** = full sun. Variables analyzed were height and diameter growth, chloroplast pigment concentrations, chlorophyll a florescence, concentrations of essential oil, and dry mass of stem, branches, leaves and roots. The 50% and 70% shade treatments showed the highest height and diameter growth, demonstrating physiologic elasticity, and lowest growth was found for the full sun treatment. The values for chloroplast pigment concentrations were nearly equal between treatments, with small seasonal variation. Only the T4 treatment altered the photosystem II efficiency, thus inhibiting photosynthesis and growth, and the T4 and T3 treatments cause the development of photoprotection mechanisms. The largest amount of essential oil was collected from the T2 treatment, and the lowest from the T1 treatment. The T1 treatment yielded the largest amount of dry biomass and T4 the lowest. These results indicate that 50% and 70% shade strongly influenced the development of the juvenile trees and also the yield of essential oil, especially for the T2 treatment. The T4 treatment negatively influenced these variables due to the high incidence of solar radiation that directly inhibited photosynthesis.

Key words: 1. Rosewood 2. Essential oil 3. Plant Physiology 4. Amazon

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE SIGLAS	xv
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA.....	03
1.1.1. Extrativismo.....	03
1.1.1.1. Ocorrência de pau-rosa ( <i>A. rosaeodora</i> ) e ação extrativista.....	03
1.1.1.1.1. Na Guiana Francesa.....	04
1.1.1.1.2. No Brasil.....	04
1.2. A legislação e o pau-rosa.....	04
1.3. Aspectos botânicos – espécie <i>Aniba rosaeodora</i> .....	05
1.3.1. Aspectos morfológicos.....	06
1.4. Usos da espécie.....	06
1.4.1. O óleo essencial.....	06
1.4.2. Extração do óleo das folhas e galhos finos.....	07
1.5. Histórico econômico.....	07
1.6. Histórico sobre pau-rosa.....	09
1.6.1. Substituição do pau-rosa como fonte de linalol e uso racional.....	09
1.6.2. Extração do óleo a partir das folhas.....	10
1.7. Aspectos fisiológicos.....	10
1.7.1. Crescimento e fotossíntese (produtividade).....	10
1.7.2. Clorofilas.....	13
1.7.3. Fluorescência.....	14
<b>2. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
2.1. Objetivos específicos.....	16
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1. Localização do experimento.....	17
3.2. Caracterização da área.....	17
3.2.1. Clima.....	17
3.2.2. Pluviometria.....	18
3.2.3. Balanço hídrico.....	19
3.2.4. Solo.....	20
3.2.5. Histórico da Fazenda Curauá.....	20
3.2.6. Histórico do plantio de pau-rosa.....	21
3.3. Experimento.....	22
3.3.1. Avaliações realizadas.....	22
3.3.1.1. Altura e diâmetro.....	22
3.3.1.2. Fluorescência.....	22
3.3.1.3. Determinação dos teores dos pigmentos cloroplastídicos.....	23

3.3.1.4.	Extração do óleo essencial.....	24
3.3.1.5.	Rendimento do óleo essencial.....	25
3.3.2.	Desenho experimental e análises estatísticas.....	26
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
4.1.	Precipitação.....	27
4.2.	Caracterização do solo.....	27
4.3.	Crescimento.....	28
4.3.1.	Em altura.....	28
4.3.2.	Em diâmetro.....	29
4.4.	Clorofilas.....	29
4.4.1	Spad (clorofilometro).....	31
4.4.2.	Correlação entre os valores absolutos de clorofila x valores relativos..	32
4.5.	Fluorescência da clorofila $a$ .....	33
4.5.1.	Fluorescência inicial ( $F_0$ ).....	33
4.5.2.	Fluorescência máxima ( $F_m$ ).....	33
4.5.3.	Fluorescência variável ( $F_v$ ).....	34
4.5.4.	Eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ).....	35
4.6.	Efeito do sombreamento na produtividade do óleo essencial de pau-rosa.....	35
4.7.	Produtividade das folhas de pau-rosa.....	36
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>37</b>
5.1.	Crescimento em altura.....	37
5.2.	Crescimento em diâmetro.....	38
5.3.	Clorofilas.....	38
5.3.1.	Spad (clorofilometro) e correlação entre a clorofila relativa.....	39
5.4.	Análise Geral.....	39
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Características físico - hídricas e químicas do solo utilizado no experimento. Análise realizada no Laboratório de Análise Agrônômica e Ambiental (FULLIN), no mês de abril de 2011..... 20
- Tabela 2** – Cálculo da análise de variância para o experimento em parcelas subdivididas no tempo (*Split plot*) (Ferreira, 1991), sendo amostradas oito plantas cada uma repetição em cada um dos quatro tratamentos..... 26
- Tabela 3** – Crescimento em altura:.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 28
- Tabela 4** – Crescimento em diâmetro:.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 29
- Tabela 5** – Uso do espectrofotômetro:.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 32
- Tabela 6** – Correlação de Pearson, entre os teores relativos de clorofila (clorofilometro) e os valores absolutos das clorofilas *a*, *b* e *a+b* de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 32
- Tabela 7** – Fluorescência inicial ( $F_0$ ):.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 33
- Tabela 8** – Fluorescência máxima ( $F_m$ ):.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 34
- Tabela 9** – Fluorescência variável ( $F_v$ ):.. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6)..... 35

**Tabela 10** – Eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv-Fm):. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6).....35

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Comparação entre a quantidade de óleo de pau-rosa exportados e o preço médio anual do quilo do óleo, nos anos de 1989 a 2011..... 09
- Figura 2** – Mapa do Estado do Pará com a localização da cidade de Santarém..... 17
- Figura 3** – Temperatura na região de Santarém no período histórico de 1967 a 1990, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2001)..... 18
- Figura 4** – Precipitação na região de Santarém no período histórico de 1961 a 2010, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012)..... 19
- Figura 5** – Balanço hídrico da região de Santarém no período histórico de 1967 a 1990, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2001)..... 19
- Figura 6** – Aparelho de Clevenger..... 25
- Figura 7** – Distribuição da precipitação no período de junho a Novembro de 2011, para a região de Mojuí dos Campos..... 27
- Figura 8** – Distribuição da precipitação, acumulada de cinco em cinco dias para o período de junho a novembro de 2011, para a região de Mojuí dos Campos. Setas indicam a data coletas em campo..... 27
- Figura 9** – Clorofila *a*:. Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *a* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 30
- Figura 10** – Clorofila *b*:.Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *b* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 30
- Figura 11** – Clorofila *a+b*::Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *a+b* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 31
- Figura 12** – Relação clorofila *a/b*:Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *a/b* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 34

**Figura 13** – Teor de óleo essencial de plantas jovens de pau-rosa, submetidas à diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 70% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 36

**Figura 14** – Massa seca de galhos, folhas, tronco e raiz de plantas jovens pau-rosa, submetidas à diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 70% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32)..... 37

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

**ABIHPEC** – Associação Brasileira da Indústria de Higiene Pessoal e Cosméticos.

**Clima Ami** - o regime pluviométrico anual define uma estação relativamente seca, mas o total de chuvas é suficiente para manter o período.

**ANOVA** – Análise de variância.

**ATP** - Trifosfato de adenosina.

**BLU** – Base livre de umidade.

**CITES** – convention on International Trade In Endangered Species of Wild Fauna and Flora.

**CO<sub>2</sub>** – Dióxido de carbono.

**DAP** – Diâmetro a altura do peito.

**DBC** - Delineamento em blocos casualizados.

**DMS** - Diferença mínima entre médias.

**DOU** – Diário Oficial da União.

**FSII** – Fotossistema II.

**F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>**: Eficiência quântica do fotossistema II.

**F<sub>m</sub>-F<sub>0</sub>** - Fluorescência variável.

**F<sub>m</sub>** - Fluorescência máxima.

**F<sub>0</sub>** - Fluorescência inicial.

**FULLIN** - Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental.

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.

**INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia.

**NADPH** - Nicotinamida adenina dinucleotida fosfato-oxidase.

**MDIC** – Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio.

**PEA** - Plant Efficiency Analyser.

**RFA** - Radiação Fotossinteticamente Ativa.

**SEBRAE** – Serviço Brasileiro de Apoio as Micros e Pequenas empresas.

**SEMA** – Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

**SPAD-502** – Soil and Plant Analysis Development.



## 1. INTRODUÇÃO

O extrativismo vegetal na Amazônia foi muito importante no passado e continua sendo importante no presente. Historicamente os produtos da biodiversidade amazônica sempre foram caracterizados por um alto grau de atividade extrativista predatória, como exemplo, temos as espécies produtoras de borracha, óleos essenciais e amêndoas, às quais sofreram intensas coletas durante décadas (Ferraz *et al.*, 2009). Por essa razão, a necessidade de se pensar sobre o futuro desta atividade na Região amazônica (Homma, 2007). O pensamento predominante é a exploração de recursos naturais para a busca do retorno econômico, fazendo com que o aproveitamento no presente seja mais importante do que sua garantia em longo prazo. Tal tendência de exploração não sustentável tende a levar ao esgotamento do produto extrativista.

Os recursos extrativos na Amazônia estão sujeitos a dois tipos de extração: o de *coleta* (extração *ad infinitum*) e o de *aniquilamento* (em que há destruição da planta-matriz objeto de interesse econômico), onde se enquadra o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) (Homma, 2007).

Durante as últimas oito décadas, espécies como o pau-rosa, a copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e o cumaru (*Dipteryx odorata* Willd) vêm sendo exploradas economicamente na Amazônia. Das plantas de pau-rosa e copaíba<sup>1</sup> são extraídos óleos essenciais; do cumaru, as sementes (Maia e Andrade, 2009).

No caso do pau-rosa, objeto deste estudo, embora, a exploração da espécie tenha sua base na extração renovável, a maneira como está sendo extraída, cortando o tronco da planta, tem conduzido a uma atividade não sustentável e predatória (Homma, 2003).

As populações naturais de pau-rosa encontram-se na “*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*” CITES, como espécie ameaçada de extinção, pois, estão sendo devastadas pela cobiça, exploração predatória, falta de fiscalização e pela ausência de políticas públicas específicas para ordenar a exploração com base sustentáveis (Ferraz *et al.*, 2009). Isso acontece também, segundo Homma, (2003), em razão do descompasso entre a taxa de extração e a taxa de regeneração natural na floresta.

Indícios deste descompasso foram relatados por Barata (2006), que estimou em cerca de 2,2 milhões as árvores de pau-rosa abatidas desde o início de sua exploração.

---

<sup>1</sup> Tecnicamente o óleo de Copaíba não é *óleo essencial* e sim *óleo resina*.

Homma, (2003) sugere que no mínimo 825 mil árvores de pau-rosa foram abatidas em cerca de quatro milhões de hectares.

O destino final das árvores extraídas é a destilação do óleo essencial, que apresenta fragrância fina, inigualável, sem substituto e com mercado consumidor garantido, visto estar presente nos produtos da perfumaria fina como o Chanel nº 5 e o Hugo Boss (Barata, 2006).

Assim, devido à grande demanda sobre o pau-rosa, da crescente consciência sobre o meio-ambiente pela sociedade e por uma pressão cada vez maior do mercado consumidor por produtos de origem certificada, políticas públicas estão sendo implantadas com o objetivo de se iniciar um ciclo de exploração sustentável dos recursos naturais da floresta. (Ferraz *et al.*, 2009). Tal situação levou à busca de alternativas, como: a produção de óleo essencial a partir de galhos e folhas, viabilizando a exploração de forma racional, além de iniciativas de cultivos para exploração deste recurso.

Dentro do contexto de exploração sustentável do pau-rosa, foram realizados alguns estudos, como o de Gottlieb *et al.*, 1958, que buscou dentro do gênero Aniba um substituto para o óleo essencial do pau-rosa. No começo da década de 70 do século passado, Araújo *et al.*, (1971), constataram que o óleo essencial de pau-rosa estava presente em todas as partes da planta, fato que levou grupos de pesquisa a desenvolver metodologias para extração do óleo de pau-rosa a partir das folhas, visando a sustentabilidade da exploração deste recurso.

Ohashi *et al.*,(1997) realizaram o primeiro trabalho buscando aprofundar os conhecimentos sobre esta área, buscando extrair óleo das folhas de árvores de 22 anos de idade, concluindo que tal situação seria possível, sem prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Barata, (2001) realizou o segundo trabalho que envolvia o uso sustentável do pau-rosa, através da extração do óleo contido nas folhas e, trabalhando com árvores de quatro anos de idade, obteve conclusões semelhantes às de Ohashi *et al.*, 1997, sendo que para o primeiro, a extração do óleo não deveria ser apenas ecologicamente correta, mas também, economicamente viável. De fato, a indicação de que o óleo das folhas poderia substituir o óleo da madeira do pau-rosa já se encontra no relatório à Chanel de Barata e Azevedo<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Tasso de Azevedo na ocasião (2001) dirigente da ONG IMAFLORA, foi diretor geral do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) na gestão Marina Silva no MMA. Posteriormente consultor do Ministério do Meio Ambiente em questões de clima e florestas.

(1998). O relatório circunstanciado sobre a situação do pau-rosa na Amazônia foi publicado por May<sup>3</sup> e Barata (2004).

Baseado nos trabalhos anteriores de 2001 e 2004, Barata, (2006), idealizou um projeto sobre o uso sustentável e economicamente viável do pau-rosa, com estimativa de produção de óleo a partir do quinto ano de implantação. Encaminhado ao Banco da Amazônia S/A, recebeu financiamento no valor de US\$ 100 mil dólares e em consequência o prêmio Samuel Benchimol de práticas sustentáveis em 2005. Neste projeto, estimou-se a necessidade de uma área de 1.200 ha para produção de 40 toneladas de óleo, extraídos a partir de folhas e galhos de pau-rosa, os quais poderiam ser cultivados em áreas desmatadas, sendo que as áreas desmatadas na Amazônia brasileira foram estimadas, em 2004, em 72 milhões de hectares (Homma, 2005). A área sugerida permitiria produzir todo o óleo essencial de pau-rosa exportado pelo Brasil naquele ano.

A proposta agregaria ao cultivo de pau-rosa: racionalidade, sustentabilidade e maior valor econômico, pois neste último caso, haveria incidência de prêmios por práticas sustentáveis, o qual é um diferencial no mercado. Ainda de acordo com Barata (2006), tais práticas aumentariam em 30% o valor de mercado de tal insumo se comparado ao valor do produto explorado com o método tradicional, que se baseia na destruição da planta-matriz.

Os recursos obtidos do Banco da Amazônia foram destinados à implantação de projeto de cultivo, sendo o plantio realizado em área cedida pela empresa PEMATEC TRIANGEL DO BRASIL, na Fazenda Curauá, em uma área de cinco hectares, onde foram plantadas 2.000 mudas de pau-rosa no período de 2007 a 2008. Do total de mudas plantadas, 156 remanescentes em 2010 foram utilizadas para o desenvolvimento desta dissertação de mestrado, onde a indagação principal era sobre os motivos da mortalidade das plantas, sendo que uma das possíveis respostas seria a alta taxa de radiação solar a que as mudas foram expostas.

---

<sup>3</sup> Peter May, Economista da UFRRJ era Diretor da ONG franco-brasileira Pró-Natura.

## 1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1.1. Extrativismo

#### 1.1.1.1. Ocorrência de pau-rosa (*A. rosaeodora*) e ação extrativista

O pau-rosa ocorre no Suriname, Guiana, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru – (nos municípios de Pucalpa e perto de Iquitos), e mais fortemente na Guiana Francesa e Brasil (Homma, 2005; Ohashi e Rosa, 2004; Pagán, 2003).

No Brasil, têm ocorrência nos municípios de Boa Vista, Amapá e Macapá, Santarém, Manaus, Rio Branco, Porto Velho, Juruti (Braga, 1971), Maués, Jacundá, Parintins, Presidente Figueiredo, Manicoré, as margens do Rio Madeira, Rio Oiapoque, (May e Barata, 2004), Parintins, Nova Olinda, Novo Aripuanã, Barreirinha, Borba, Itacoatiara, Silves, Rio Preto da Eva e Itapiranga (Sampaio *et al.*, 2002)

O extrativismo do pau-rosa ocorreu principalmente na Guiana Francesa e no Brasil (Homma, 2003) onde ainda se mantém unicamente no Estado do Amazonas, nos municípios de Maués quase unicamente, mas também em Presidente Figueiredo e Novo Aripuanã (May e Barata, 2004).

##### 1.1.1.1.1. Na Guiana Francesa

Os primeiros registros de extração do Pau-rosa datam de 1883, na Guiana Francesa sendo que a produção era enviada para destilação na França. Esse processo levou à diminuição das reservas extrativista de pau-rosa em pouco tempo na colônia francesa a ponto de tornar a extração economicamente inviável (Homma, 2003).

##### 1.1.1.1.2. No Brasil

No Brasil, o extrativismo do pau-rosa teve início no território do Amapá (atual Estado do Amapá) (May e Barata, 2004) e em 1925 com a descoberta da planta no município de Juruti, no Estado do Pará, tendo sido fortemente estimulada pela diminuição da espécie na Guiana Francesa (Braga, 1971).

No início da década de 1930, houve a descoberta de grandes áreas da espécie no Estado do Amazonas que, impulsionado pelo esgotamento das áreas extrativas de pau-rosa

em Juruti, culminou com a concentração do mercado do óleo essencial de pau-rosa neste Estado, que perdura até hoje, Homma, (2003).

## 1.2. A Legislação ambiental e o pau-rosa

Durante as décadas seguintes, houve algumas ações governamentais pontuais no sentido de organizar o mercado do óleo de pau-rosa e, conseqüentemente, estimular o uso sustentável da planta, onde destacamos:

O Governo do Estado do Amazonas, em 1932, promulgou o Decreto 1.455, o qual estipulava a quantidade de óleo a ser produzida anualmente e a obrigatoriedade do replantio, por árvore de pau-rosa abatida, pelas destilarias (Homma, 2003).

Outro evento importante foi a criação do Consórcio de Extratores de Essências Vegetais, em 1932 (no Estado do Amazonas) e 1935 (no Estado do Pará). Com essas medidas, cerca de 28 mil árvores chegaram a ser plantadas.

Na década de 1940, a extração média foi da ordem de 256.600 kg. (Homma, 2003), e, por conta dessa extração, em 1947, o governo amazonense, através de decreto, estabeleceu que, para cada 20 kg de óleo vendido, uma árvore deveria ser plantada, sendo que o replantio ficaria sob a supervisão de uma entidade governamental local equiparado ao Sema (Secretaria Estadual de Meio Ambiente) (Kissin, 1952; Terezo *et al.*, 1971).

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), através da Portaria 01/1998, estabeleceu que as árvores abatidas de pau-rosa deveriam ter diâmetro à altura do peito (DAP), superior a 20 cm; o plantio de mudas por metro cúbico de matéria prima explorada; e, a partir de 2000, as empresas que industrializassem pau-rosa deveriam ter implantados plantios equivalentes ao consumo anual (Homma, 2003).

Com essa medida foram plantadas aproximadamente 42 mil mudas de pau-rosa no Estado do Amazonas (Ferreira, 2002). Contudo, essas ações não surtiram o efeito esperado, fato que culminou com a instrução normativa do IBAMA n.º 9, de 05/09/2010, o qual incluiu o pau-rosa no anexo II da – CITES.

Neste documento também foi estabelecido que os detentores de quaisquer quantitativos de madeira em tora, galhos ou lenha, bem como madeira sob qualquer grau de processamento ou de óleo essencial de pau-rosa, devem protocolar a *Declaração de Estoque*, informando a origem, o respectivo volume e o endereço de armazenamento. Sendo que a utilização comercial da espécie deveria se dar a partir de *plano de manejo florestal sustentável* em perfeita regularidade (DOU de 06/10/2010).

### 1.3. Aspectos Botânicos de *Aniba rosaeodora*

O pau-rosa é uma planta que pertence à ordem Laurales, a família Lauraceae, predominantemente tropical, composta por cerca de 2.750 espécies distribuídas em 52 gêneros (Kubitzki e Renner, 1982). É uma planta do gênero *Aniba*, com sinonímia de *Aniba rosaeodora* Ducke var. *amazônica* Ducke e *Aniba duckei* Kostermans, conhecida pelos nomes vernaculares de pau-rosa, pau-rosa-mulatinho, paurosa-itaúba e pau-rosa-imbaúba (Ohashi et al., 2004; Alencar e Fernandes, 1978).

As classificações botânicas foram feitas por Ducke, que denominou a espécie da Guiana Francesa de *Aniba rosaeodora* (Ducke, 1930); e Kostermans, que denominou a espécie amazônica de *Aniba duckei* (Kostermans, 1958).

Com relação ao princípio ativo, o linalol, observou-se que a espécie de *A. rosaeodora* Ducke nativa das florestas brasileira apresenta cerca de 80% do princípio ativo linalol, enquanto a espécie da Guiana Francesa *A. roseodora* Kostermans apresenta 90% de linalol no extrato do óleo essencial, existindo ainda sutil disparidade entre ambas no aspecto rendimento do óleo (Guenther, 1950).

#### 1.3.1. Aspectos Morfológicos

O pau-rosa caracteriza-se, morfológicamente, por apresentar as seguintes características: árvore de grande porte, podendo atingir 30 metros de altura e dois metros de diâmetro (Alencar e Fernandes.,1978)

O tronco é retilíneo e ramificado no ápice, formando uma copa pequena. Possui casca pardo-amarelada ou pardo-avermelhada, que se desprende em grandes placas; as folhas são coriáceas, simples, alternas, obovado-lanceoladas, com comprimento entre 6 a 25 cm; e largura entre 2,5 a 10 cm (Alencar e Fernandes.,1978)

As margens são lisas, recurvadas ou planas, com face superior glabra e verde-escura e inferior pilosa e amarelo-pálida; flores amarelo-ferruginosas, hermafroditas e diminutas, dispostas em panículas subterminais; possuem dois verticilos de tépalas ou pétalas; os estames, em número de nove, estão distribuídos em três verticilos com três estames em cada; o ovário é central, súpero e com apenas 160 a 320 unidades, um óvulo; o sistema de reprodução é de fecundação cruzada, garantida pela ocorrência de dicogamia sincronizada (Alencar e Fernandes., 1978)

O fruto é uma baga glabra de coloração violáceo-escura, elipsóide ou subglobosa,

com 2,0 a 3,0 cm de comprimento e 1,5 a 2,0 cm de diâmetro; exocarpo fino e polpa carnosa de coloração amarelo-esverdeada; está inserido em uma cúpula espessa de 1,0 cm de comprimento e provida de lenticelas lenhosas (Alencar e Fernandes., 1978)

A semente é ovóide, tegumento delgado, liso e opaco; de cor marrom-claro com estrias longitudinais marrom-escuras; tegumento quebradiço quando seco; sementes com dois cotilédones, grandes, convexos, duros, lisos de cor creme. (Alencar e Fernandes, 1978).

## **1.4. Usos da espécie**

### **1.4.1. O óleo essencial**

O pau-rosa é rico em linalol, essência largamente empregada como fixador pela indústria de perfumaria nacional e internacional, que atualmente, devido aos preços praticados, são utilizados por fabricantes de produtos destinados a classe média alta.

Tradicionalmente, o processo de produção do óleo de pau-rosa consiste no abate das árvores na floresta, que são cortadas em pequenos cavacos e trituradas para a destilação em usinas móveis próximas à área explorada (Benchimol., 2001; Santos *et al.*, 2004).

Contudo, alguns estudos demonstraram que o óleo pode ser obtido a partir da destilação das folhas da planta, onde destacam-se os trabalhos de Araújo *et al.*, (1971), ratificados por Ohashi *et al.*, (1997) e Barata *et al.*, (2001).

Diferenças no aroma, eventualmente são evidentes entre óleos oriundos de regiões distintas, como as verificadas entre o óleo brasileiro e o franco-guianense (Ohashi e Rosa, 2004). Em estudo realizado, Barata *et al.*, (2007), verificaram que o óleo extraído das folhas apresentaram características bem próximas do óleo extraído da madeira, constatando-se a viabilidade de substituição da extração do óleo do tronco pelo das folhas.

### **1.4.2. Extração do óleo das folhas e galhos finos**

Existem dois métodos de extração do óleo de pau-rosa das folhas e galhos, a hidrodestilação e o arraste a vapor.

O método de extração por hidrodestilação é muito mais eficiente para extração do óleo essência do pau-rosa de galhos e folhas do que o método de arraste a vapor, fato

confirmado por Barbosa *et al.*, (2008), que ao comparar os métodos conseguiram extrair óleo essencial nas quantidade de 2,4% pelo método de hidrodestilação, e 1% pelo método de arraste a vapor.

Assim, a hidrodestilação é usada basicamente em ensaios em laboratórios para extração de pequenas quantidades de óleo, enquanto que, o arraste a vapor, é um processo com características industriais, com capacidade de extração variando entre 10 a 1.000 quilos de galhos e folhas (Benchimol, 2001; Barbosa *et al.*, 2008).

### **1.5.Histórico Econômico**

A importância econômica que as plantas aromáticas representam para a Região Amazônica está associada à aplicação de seus óleos essenciais e do uso de seus aromas em processos tecnológicos (Santos *et al.*, 2004).

O mercado mundial de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos respondeu por 425,8 bilhões de dólares em 2010, com incremento anual entre 9,13%. O Brasil é o terceiro maior mercado mundial, com faturamento de 43 bilhões de dólares em 2011, o que significa um crescimento anual de 18,9%, em relação ao faturamento de 2010 e participação no mercado global de 10,1% (Abihpec, 2012).

Uma parte importante deste mercado consome óleos essenciais, onde o Brasil ocupa a quarta posição mundial na produção, tendo exportado no período de janeiro de 2009 a junho de 2010, um volume correspondente a aproximadamente US\$115 milhões (Souza, 2010).

No entanto, 96% desse volume correspondem ao óleo essencial de laranja, um subproduto da indústria do suco, vendido recentemente por apenas US\$ 2,00/quilo. Se considerarmos os outros óleos cítricos (limão e tangerina) este número cresce para 99,5%. Dos 0,5% restantes, apenas uma fração corresponde às matérias-primas aromáticas originárias da rica e inexplorada biodiversidade brasileira (Mdic, 2010) como, por exemplo, o pau-rosa da Amazônia.

Maia e Andrade (2009) expuseram que nas últimas oito décadas, apenas o óleo essencial de pau-rosa, o óleo-resina de copaíba e de sementes de Cumaru foram continuamente explorados comercialmente na região amazônica.

À medida que as reservas mais acessíveis vão escasseando, a extração tende a se afastar das margens dos rios e das estradas e seguir em direção às cabeceiras dos rios e

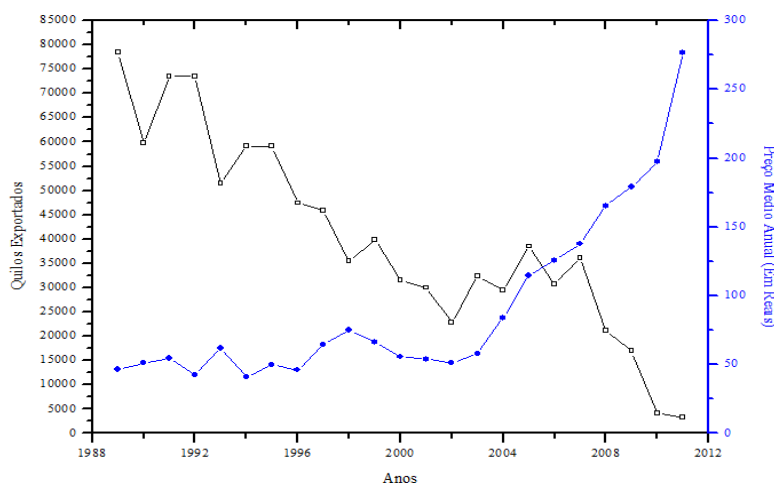


platôs, o que impõe custos adicionais que aumentam em razão da inexistência de esforços sistematizados (Homma, 2003).

Todavia, o pau-rosa apresenta um grande potencial de mercado, estimado em cerca de 30 mil árvores anos para manter a atividade da forma que se desenvolveu no século XX, além do valor dos substitutos sintéticos importados pelo Brasil, que soma mais de US\$ 3,00 milhões anualmente (Homma, 2003).

Na análise histórica da variação de preço do período compreendido entre os anos de 1987 a 2011, percebe-se que a quantidade de quilos exportados cai de cerca de 80 toneladas anuais em 1987 para menos de 4 toneladas no final de 2011, configurando uma diminuição ano a ano da quantidade exportada.

Quando se analisa o preço do quilo do óleo no mesmo período, percebe-se que o preço seguiu tendência inversa, com preços médios em 1987 de R\$: 50,00, chegando no final de 2011 a ser comercializado a R\$:260,00 o quilo, o que significa aumento no preço na ordem de 520%, conforme Figura 01.



**Figura 1:** Comparação entre a quantidade de óleo de pau-rosa exportados e o preço médio anual do quilo do óleo, nos anos de 1989 a 2011.

**Fonte:** Mdic (Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio), disponível em Aliceweb, acessado em 01/05/2012.

## **1.6.Histórico sobre o pau-rosa**

### **1.6.1. Substituição do pau-rosa como fonte de linalol e uso racional**

O marco nos experimentos envolvendo o pau-rosa, foi o realizado por Gottlieb *et al.*, 1958, que buscou dentro do gênero *Aniba* encontrar uma planta que pudesse substituir o pau-rosa como fonte de linalol, concluindo que não havia substituto.

A partir desse resultado, muitos trabalhos foram realizados no sentido de racionalizar o uso do pau-rosa, através da prática de manejo das podas das copas das árvores, indicando que as plantas respondem de forma satisfatória aos tratamentos (Sampaio *et al.*, 2000; Ohashi *et al.*, 2004; Sampaio *et al.*, 2005; Sampaio *et al.*, 2007).

### **1.6.2. Extração do óleo a partir das folhas**

O primeiro trabalho indicou que as plantas de pau-rosa continham linalol nas folhas e galhos, e que este poderia ser utilizado em substituição ao óleo provenientes do tronco, foi realizado por Araújo *et al.*, (1971).

Outro trabalho importante nesta linha, foi o de Ohashi *et al.*, (1997), que, trabalhando com árvores de pau-rosa de 22 anos de idade, concluíram que o uso das folhas para extração do óleo seria ecologicamente viável.

Em 2001, Barata *et al.*, (2001), trabalhando com plantas de pau-rosa de quatro anos de idade, mostrou que, além de ecologicamente correto, o plantio de pau-rosa pode ser economicamente viável. (Barata, 2006), em projeto detalhado sobre o uso ecológico-econômico das folhas de pau-rosa, propôs a sustentabilidade ao sistema de produção a partir do quinto ano de implantação.

Os pressupostos ambientalmente correto e economicamente viável passa obrigatoriamente por condições adequadas para o seu crescimento e desenvolvimento, que pode ser traduzido em maior quantidade de biomassa produzido pela planta, fatos que estão ligados com a transformação de energia luminosa e em energia química, em que o bom funcionamento dos fotossistemas I e II são fundamentais, ou seja, precisa-se compreender a fisiologia vegetal do pau-rosa e suas adaptações aos mais diferentes níveis de RFA (Radiação Fotossinteticamente Ativa).

## **1.7.Aspectos fisiológicos**

### **1.7.1. Crescimento e fotossíntese (produtividade)**

O sucesso em crescimento de plantas se baseia nas adaptações anatômicas morfológicas e bioquímicas que variam segundo a alocação da biomassa e que pode se manifestar pelo incremento em massa, volume, comprimento ou área das diferentes estruturas da planta (Gloser e Glaser, 1996).

As adaptações fisiológicas estão ligadas a quatro fatores relacionados à fotossíntese que influenciam no incremento da biomassa: quantidade de luz incidente, que é determinada pelo clima; a proporção da luz interceptada pelas organelas, que depende da estrutura e da cor das partes que formam a planta; a eficiência da conversão da luz interceptada pelas organelas, que é determinada diretamente pelos processos fotossintéticos, expressando a relação direta entre a produtividade e a fotossíntese e; a perda de biomassa pela respiração, com finalidade de manter e formar constantemente novos tecidos (Hall *et al.*, 1993).

O crescimento e adaptação da planta a diferentes condições luminosas do ambiente podem ser relacionados à habilidade das plantas em ajustar, eficaz e rapidamente, seu comportamento fisiológico e fotossintético, para maximizar a aquisição de recursos nesse ambiente (Dias Filho, 1997).

O processo fotossintético ocorre em duas fases: na fotoquímica e na bioquímica. Na primeira, há a transferência de elétrons através dos fotossistemas I e II, que convertem  $\text{NADP}^+$  a NADPH e geram um diferencial de pH entre o lúmen da membrana tilacóide e o estroma, esse gradiente de pH gera uma força motriz que culmina na síntese de ATP. Na bioquímica, o ATP e o NADPH formados na etapa fotoquímica são utilizados enzimaticamente na redução de  $\text{CO}_2$  a carboidratos e regeneração da ribulose 1,5 bifosfato, ou seja, a fase bioquímica depende da atividade dos fotossistemas (Taiz e Zeiger, 2009).

Os fotossistemas conseguem adaptar-se a diferentes ambientes, no intuito de maximizar o processo de captação de luz, sendo que a folha é o órgão especializado nesta atividade e que pode modular a captura de luz com adaptações morfológicas e bioquímicas para regular a quantidade de energia para o processo de produção de biomassa (Terashima, 1992; Terashima e Hikosaka 1995; Larcher, 2000; Gonçalves e Lorenzi, 2007).

Tendo como base a especialização das folhas submetidas a ambientes com maior ou menor RFA, elas foram classificadas como folhas de sol e de sombra (Boardman, 1977), sendo que, as folhas de sombra têm mais clorofila por centro de reação e a razão entre clorofila *a* e *b* são mais altas e geralmente as folhas de sombra são mais finas que as folhas de sol (Taiz e Zeiger, 2009).

Outro ponto importante é que a proporção entre os diversos tipos de clorofila mudam em função da intensidade luminosa (Angel e Poggiani, 1991) e que a maior proporção relativa de clorofila *b* em plantas sombreadas é uma característica importante, pois possibilita a captação de energia em outros comprimentos de onda e transferência para uma molécula específica de clorofila *a* que, efetivamente, toma parte das reações fotoquímicas da fotossíntese (Whatney e Whatney, 1982).

Já as plantas, considerando sua capacidade de desenvolverem-se em diferentes concentrações de RFA, podem ser classificadas, em ombrófilas, quando adaptadas a ambientes com baixa luminosidade e em heliófilas, quando adaptadas a altos regimes de luz (Taiz e Zeiger, 2009).

Quanto às estratégias desenvolvidas pelas plantas para adaptar-se a maiores ou melhores intensidades luminosas, Campos e Uchida, (2002) descrevem, que há algumas plantas para adaptar-se a altos níveis de sombreamento, expandem suas folhas a fim de melhor aproveitar a RFA incidente.

Diante desse contexto, as plantas são submetidas a condições luminosas variadas onde os pigmentos cloroplátidicos são constantemente sintetizados, inibidos (fotoinibição) e destruídos (fotodegradação). Sob intensidades luminosas mais elevadas ocorre maior degradação, e o equilíbrio é estabelecido a uma concentração mais baixa RFA (Larcher, 2000; Taiz e Zeiger, 2009).

Em experimento com três espécies florestais, Campos e Uchida, (2002) constataram que caroba (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don.) apresenta melhor desenvolvimento sob 70% de sombreamento e os menores sombreamentos favorecem o equilíbrio entre o desenvolvimento aéreo e o radicular, e que tratamentos a plena luz proporcionaram desenvolvimento equilibrado em mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* (Cav. ex. Lam.) Urban), com mais acúmulo de matéria seca e sem problemas de estiolamento, e o mesmo para mudas de jatobá (*Hymenaea courbari*) que cresceram mais vigorosas.

Contudo, existem algumas plantas que tem suficiente plasticidade de desenvolvimento para responder a uma gama de regimes de luz, crescendo como plantas

tolerantes em ambientes de sol e sombra, processo em que folhas recém-produzidas apresentam um conjunto de características bioquímicas e morfológicas mais apropriadas a um determinado ambiente, ligadas a adaptações na folha, nos fotorreceptores e conseqüentemente ao funcionamento dos fotossistemas, que denomina-se Aclimação (Taiz e Zeiger, 2009; Walters, 2005).

Já as plantas que conseguem se desenvolver em um único ambiente, com baixa ou alta irradiação, são denominadas e adaptadas (Taiz e Zeiger, 2009; Walters, 2005). Estas plantas que crescem em ambientes sombreados e/ou são expostas à alta RFA podem sofrer fotoinibição ou danos irreparáveis no aparato fotossintético (Long *et al.*, 1994).

Assim, poderíamos classificar a caroba como mudas intolerantes, enquanto que as mudas de pau-de-balsa e jatobá seriam classificadas como mudas tolerantes. Com base na análise acima, podemos verificar que utilizamos as características de crescimento e desenvolvimento para inferir o grau de tolerância ou de intolerância das espécies a baixa ou alta disponibilidade de RFA (Scalon *et al.*, 2002).

Magalhães *et al.*, (2009), em estudos realizados com acariquara (*Minuartia guianensis*), constataram que plantas desenvolvidas ao sol sofrem fotoinibição severa e, em alguns casos, até foto-oxidação, ocorrendo perda prematura das folhas, que é compensada pela produção de folhas novas com alta capacidade fotossintética, sendo esta a principal estratégia aclimação da espécie.

Dias e Marengo, (2007), em experimento com mogno e acariquara, verificaram que tais espécies, expostas a alta temperatura (38°C) e alta RFA, diminuem a taxa de assimilação de carbono, sobretudo em mogno, em razão da redução da condutância estomática, sendo a alta RFA o fator determinante na severidade da fotoinibição, causando variações na fluorescência inicial ( $F_0$ ) da clorofila *a*.

Siebenenhchler *et al.*, (2008), trabalhando com *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol., concluíram que o ambiente de sombra natural não é apropriado para o desenvolvimento das mudas desta espécie, indicando um ambiente a pleno sol para produção de mudas.

Gonçalves *et al.*, (2010), pesquisando a fluorescência da clorofila em plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata*, constataram redução nas respostas da clorofila *a*, mas que *C. guianensis* exibiu o desempenho melhor do fotossistema II, considerando-a mais indicada para plantios de produção ou de recuperação de áreas degradadas na Amazônia.

A adaptação do aparato fotossintético para diferentes densidades de fluxos fotossintéticos, geralmente passa por ajustamentos de proporções relativas dos

componentes que envolvem a absorção, a transmissão e a utilização da energia luminosa, na qual a quantidade da energia absorvida é inerente à capacidade de uso do produto para reação fotoquímica, ou seja, quando esse balanço é desalinhado, proporciona excesso na capacidade fotoquímica favorecendo o surgimento de danos, às vezes, irreversíveis para a planta (Walters, 2005).

### 1.7.2. Clorofilas

As clorofilas são os fotorreceptores responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo que elas são essenciais na conversão da RFA em energia química, na forma de ATP e NADPH. São fotorreceptores muito eficazes porque contém redes de ligações simples e duplas alternadas com faixa de absorção muito fortes na região visível do espectro, onde também é máximo o fluxo solar que atinge a terra (Taiz e Zieger, 2009) e estão diretamente ligadas à eficiência fotossintética, ao crescimento, desenvolvimento e adaptabilidade a diversos ambientes (Engel e Poggiani, 1991; Jesus e Marengo, 2008).

As clorofilas estão presentes em todos os organismos que realizam fotossíntese (plantas, algas e cianobactérias), sendo que a clorofila *a* é o pigmento utilizado no primeiro estágio do processo fotossintético, enquanto que a clorofila *b* funciona como um pigmento acessório, auxiliando na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação (Streit *et al.*, 2005).

Os espectros de absorção das clorofilas *a* e *b* são diferentes, sendo que a luz que não é apreciavelmente absorvida pela clorofila *a*, a 460nm, por exemplo, tem uma absorção intensa de clorofila *b* nesse comprimento de onda. Assim, esses dois tipos de clorofila complementam um ao outro na absorção de luz incidente. A região entre 500 a 600nm é fracamente absorvida por essas clorofilas (Taiz e Zieger, 2009).

Portanto, a quantidade de luz absorvida por uma folha está relacionada ao conteúdo de clorofilas. Além de sua importância na captação de luz, o teor de clorofila foliar pode ser usado como um indicador do ambiente de luz durante o crescimento das plantas. A síntese e/ou degradação de clorofila acontecem naturalmente com a presença de luz. No entanto, o excesso de luz pode causar maior degradação e, por conseguinte, uma redução nos níveis de clorofila total (Engel e Poggiani, 1991).

### 1.7.3. Fluorescência

A absorção e uso da energia luminosa pelos vegetais podem ser estimados através da análise da fluorescência da clorofila *a* (Torres Netto *et al.*, 2005) que pode ser usada para estimar, de forma rápida e não-destrutiva, a eficiência do transporte de elétrons através do fotossistema II (FSII) (Baker e Rosenqvist, 2004).

Devido ser um indicador muito sensível a fluorescência da clorofila *a* é comumente usada como indicador de estresse em plantas, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a funcionalidade do fotossistema II (Dias e Marengo, 2007).

A eficiência fotossintética máxima das plantas é dada pela relação  $F_v/F_m$ , em que  $F_m$  é a fluorescência máxima e  $F_v$  é a fluorescência variável, que é obtida pela diferença entre  $F_m - F_0$ . O  $F_0$  representa a fluorescência inicial, correspondente à fração da energia absorvida pelo complexo-antena e não é transmitida, ou seja, não é absorvida pelos pigmentos fotossintéticos (Rascher *et al.*, 2000).

De maneira geral, a fluorescência da clorofila *a* pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica do fotossistema II (relação  $F_v/F_m$ ), significando que a planta está sofrendo de estresse, o que pode ser classificado como fotoinibição, que é um processo fisiológico caracterizado pela redução lenta e reversível da fotossíntese, como resultado da exposição a luz solar plena (Long *et al.*, 1994).

Gonçalves *et al.*, (2005), em estudo com plantas jovens de pau-rosa, cultivadas em diferentes níveis de RFA, concluíram que a eficiência do fotossistema II não foi prejudicada apenas em tratamento submetido a baixo fluxo de RFA, sendo que os demais tratamentos apresentaram algum tipo de estresse provocado por aumento na RFA.

Em estudo de Gonçalves *et al.*, (2010) realizado com plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata*, verificaram que os valores médios de  $F_v/F_m$  variaram de 0,82 a 0,83 para *C. guianensis* na sombra e para *D. odorata*, também na sombra, os valores variaram de 0,76 a 0,79. Tais estudos demonstraram que para *Dipteryx odorata* o valor médio encontrado reflete bom estado fisiológico, e que valores abaixo de 0,83 para a razão  $F_v/F_m$  são indicativos de presença de certo grau de estresse (Björkman & Demmig-Adams, 1987).

## **2. OBJETIVO GERAL**

Investigar o crescimento, a fluorescência da clorofila *a*, os teores cloroplastídicos, e o teor de óleo essencial de plantas jovens da espécie *A. rosaeodora* (pau-rosa) quando submetidas a diferentes níveis de sombreamento e temporariedade entre os meses de junho a novembro de 2011.

### **2.1. Objetivos específicos**

1. Determinar o efeito dos diferentes níveis de sombreamento e temporariedade no crescimento, em altura e diâmetro de plantas jovens de pau-rosa;
2. Determinar os teores de pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a*, *b* e total) em plantas jovens de pau-rosa crescendo sob diferentes níveis de sombreamento;
3. Analisar a fluorescência da clorofila *a* em plantas jovens de pau-rosa, crescendo sob diferentes níveis de sombreamento e temporariedade;
4. Analisar o teor de óleo essencial em plantas jovens de pau-rosa, submetidas a diferentes níveis de sombreamento.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização do experimento

O experimento foi implantado na Fazenda Curauá ( $-54^{\circ}37'09,52''\text{W}$  e  $-02^{\circ}34'23,43''\text{S}$ ), localizada na Rodovia Curauá-Una, km 20, adentrando cerca de 5 km no ramal do Jacamim, município de Santarém, PA (Figura 08).

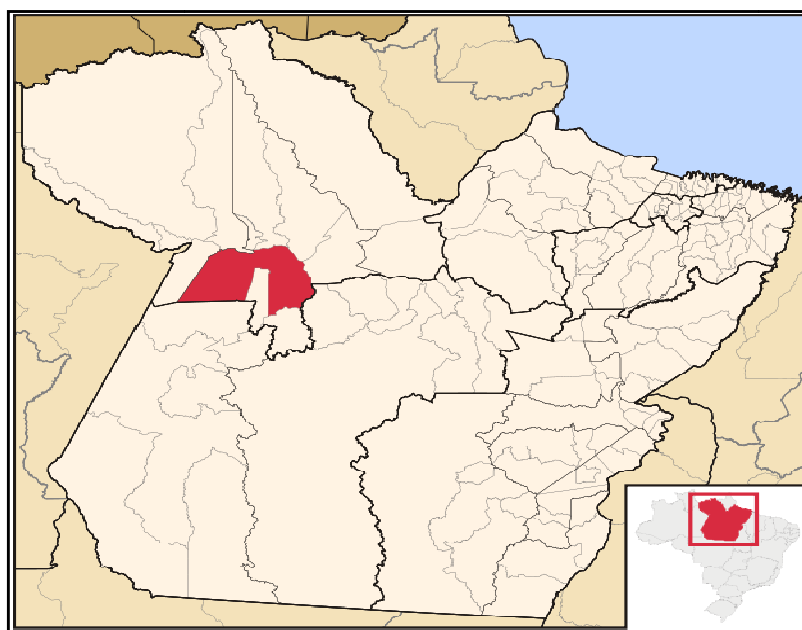
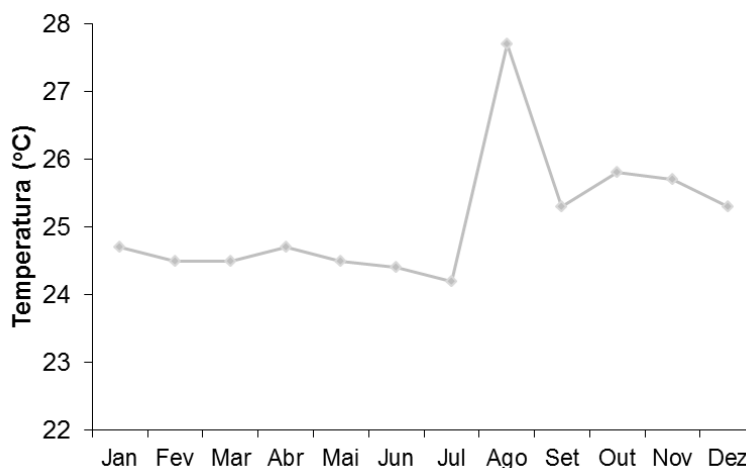


Figura 2: Mapa do Estado do Pará com a localização da cidade de Santarém

#### 3.2. Caracterização da área

##### 3.2.1. Clima

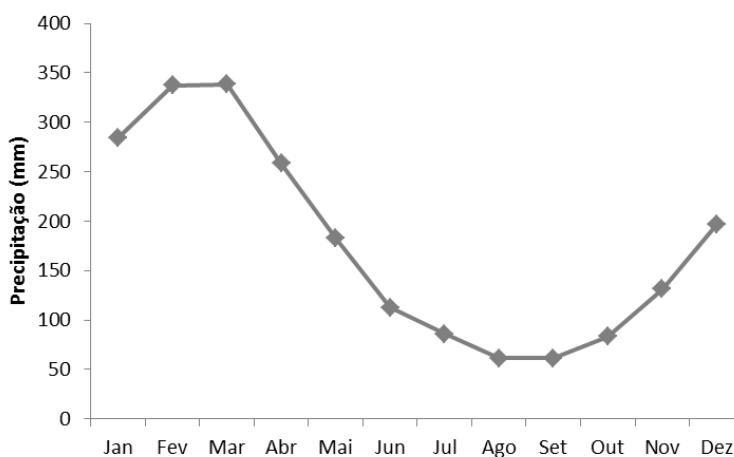
O clima da região segundo a classificação de Köppen (1948) é do tipo “Ami”, caracterizando-se como quente e úmido e denominado também de tropical chuvoso, devido apresentar temperaturas, umidades e precipitações elevadas (Varejão *et al.*, 2005; Tsukamoto Filho *et al.*, 2007). A temperatura média anual é de  $26,7^{\circ}\text{C}$ , com valores de mínima e máxima de  $23,5^{\circ}\text{C}$  e  $31,2^{\circ}\text{C}$  respectivamente, sendo a umidade relativa média anual de 84% (INMET), conforme Figura 3, abaixo.



**Figura 3:** Temperatura na região de Santarém no período histórico de 1967 a 1990, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2001)

### 3.2.2. Pluviometria

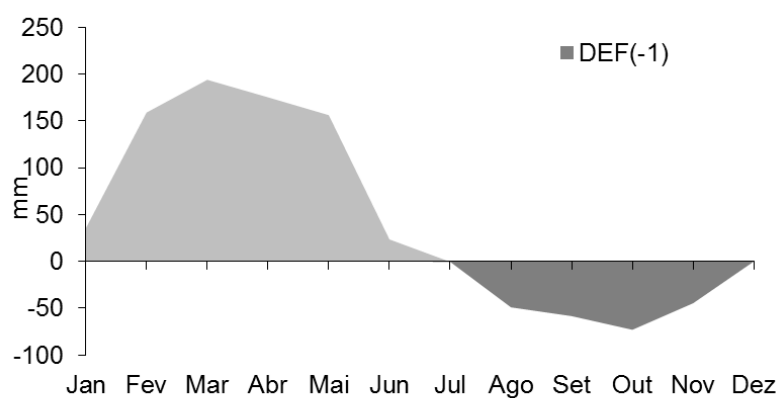
O regime pluviométrico da região de Santarém apresenta variação significativa durante todo o ano. Marengo e Nobre, (2001), classificaram-na em dois períodos sazonais distintos, que resultam do movimento anual da zona de convergência intertropical causando na região um período seco e um chuvoso. Já Chambers *et al.*, (2004), tendo como base análise da pluviosidade de 30 anos, caracterizou a precipitação mensal, em período seco e chuvoso, sendo período chuvoso os meses com de 100 mm.mês<sup>-1</sup> de pluviosidade (dezembro e junho) e período seco os meses com menos de 100 mm.mês<sup>-1</sup> (julho a novembro), conforme Figura 4, abaixo (INMET, 2001).



**Figura 4:** Precipitação na região de Santarém no período histórico de 1961 a 2010, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012)

### 3.2.3. Balanço hídrico

Analisando-se o balanço hídrico em uma série histórica, compreendida entre os anos de 1967 a 1990 mostra que a região apresenta déficit de água no solo, para os meses de julho a dezembro, enquanto que nos meses de janeiro a junho, há um excedente de água no solo, conforme Figura 5 (INMET, 2001).



**Figura 5:** Balanço hídrico da região de Santarém no período histórico de 1967 a 1990, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2001)

### 3.2.4. Solo

Foi realizada análise de solo da área onde foi implantada o experimento, em Abril de 2011, de 0 a 20 cm de profundidade, e demonstrado seus resultados na Tabela 1, abaixo (Método Embrapa, 2008):

**Tabela 1** – Características físico - hídricas e químicas do solo utilizado no experimento. Análise realizada no Laboratório de Análise Agronômica e Ambiental (FULLIN), no mês de abril de 2011.

Características avaliadas Classificação textural	Valor	Classificação Muita baixo / baixo / médio / alto / muito alto
Fósforo-resina mg/dm <sup>3</sup>	8	Baixo
Potássio mmol <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	0,6	Baixo
Enxofre mg/dm <sup>3</sup>	11	Alto
Cálcio mmol <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	11	Alto
Magnésio mmol <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	3	Baixo
Alumínio mmol <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	14	Alto
H + Al mmol <sub>0</sub> /dm <sup>3</sup>	29	Médio
pH em CaCl <sub>2</sub>	4,2	Muito Alto
Matéria Orgânica g/dm <sup>3</sup>	24	Médio
Ferro mg/dm <sup>3</sup>	88	Muito Alto
Zinco mg/dm <sup>3</sup>	0,6	Baixo
Cobre mg/dm <sup>3</sup>	0,7	Médio
Manganês mg/dm <sup>3</sup>	3,4	Médio
Boro mg/dm <sup>3</sup>	0,33	Médio
Relação Ca/Mg	3,7	Ideal 4:1
Relação Ca/K	18,3	Ideal 15:1
Relação Mg/K	5	Ideal 15:1
Soma de bases (SB) mg/dm <sup>3</sup>	14,1	Muito baixo
CTC efetiva (t) mg/dm <sup>3</sup>	28,1	Médio
CTC a pH 7,0 (T) mg/dm <sup>3</sup>	43,1	Baixo
Saturação de alumínio (m) %	49,8	Alto
Saturação de bases (V) %	32,7	Baixo

### 3.2.5. Histórico da Fazenda Curauá

Em entrevista com vizinhos da Fazenda Curauá, verificou-se que a mesma foi utilizada durante as décadas de 80 e 90 para criação de gado bovino, com formação de pastagens, com predominância de capim braquiário (*Braquiara Brizantha*).

Passados cerca de 20 anos de utilização para atividade pecuária e quando o solo já se encontrava degradado, principalmente pelo pisoteamento dos animais bovinos, a Fazenda foi comercializada.

### 3.2.6. Histórico do plantio de pau-rosa

O plantio de pau-rosa foi realizado em janeiro de 2007 e março de 2008, num total de 2.000 mudas provenientes da Reserva Extrativista Adolpho Ducke, localizada no Estado do Amazonas e foram plantadas em janeiro de 2007 e março 2008 (Barata, 2010).

Em pesquisa com os funcionários da Fazenda Curauá, constatou-se que, para a região de Santarém a época mais indicada para o plantio é invariavelmente o mês de Janeiro de cada ano, data que coincide com o início das chuvas, fato não observado para o plantio de pau-rosa no ano de 2008.

As mudas foram transportadas dentro de caixa de isopores sem substrato no traslado Manaus-Santarém, havendo o remanejamento 24h depois na Fazenda Curaua, para sacos plásticos com composto orgânico, onde as mudas permaneceram cerca de 30 dias até serem plantadas (Barata, 2010).

Para o plantio das mudas, foram abertas covas com dimensão de 30x30x30 cm, tendo sido utilizado “cama de frango” curado como adubação orgânica, um mês antes do plantio, com proporção de 3:2:1 (terra preta/areia/cama de frango). O espaçamento utilizado foi de 2,5 x 6,0 m. O plantio foi consorciado com Curauá (*Ananas erectifolius*), o qual foi plantado no espaçamento de 1,0x1,0 m, tendo sido plantado 25 mil mudas de Curauá/hectare (Barata, 2010).

No ano de 2009 o plantio foi afetado por uma grande seca ocorrida na região em 2009, além do abandono do plantio, visto que não foram realizados os tratamentos culturais necessários (Barata, 2010).

No mês de Novembro de 2010, foi realizado contagem das plantas remanescentes, onde foi constatado que 7,8 % das plantas plantadas permaneciam vivas, ou seja, 156 indivíduos.

Desde então o plantio de pau-rosa vem sendo monitorado a fim de investigação do desenvolvimento do plantio, na região de Santarém, Pará.

### **3.3.Experimento**

Efeito de diferentes níveis de sombreamento em plantas jovens de pau-rosa: foram selecionadas 32 plantas do plantio de pau-rosa da Fazenda Pematec Triangel, que receberam quatro níveis de sombreamento, conforme a seguir: **T1**: sombreamento de oito plantas, com Sombrite® de 70%; com exposição de 30% a irradiação solar; **T2**: sombreamento de oito plantas, com Sombrite® de 50%; com exposição de 50% a irradiação solar; **T3**: sombreamento de oito plantas, com Sombrite® de 30%; com exposição de 70% a irradiação solar e **T4**: Testemunha, pleno sol.

#### **3.3.1. Avaliações realizadas**

Para estudar os efeitos dos tratamentos sobre o plantio juvenil de pau-rosa, foram realizadas as seguintes avaliações mensais: Altura e diâmetro das plantas juvenis de pau-rosa; Avaliações com clorofilômetro (Spad-502); Fluorescência da clorofila *a*; Teor de óleo essencial em plantas juvenis de pau-rosa; Comparação entre o peso seco nos diferentes tratamentos.

Para analisar o rendimento do óleo produzido pelas plantas jovens de pau-rosa cultivados sob diferentes níveis de sombreamento, foi realizado no final do experimento, extração do óleo utilizando o Método de Clevenger.

Foi quantificada a massa verde total e comparada com o rendimento do óleo essencial das plantas juvenis de pau-rosa.

##### **3.3.1.1.Diâmetro e altura**

Foram realizadas medições mensais da altura e do diâmetro de 30 cm altura das plantas e no final do experimento quantificado as folhas de duas plantas de cada tratamento, a fim de comparação com teor de óleo extraído das folhas de plantas jovens de pau-rosa.

### 3.3.1.2. Determinação dos teores dos pigmentos cloroplastídicos

O teor relativo de clorofila foi obtido, mensalmente, usando um clorofilômetro (SPAD-502, Minolta, Osaka, Japão), enquanto que os teores absolutos de clorofila foram obtidos no final do experimento, através de análise em laboratório. Foram selecionadas folhas com diferentes graus de esverdeamento, no intuito de se obter um gradiente, de 0 a 100, nos teores de clorofila. Para tanto, foram selecionadas folhas em diferentes estádios de desenvolvimento, ou seja, desde muito novas (com baixa concentração de clorofila) até maduras e completamente expandidas, com alto teor de clorofila.

As leituras com o SPAD-502 foram feitas em quatro pontos da nervura central da folha, na face adaxial da folha. Para validar as análises mensais, foi realizada no mês de Janeiro de 2012 uma nova leitura SPAD-502, sendo que as folhas após as leituras foram destacadas e colocadas em isopor contendo gelo a fim de evitar a desidratação e mantendo alto grau de hidratação para análise em laboratório.

Para determinar o teor de clorofilas *a*, *b* e *total* foram pesadas 0,5 g de massa fresca de folhas, sendo posteriormente macerado em 7mL de acetona 80%, sendo posteriormente filtrado, completado o volume filtrado para 20mL. O sobrenadante foi retirado e, assim, foram feitas as leituras nas observâncias a 663nm e 647nm, para clorofila a e b, respectivamente, procedendo-se os seguintes cálculos para determinar o teor das clorofilas, conforme (Lichtenthaler, 1987):

$$\text{Clorofilas a (ug.gMF}^{-1}\text{)} = ((12,25 \times A_{663\text{nm}}) - (2,79 \times A_{647\text{nm}})) \times V;$$

$$\text{Clorofilas b (ug.gMF}^{-1}\text{)} = ((21,50 \times A_{647\text{nm}}) - (5,10 \times A_{663\text{nm}})) \times V;$$

$$\text{Clorofilas a+b (ug.gMF}^{-1}\text{)} = (7,15 \times A_{663\text{nm}}) + (18,71 \times A_{647\text{nm}}) \times V;$$

### 3.3.1.3. Fluorescência

A eficiência fotoquímica do fotossistema II foi avaliada, mensalmente, utilizando-se um fluorômetro PEA “Plant Efficiency Analyser, Hansatech, Norkfolk, UK”. Antes das medições, os folíolos foram submetidos ao escuro por 30 minutos com auxílio de cliques foliares. Foram analisados os seguintes parâmetros: fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ) e fluorescência variável ( $F_v$ ) e a **eficiência fotoquímica do fotossistema II** ( $F_v/F_m$ ).

#### 3.3.1.4.Extração do óleo essencial

Coleta de folhas: Foram realizados no mês de janeiro de 2012, no período da manhã, em dias bem iluminados.

Das 32 plantas em estudo, divididas em 4 tratamentos, onde foram coletadas cerca de 100 folhas de cada tratamento. As extrações foram realizadas a fim de verificar-se a variação no rendimento, em função dos diferentes tratamentos.

As folhas das árvores matrizes foram coletadas entre 8h e 9h em sacos de sarrapilhas e identificados de acordo com o tratamento. Após a coleta, as folhas foram armazenadas e mantidas em temperatura ambiente por dois dias. Em seguida, as folhas foram cortadas para a extração.

O óleo essencial das folhas foi extraído pelo método de hidrodestilação (Ming *et al.*, 1996) em duplicata e/ou triplicata no aparelho de Clevenger (Figura 06). A biomassa utilizada variou entre 40-100g. A proporção de água destilada para a extração variou de 1/10 até 1/35 p/v. Antes do início da operação de destilação, o extrator é aferido com água destilada, através do tubo de retorno, com o objetivo de manter o sistema operando dentro de equilíbrio hidrodinâmico. Em seguida, é ligada a manta aquecedora, regulada à temperatura de ebulição da água e mistura com a biomassa, dando início ao processo de extração de óleo essencial. Após 3 horas de extração o aparelho é desligado.

A leitura do volume de óleo essencial extraído é feita em proveta. Em seguida, o óleo é pipetado para um frasco âmbar de 5ml, com tampa e batoque, e armazenado em lugar fresco e sem incidência direta de luz.





**Figura 6:** Aparelho de Clevenger

### 3.3.1.5. Rendimento do óleo essencial

O rendimento do óleo essencial extraído das folhas foi calculado com base na matéria seca ou base livre de umidade (BLU). Esse método é padronizado e pode ser repetido a qualquer momento, sem que haja desvios significativos.

De acordo com Santos (1998), no cálculo do rendimento de extração de óleo essencial, é necessário conhecer o teor de umidade da biomassa. Isto é possível através do método BLU que emprega a seguinte equação:

$$T_o = \frac{V_o}{B_m - \frac{B_m \times U}{100}} \times 100$$

onde,

$T_o$  = teor de óleo (ml de óleo essencial em 100g de massa seca) ou rendimento de extração em porcentagem.

$V_o$  = volume de óleo extraído (ml), lido diretamente do tubo separador.

$B_m$  = biomassa vegetal medida em gramas.

$\frac{B_m \times U}{100}$  = quantidade de umidade ou água presente na biomassa.

$B_m - \frac{B_m \times U}{100}$  = quantidade de biomassa seca isenta de água ou livre de umidade.

100 = fator de conversão para porcentagem.

### 3.3.1. Desenho experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados (DBC) em parcelas subdivididas no tempo (“*Split plot*”) (Ferreira, 1991), sendo amostradas oito plantas, cada planta uma repetição, em cada um dos quatro tratamentos (sombreamento a 30%, sombreamento a 50%, sombreamento a 70% e pleno sol) em seis diferentes meses, para análise da fluorescência clorofila *a* e índice relativo de clorofila, respectivamente. Os dados das variáveis de crescimento, fotossíntese líquida, teores de nutrientes foliares e eficiência no uso de nutrientes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em conformidade com a Tabela 2, por meio do programa estatístico Assistat. Em seguida, foi aplicado o teste de T ( $p \leq 0,05$ ) para comparação das médias dos tratamentos.

**Tabela 2** - Cálculo da análise de variância para o experimento em parcelas subdivididas no tempo (*Split plot*) (Ferreira, 1991), sendo amostradas oito plantas cada uma repetição em cada um dos quatro tratamentos.

<b>Causa da variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
<b>Tempo (bloco)</b>	r-1	SQ Blocos	-	-
<b>Sombreamento (Tratamentos)</b>	TA-1	SQ Tratamentos A	QM Tratamentos A	QM Trat. A/QM Res.(a)
<b>Resíduo</b>	(TA-1) (r-1)	SQ Resíduos (a)	QM Resíduos (a)	
<b>Parcelas</b>	tA r-1	SQ Parcelas		
<b>Tempo</b>	Tb-1	SQ Tratamentos B	QM Tratamentos B	QM Trat. B/QM Res.(b)
<b>Trat x Tempo</b>	(tA-1) (tB-1)	SQ Interação (AxB)	QM Interação (AxB)	QM Interação (Axb)/QM Res. (b)
<b>Resíduo</b>	tA (tB-1) (r-1)	SQ Resíduo (b)	QM (Resíduo (b))	
<b>Total</b>	tAtBr-1	SQ Total		

GL – graus de liberdade; SQ – soma dos quadrados; QM – quadrado médio;

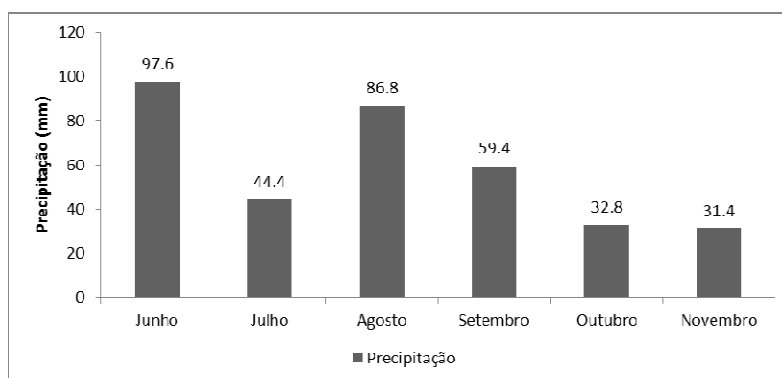
Para correlacionar os valores Spad e os valores da clorofila extraídos em laboratório, utilizou-se a Correlação de Pearson, através do programa Biostat.

Quando a ANOVA determinou recusa de H0 foi aplicado o teste de Tuckey diferença mínima entre médias (DMS) dos tratamentos para separar os tratamentos estatisticamente diferentes.

## 4. RESULTADOS

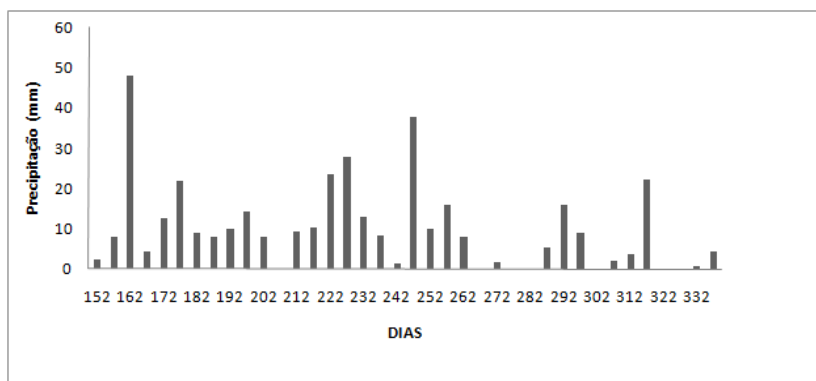
### 4.1. Precipitação

A precipitação variou entre 31,4 mm para o mês de novembro a 97,6 mm para o mês de junho de 2011, sendo que o intervalo compreendido entre os meses de outubro e novembro caracterizou-se como o mais seco, com precipitação de 64,2 mm no período de 60 dias, conforme Figura 7.



**Figura 7:** Distribuição da precipitação no período de junho a Novembro de 2011, para a região de Mojuí dos Campos.

A precipitação diária variou consideravelmente, contudo, apresenta período com baixa precipitação bem definido para o ano de 2011, compreendido entre os dias 262 a 284; entre os dias 296 a 312 e entre os dias 314 a 334, conforme Figura 8.



**Figura 8:** Distribuição da precipitação, acumulada de cinco em cinco dias para o período de junho a novembro de 2011, para a região de Mojuí dos Campos. Setas indicam a data das coletas em campo.

## **4.2.Caracterização do solo**

Foi realizada análise de solo da área onde foi implantado o experimento, sendo que os elementos fósforo, potássio, magnésio, zinco, além da capacidade de troca de cátions e a saturação de bases, apresentaram valores considerados baixos para o tipo de solo. Os elementos cobre, manganês e boro, apresentaram valores considerados médios. Já os elementos enxofre, cálcio, alumínio, Ferro, além da saturação em alumínio, apresentaram valores considerados altos ou muitos altos.

## **4.3.Crescimento**

### **4.3.1. Em altura**

A análise do crescimento em alturas das plantas jovens de pau-rosa (*A. rosaeodora*) durante os meses do experimento apresentaram diferenças tanto entre tratamentos, quanto de forma temporal, conforme Tabela 3, abaixo.

Na análise do crescimento em altura, entre os tratamentos, demonstrou que os melhores tratamentos foram T1 e T2, que cumulativamente, começam a se destacar dos demais a partir do mês de Agosto, culminando com superioridade não significativa para T3 nos meses subsequentes e superioridade significativa para T4, que apresentou cumulativamente piores resultados a partir de outubro.

Quando a análise foi feita temporalmente as plantas submetidas a T1, variaram significativamente entre os meses de novembro (maior crescimento) e todos os outros meses do experimento. T2 também apresentou diferenças significativas, sendo que o melhor mês foi o de Novembro, que apresentou resultados estatisticamente semelhante ao mês de Julho e superior aos meses de junho, setembro e outubro, que foram melhores que o mês de agosto, pior resultado entre os tratamentos.

**Tabela 3:** Crescimento em altura (m):. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para os meses do experimento.

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	0,05 <sup>aD</sup>	0,14 <sup>aC</sup>	0,24 <sup>aB</sup>	0,27 <sup>aB</sup>	0,30 <sup>Ab</sup>	0,37 <sup>aA</sup>
T2	0,08 <sup>aC</sup>	0,14 <sup>aC</sup>	0,24 <sup>aB</sup>	0,27 <sup>aB</sup>	0,29 <sup>Ab</sup>	0,37 <sup>aA</sup>
T3	0,07 <sup>aD</sup>	0,13 <sup>aCD</sup>	0,20 <sup>aBC</sup>	0,22 <sup>aB</sup>	0,24 <sup>abAB</sup>	0,31 <sup>abA</sup>
T4	0,06 <sup>aC</sup>	0,12 <sup>aBC</sup>	0,15 <sup>aAB</sup>	0,16 <sup>aAB</sup>	0,17 <sup>Bab</sup>	0,22 <sup>bA</sup>

#### 4.3.2. Em diâmetro

A análise de crescimento dos diâmetros das plantas jovens de pau-rosa durante os meses do experimento apresentaram diferenças tanto entre tratamentos, quanto de forma temporal, conforme Tabela 4, abaixo.

Na análise do crescimento em diâmetro, entre os tratamentos, demonstrou que os melhores tratamentos foram T1 e T2, que cumulativamente, começam a se destacar dos demais a partir do mês de agosto, culminando com superioridade não significativa para T3 nos meses subsequentes e superioridade significativa para T4 no mês de novembro, que apresentam os piores resultados.

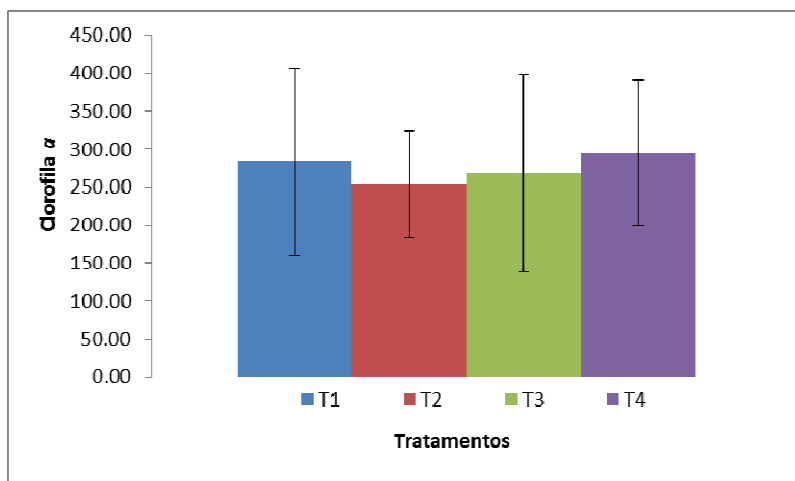
Quando a análise foi feita temporalmente as plantas submetidas a T1 variaram significativamente entre os meses de novembro (maior crescimento) e os meses de agosto e setembro. T2, T3 e T4, não apresentaram variaram temporal durante o experimento.

**Tabela 4:** Crescimento em diâmetro (mm). Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para os meses do experimento.

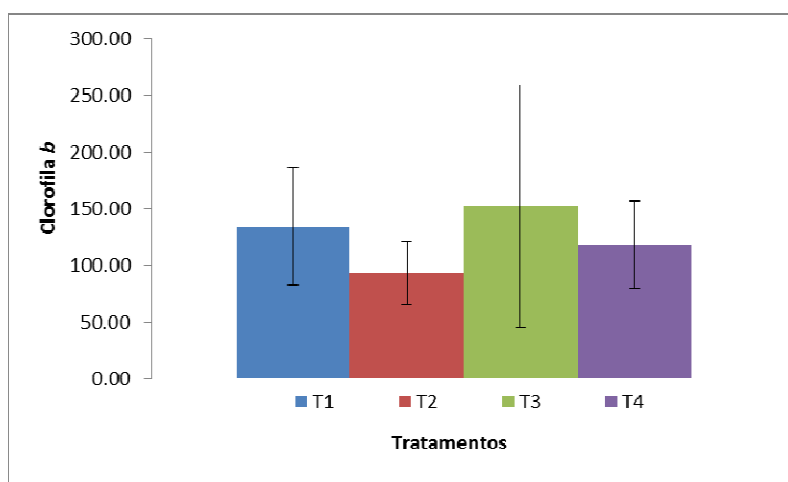
Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	0,38 <sup>aD</sup>	1,00 <sup>aCD</sup>	1,18 <sup>aC</sup>	1,84 <sup>aBC</sup>	1,96 <sup>aB</sup>	2,91 <sup>aA</sup>
T2	0,37 <sup>aD</sup>	1,24 <sup>aC</sup>	1,48 <sup>aBC</sup>	1,82 <sup>aBC</sup>	2,04 <sup>aB</sup>	2,89 <sup>aA</sup>
T3	0,57 <sup>aD</sup>	0,96 <sup>aCD</sup>	1,12 <sup>aBCD</sup>	1,45 <sup>aBC</sup>	1,71 <sup>aAB</sup>	2,42 <sup>abA</sup>
T4	0,22 <sup>aD</sup>	0,52 <sup>aCD</sup>	0,69 <sup>aBCD</sup>	1,25 <sup>aABC</sup>	1,37 <sup>aAB</sup>	1,65 <sup>bA</sup>

#### 4.4. Clorofilas

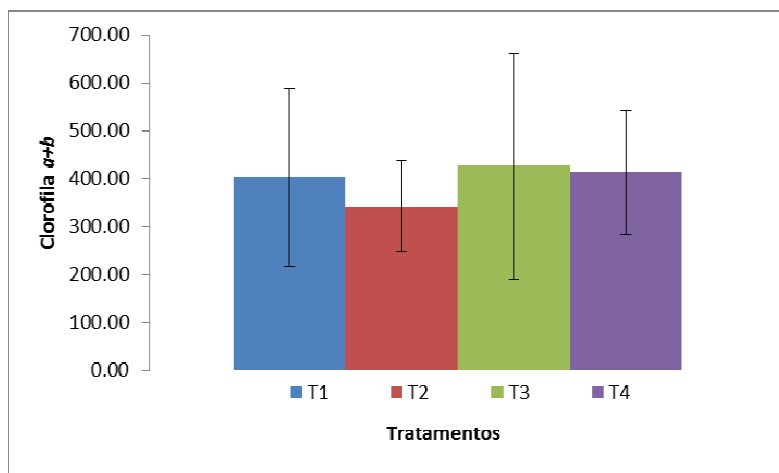
A quantidade de clorofilas  $a$ ,  $b$  e  $a+b$  e a relação clorofila  $a$ ,  $b$  e  $a+b$ , das plantas jovens de pau-rosa apresentaram padrão similar quando submetidas aos diferentes níveis de sombreamento, conforme Figuras 9, 10, 11 e 12, respectivamente.



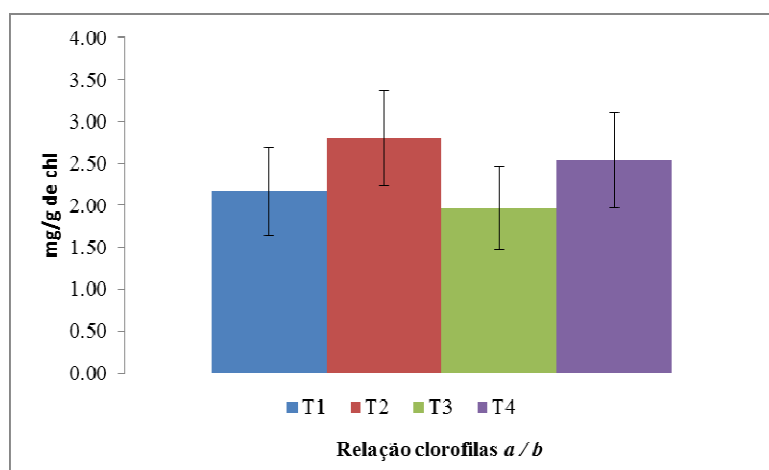
**Figura 9:** Clorofila  $a$ :. Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila  $a$  absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol,  $n = 32$ ).



**Figura 10:** Clorofila  $b$ :. Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila  $b$  absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol,  $n = 32$ ).



**Figura 11:** Clorofila *a+b*: Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *a+b* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32).



**Figura 12:** Relação clorofila *a/b*: Valores médios e desvios padrão dos teores de clorofila *a/b* absolutos de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32).

#### 4.4.1. Spad (Clorofilometro)

A análise dos valores Spad das plantas jovens de pau-rosa durante os meses do experimento apresentaram diferenças tanto entre tratamentos, quanto temporalmente, conforme Tabela 5, abaixo:.

Na análise dos valores Spad, entre os tratamentos, demonstrou certa similaridade nos meses do experimento, com pequenas variações pontuais.

Quando a análise foi feita temporalmente as plantas submetidas a T1 variaram significativamente do mês agosto para os meses de junho, setembro, outubro e novembro.



A análise das plantas submetidas a T2 variaram significativamente dos meses de setembro e outubro para o mês de junho. Para as plantas submetidas a sombreamento de T3, não foram encontradas diferenças significativas. Já as plantas submetidas ao T4, houve diferença significativa do mês de novembro para o mês de outubro.

**Tabela 5:** Uso do espectrofotômetro  $\therefore$  Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6).

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	38,18 <sup>abB</sup>	39,85 <sup>aA</sup>	50,07 <sup>aA</sup>	33,44 <sup>bB</sup>	31,31 <sup>abB</sup>	34,54 <sup>aB</sup>
T2	28,32 <sup>bB</sup>	37,23 <sup>aA</sup>	36,36 <sup>bA</sup>	45,70 <sup>aA</sup>	40,13 <sup>aA</sup>	35,16 <sup>aAB</sup>
T3	42,49 <sup>aA</sup>	39,50 <sup>aA</sup>	35,11 <sup>bA</sup>	32,92 <sup>bA</sup>	39,90 <sup>aA</sup>	37,61 <sup>aA</sup>
T4	35,61 <sup>abAB</sup>	35,62 <sup>aA</sup>	36,30 <sup>bA</sup>	33,04 <sup>bB</sup>	28,69 <sup>bB</sup>	41,24 <sup>aA</sup>

#### 4.4.2. Correlação entre valores absolutos de clorofila x valores relativos

A correlação entre os valores Spad e as clorofilas *a*, *b* e *total*, apresentaram-se bem distintas para os diferentes tratamentos, sendo que à medida que se aumentou o nível de sombreamento menor foi a correlação. Sendo que a maior correlação ocorreu para as plantas submetidas a T3 e a menor correlação ocorreu para as plantas submetidas a T1, conforme Tabela 6.

**Tabela 6:** Coeficiente de Correlação de Pearson $\therefore$ . Entre os teores relativos de clorofila (clorofilometro) e os valores absolutos das clorofilas *a*, *b* e *a+b* de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32).

	T1 (r)	T2 (r)	T3 (r)	T4 (r)
Spad x clorofila <i>a</i>	0,00	0,09	0,77	0,22
Spad x clorofila <i>b</i>	0,00	0,00	0,66	0,50
Spad x clorofila	0,00	0,06	0,74	0,53
<i>Total</i>				

## 4.5. Fluorescência da clorofila *a*

### 4.5.1. Fluorescência inicial ( $F_0$ )

A fluorescência inicial,  $F_0$ , das plantas jovens de pau-rosa não apresentaram diferenças significativas quando a análise foi feita entre os tratamentos, mas, apresentou diferenças nas análises temporais, conforme Tabela 7, abaixo.

Na análise da fluorescência inicial, entre os tratamentos, demonstrou que apesar de não apresentar diferenças significativas, os melhores resultados foram alcançados por T1 e T3 que tiveram menor oscilação no decorrer do experimento. Já T4, além de ser o pior em termos de valores, apresentou também considerável variação.

Na análise temporal, T1, apresentou diferenças do mês de outubro para os meses de julho e novembro. Em T2, as diferenças foram dos meses de junho e outubro para os meses de julho e novembro. T3, não apresentou diferenças significativas temporalmente. Já em T4, a diferença foi do mês de junho para os meses de julho, agosto e novembro.

**Tabela 7:** Fluorescência inicial ( $F_0$ ):. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para análise entre os meses do experimento.

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	577,75 <sup>aAB</sup>	498,00 <sup>aB</sup>	561,25 <sup>aAB</sup>	570,87 <sup>aAB</sup>	644,25 <sup>aA</sup>	471,75 <sup>aB</sup>
T2	600,50 <sup>aA</sup>	473,00 <sup>aB</sup>	495,62 <sup>aAB</sup>	529,12 <sup>aAB</sup>	596,00 <sup>aA</sup>	469,87 <sup>aB</sup>
T3	601,75 <sup>aA</sup>	507,75 <sup>aA</sup>	524,50 <sup>aA</sup>	560,00 <sup>aA</sup>	610,37 <sup>aA</sup>	509,37 <sup>aA</sup>
T4	631,62 <sup>aA</sup>	445,12 <sup>aC</sup>	479,75 <sup>aBC</sup>	575,50 <sup>aAB</sup>	545,62 <sup>aABC</sup>	433,75 <sup>aC</sup>

### 4.5.2. Fluorescência máxima ( $F_m$ )

Analisando os valores apresentados na Tabela 8, observa-se que a fluorescência máxima ( $F_m$ ), das plantas jovens de pau-rosa apresentaram diferentes valores em razão da indução dos tratamentos e foi verificado ainda que no decorrer dos meses de avaliação as plantas responderam distintamente dentro de cada tratamento.

Os tratamentos T1 e T2 demonstraram os maiores valores durante todo o período experimental, na análise da fluorescência máxima, enquanto T3 e T4 apresentaram os resultados com menores valores durante todo o experimento.

Na avaliação temporal dos tratamentos com base nos valores obtidos de Fm, verifica-se que os tratamentos T1, T2 e T3, mantiveram seus valores constantes ao longo do período experimental, enquanto o T4 apresentou o maior valor no mês de setembro e o menor no mês de outubro, sendo estes dois meses distintos entre si, e ambos semelhantes aos demais meses de avaliação.

**Tabela 8:** Fluorescência máxima (Fm): Interação entre os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para análise entre os meses do experimento.

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	2269,12 <sup>aA</sup>	2262,25 <sup>aA</sup>	2025,62 <sup>abA</sup>	2396,00 <sup>aA</sup>	2245,75 <sup>aA</sup>	2151,37 <sup>aA</sup>
T2	2018,37 <sup>abA</sup>	1880,62 <sup>abA</sup>	2065,75 <sup>aA</sup>	2068,37 <sup>abA</sup>	1941,62 <sup>abA</sup>	2033,25 <sup>abA</sup>
T3	1655,50 <sup>bA</sup>	1649,87 <sup>bA</sup>	1825,50 <sup>abA</sup>	1795,12 <sup>bA</sup>	1409,50 <sup>bcA</sup>	1835,00 <sup>abA</sup>
T4	1660,50 <sup>bAB</sup>	1615,37 <sup>bAB</sup>	1513,75 <sup>bAB</sup>	1768,12 <sup>bA</sup>	1205,00 <sup>cB</sup>	1595,12 <sup>bAB</sup>

#### 4.5.3. Fluorescência variável (Fv)

As respostas das plantas jovens de pau-rosa, a fluorescência variável (Fv) foram diferentes entre níveis de sombreamento, ao longo dos meses de avaliação cada tratamento apresentou variadas, conforme observado na Tabela 9.

Na análise da fluorescência variável, Fv, entre os tratamentos, demonstrou que T1 e T2, foram os melhores tratamentos durante todo o experimento e que T3 e T4 apresentaram os piores resultados durante todo o experimento.

Na análise temporal do experimento, verificou-se que tanto T1 e T2 não apresentaram diferenças significativas durante os meses. Em T3, apresentou variação na comparação dos resultados de novembro e outubro. Para T4 a variação ocorreu do mês de Setembro para o mês de outubro.

**Tabela 9:** Fluorescência variável (Fv):. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para análise entre os meses do experimento.

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	1691,37 <sup>aA</sup>	1764,37 <sup>aA</sup>	1464,37 <sup>abA</sup>	1825,12 <sup>aA</sup>	1601,50 <sup>aA</sup>	1678,37 <sup>aA</sup>
T2	1417,87 <sup>abA</sup>	1407,62 <sup>abA</sup>	1570,25 <sup>aA</sup>	1539,25 <sup>abA</sup>	1345,62 <sup>aA</sup>	1563,37 <sup>abA</sup>
T3	1053,75 <sup>bAB</sup>	1142,12 <sup>bAB</sup>	1301,0 <sup>abAB</sup>	1235,37 <sup>bAB</sup>	799,12 <sup>bB</sup>	1325,62 <sup>abA</sup>
T4	1028,87 <sup>bAB</sup>	1170,25 <sup>bAB</sup>	1034,00 <sup>bAB</sup>	1192,81 <sup>bA</sup>	659,37 <sup>bB</sup>	1161,25 <sup>bAB</sup>

#### 4.5.4. Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm)

A eficiência quântica do fotossistema II, Fv/Fm, das plantas jovens de pau-rosa apresentaram diferenças significativas tanto entre tratamentos, quanto temporalmente, conforme Tabela 10, abaixo.

Na análise de Fv/Fm, entre os tratamentos, demonstrou que T1 e T2, foram os melhores tratamentos durante todo o experimento e que T3 e T4 apresentaram os piores resultados.

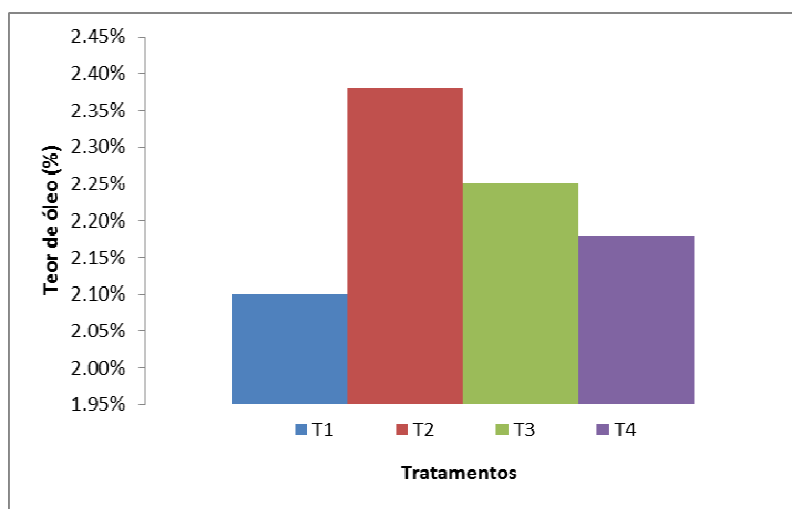
Na análise tendo como referencia a temporariedade, tanto T1 quanto T2 não apresentaram diferenças significativas durante o experimento. Já em T3, o mês de Outubro (menores valores) apresentarem diferenças a todos os meses do experimento, exceto o mês de Julho que apresentou desempenho semelhante estatisticamente. Em T4 as diferenças significativas foram do mês de setembro e novembro para o mês de outubro.

**Tabela 10:** Eficiência quântica do fotossistema II (Fv-Fm):. Interação ente os tratamentos e meses de experimento, de plantas jovens de pau-rosa sob diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32x6). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Letras minúsculas, para análise entre tratamentos; Letras maiúsculas, para análise entre os meses do experimento.

Tratamento	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
T1	0,742 <sup>aA</sup>	0,779 <sup>aA</sup>	0,703 <sup>abA</sup>	0,761 <sup>aA</sup>	0,712 <sup>Aa</sup>	0,779 <sup>aA</sup>
T2	0,696 <sup>abA</sup>	0,738 <sup>aA</sup>	0,758 <sup>aA</sup>	0,712 <sup>aA</sup>	0,682 <sup>Aa</sup>	0,771 <sup>aA</sup>
T3	0,590 <sup>bAB</sup>	0,654 <sup>aA</sup>	0,689 <sup>abA</sup>	0,667 <sup>aA</sup>	0,516 <sup>bB</sup>	0,704 <sup>aA</sup>
T4	0,611 <sup>abAB</sup>	0,650 <sup>aAB</sup>	0,585 <sup>bAB</sup>	0,679 <sup>aA</sup>	0,535 <sup>bB</sup>	0,719 <sup>aA</sup>

#### 4.6. Efeito do sombreamento na produtividade de óleo essencial de pau-rosa

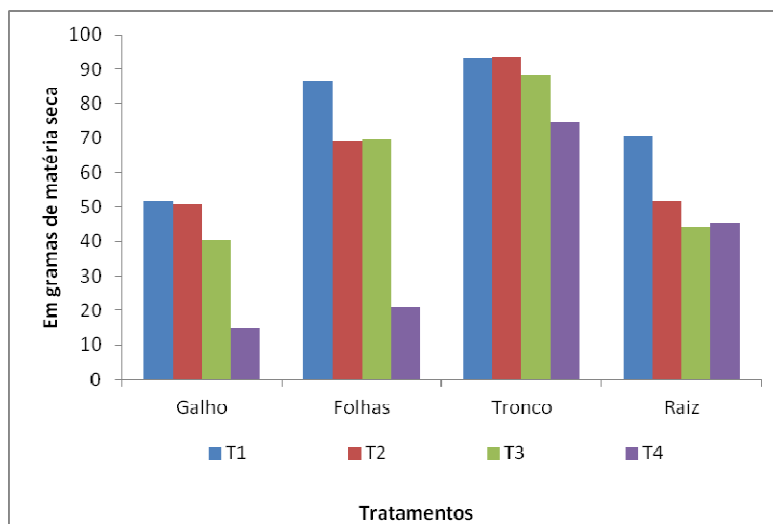
O teor de óleo essencial produzido pelas plantas jovens de pau-rosa apresentou os maiores valores quando submetidas a T2. O teor foi menor para as plantas submetidas à T1. Observou-se que a diferença de T1 para T2 foi 5,77%; de 6,72% para T3; de 9,17% para T4 e 13,33% maior para T1, conforme Figura 13, abaixo, dessa forma podemos concluir que T2 respondeu melhor quanto ao quesito teor de óleo, mas com pequena diferença com os demais tratamentos.



**Figura 13:** Teor de óleo essencial de plantas jovens de pau-rosa, submetidas à diferentes tratamentos de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 30% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32).

#### 4.7. Produtividade da matéria seca de galhos, folhas, tronco e raízes de pau-rosa

A massa seca de galhos, folhas, tronco e raízes apresentaram os maiores valores em T1, sendo que os maiores valores foram de tronco, folhas, raízes e galhos, respectivamente. Repetição da distribuição dos valores aconteceu em T2 e T3, segundo e terceiro melhores tratamentos. Quando foi feito esta análise em T4 (pior) resultado, a distribuição de biomassa foi em tronco, raiz, folhas e galhos.



**Figura 14:** Massa seca de galhos, folhas, tronco e raiz de plantas jovens pau-rosa, submetidas à diferentes níveis de sombreamento durante o período analisado (T1 = 70% de sombreamento, T2 = 50% de sombreamento, T3: 70% de sombreamento e T4 = pleno sol, n = 32).

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Crescimento em Altura

A análise das alturas das plantas jovens de pau-rosa (*A. rosaeodora*) durante os meses do experimento apresentaram diferenças tanto entre tratamentos, quanto de forma temporal. Onde T1 e T2 foram apresentaram os melhores resultados, sendo que cumulativamente apresentaram-se estatisticamente superiores a T4 (piores resultados) a partir do mês de outubro.

Resultados diferentes foram encontrados Barbosa (1990), que não encontrou diferenças entre as médias de altura das mudas de caroba (*Jaracanda copaia*), cultivadas a pleno sol e com 30%, 50% e 70% de sombreamento.

Da mesma forma, os níveis de sombreamento não influenciaram o crescimento em altura de mudas de cedrorana (*Cedrelina catenaeformis*) (Farias *et al.*, 1997). Contudo, neste mesmo experimento, os autores constataram que cumaru (*Dipteryx odorata*) parece estar melhor adaptada a condições de pleno solo. Em experimento com angelim-vermelho (*Dinizia excelsa*) apresentou melhor desenvolvimento quando exposta a 30% de sombreamento (Varela e Santos, 1992). Resultado semelhante foi encontrado por Campos e Uchida (2002), onde tratamento a 30% de sombreamento favoreceu o crescimento de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus*) e jatobá (*Hymenea courbaril*) no crescimento em altura.

Resultados semelhantes foram encontrados em estudo com Jacareúba (*Calophyllum angulare*) que apresentou maior desenvolvimento em altura sob 70% de sombra (Muroya *et al.*, 1997), neste mesmo experimento, constatou-se que cumaru cresce melhor a pleno sol, na fase de viveiro, sendo que o excesso de sombra (70% de sombreamento) prejudicou o crescimento das mudas. Campos e Uchida (2002), encontraram diferenças significativas entre as médias de altura das mudas de (*Jaracanda copaia*), cultivadas sob diferentes níveis de sombreamento, sendo que os maiores valores foram obtidos em 70% e 50% de sombreamento.

## 5.2. Crescimento em diâmetro

A análise dos diâmetros das plantas jovens de pau-rosa (*A. rosaeodora*) durante os meses do experimento apresentaram diferenças tanto entre tratamentos, quanto de forma temporal. Onde T1 e T2 foram apresentaram os melhores tratamentos, sendo que cumulativamente apresentaram-se estatisticamente superiores a T4 (piores resultados) no mês de novembro.

Resultados diferentes foram encontrados por Campos e Uchida (2002), que não encontraram diferenças significativas entre as médias de diâmetro das mudas de caroba (*Jaracanda copaia*), cultivadas sob diferentes níveis de sombreamento.

Já Varela e Santos, (1992), em experimento com angelim-vermelho (*Dinizia excelsa*), constataram que o melhor desenvolvimento aconteceu quando a planta foi exposta a 30% de sombreamento. Resultado semelhante foi encontrado por Campos e Uchida (2002), onde tratamento a 30% de sombreamento favoreceu o crescimento de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus*) e jatobá (*Hymenea courbaril*) no crescimento em diâmetro. Já Gonçalves *et al.*, (2005) em experimento com plantas juvenis de pau-rosa, concluíram que as plantas tiveram melhores resultados quando submetidas a condições intermediárias de sombreamento.

## 5.3. Clorofilas

A quantidade de clorofilas *a*, *b* e *Total*, das plantas jovens de pau-rosa apresentaram padrão similar quando submetidas aos níveis de sombreamento, demonstrando que o sombreamento não modificou espacialmente o conteúdo dos pigmentos fotossintetizantes observados neste estudo. Resultados semelhantes foram encontrados por Engel e Poggiani (1991), trabalhando com mudas cerejeira (*Amburana cearensis*), ipe-felpudo (*Zeyhera tuberculosa*), ipê-roxo (*Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Grisebach) e suinã (*Erythrina speciosa* Andr.), constataram que as plantas estudadas demonstraram padrão similar para as clorofilas *a*, *b* e *total*.

Dessa forma, verifica-se que a modulação da espécie estudada apresenta baixa capacidade para alterar seus fotossistemas em termos de quantidade de pigmentos em função de gradientes de luz e de composição relativa de clorofila *a* e *b*. Indicando neste caso uma baixa plasticidade desta característica.



### 5.3.1. Spad (Clorofilometro) e correlação entre valores absolutos de clorofila x valores relativos

Já a correlação entre os valores Spad e as clorofilas *a*, *b* e *total*, apresentaram-se bem distintas para os diferentes tratamentos, sendo que à medida que se aumentou o nível de sombreamento menor foi a correlação, onde a maior correlação ocorreu para as plantas submetidas ao sombreamento de 30% (T3) e a menor correlação ocorreu para as plantas submetidas a 70% de sombreamento (T1). Resultados diferentes, forma encontrada por Argenta *et al.*, (2001), que trabalhando com milho (*Zea mays*) conseguiu correlação positiva acima de 0,80. Em outro experimento, Jesus e Marengo, (2009), trabalhando com Limão (*Citrus aurantifolia* Swing), Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum), Urucum (*Bixa orellana* L.) e Araça-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) encontraram correlação entre os valores Spad e a clorofila A, acima de 0,75, acima de 0,76 para clorofila *b*, exceto para cupuaçu, onde a relação foi de 0,39 e clorofila total acima de 0,67.

Ainda observando os resultados obtidos com o SPAD (Tabela 5) verifica-se que os valores de setembro, outubro e novembro apresentam um declínio no teor relativo de clorofila devido à baixa pluviosidade do período. Modificações do valor SPAD também foram verificadas em Madeira *et al.*, (2009), trabalhando com Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), percebeu variação na análise sazonal nos valores SPAD influenciados pelos níveis pluviométricos.

A baixa correlação no teor de clorofila do cupuaçu pode ser justificado por esta folha apresentar-se com lâmina foliar mais espessa, fato que pode influenciar para a baixa eficiência do clorofilometro e que pode ter ser repetido nas folhas de pau-rosa expostos a níveis de sombreamento maior. Outra possibilidade é que a falta de linearidade entre os teores relativos (obtidos pelo clorofilômetro) e os teores absolutos de clorofila, observado no estudo acima, sugere certa desuniformidade, sobretudo em folhas bem esverdeadas, pode levar a uma subestimação dos valores do Spad em folhas com altos teores de clorofila (Uddling *et al.*, 2007; Jesus e Marengo, 2010).

Desta forma, podemos concluir que a utilização do Spad não pode substituir as determinações tradicionais de clorofila para plantas juvenis de pau-rosa em ambiente sombreamento igual ou superior a 50%.

### 5.3.2. Fluorescência

Na análise da fluorescência inicial ( $F_0$ ) constatou-se que T1 e T3 apresentaram os melhores resultados, como também menor oscilação, diferente de T4, que além de apresentar os piores valores, apresentar maior oscilação durante o experimento, sendo que o aumento em  $F_0$  pode ser em virtude a exposição solar intensa, acarretando fotoinibição (Long *et al.*, 1994; Dias e Marengo, 2006).

Quanto a fluorescência máxima ( $F_m$ ), percebe-se na análise dos resultados que T1, T2 apresentaram os maiores valores, enquanto T3 e T4 os menores, onde T4 mostrou maior variação em toda o experimento, onde os menores valores foram encontrados no mês de Outubro, podendo ter sido provocado pela dissipação não-fotoquímica, principalmente por meio do ciclo da xantofila, em que a violaxantina é convertida em zeaxantina (Demmig-Adams e Adams, 2006), onde o excesso de energia absorvida pela folha é drenado para carotenóides do ciclo da xantofila que a dissipa na forma de calor, o que protege o fotossistema II contra possíveis danos oxidativos causados pela alta RFA (Dias e Marengo, 2007).

Na análise da fluorescência variável ( $F_v$ ), constata-se que os tratamentos T1 e T2 foram invariavelmente superiores a T3 e T4, piores tratamentos, fato que se deve por  $F_v$  ser calculado a partir diferença entre  $F_m - F_0$ .

Quanto a eficiência fotoquímica do fotossistema II ( $F_v/F_v$ ), constatou-se que T1 e T2 apresentaram os melhores resultados e que T3 e T4 os piores resultados, fato que pode estar ligado a fotoinibição sofrida as plantas que não estão adaptadas a ambientes insolarados (Kitao *et al.*, 2000).

### 5.4. Análise Geral

O crescimento de pau-rosa a 70% e 50% de sombreamento pode refletir a habilidade de adaptação da espécie às condições de radiação, evidenciando a plasticidade fisiológica da espécie em relação à radiação fotossinteticamente ativa disponível, Gonçalves *et al.*, (2005), visto que as características de crescimento são utilizadas para inferir o grau de tolerância ou de intolerância das espécies a baixa disponibilidade de luz, (Gloser e Glaser, 1996; Scaloni *et al.*, 2002).

O crescimento e a adaptação da planta ao ambiente relacionam-se à sua eficiência fotossintética e isso depende, dentre outros fatores, dos teores de clorofila. A síntese e a degradação das clorofilas estão sob o efeito direto da intensidade de luz, ocorrendo

decomposição maior, sob elevada radiação e maior equilíbrio, em baixa taxa luminosa (Engel e Poggiani, 1991).

Os fatores abióticos afetam a atividade fisiológica das plantas em suas diferentes fases de crescimento, fatores como alta RFA e baixa disponibilidade hídrica ou nutricional, tornam mais difícil o sucesso no estabelecimento de plantas na fase juvenil (Gonçalves *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2009)

Como base para análise dos resultados que envolvem a eficiência fotoquímica do fotossistema II,  $F_v/F_m$ , Barretos *et al.*, (2007), trabalhando com pau-rosa e utilizando dose de  $\text{NO}_3$  e diferentes concentrações de  $\text{NH}_4$ , em ambiente controlado, constatou que os melhores valores de  $F_v/F_v$  foi em torno de 0,760, sendo este valor referência para análise desta pesquisa de campo.

Em experimento com varias espécies da caatinga, no período seco e período chuvoso, Trovão *et al.*,2007, encontrou valores para  $F_v/F_m$  variando entre 0,730 a 0,810, concluindo que foram encontraram-se diferenças significativas entre os dados dos dois períodos, ma não houve evidência de danos no aparato fotossintético.

Dentro deste contexto, podemos expor que plantas juvenis de pau-rosa parecem não estar adaptadas aos ambientes com altos RFA, por isso, não devem ser cultivadas em pleno sol e a 30% de sombreamento, uma vez que os resultados do estudo mostram alterações na eficiência do PSI indicando uma fotoinibição (Taiz e Zeiger, 2009), fato esse que reflete diretamente na eficiência quântica do fotossistema II, com valores entre 0,535 a 0,679, para T4, que são menores 15 a 25% e valores entre 0,516 a 0,689, para T3, que são menores 35 e 12%, respectivamente, dos melhores valores verificados para esta espécie no período do experimento, caracterizando certo grau de estresse (Björkman & Demmig-Adams, 1987), não influenciado em cinco dos seis meses por variáveis ambientais.

Plantas juvenis de pau-rosa cultivadas 50% sombreamento apresentaram melhores crescimento em altura e diâmetro, quando comparados aos T3 e T4, reflexo da boa eficiência quântica do fotossistema II, com valores médios entre 0,682 a 0,771 durante todo o experimento.

Plantas juvenis de pau-rosa cultivadas 70% sombreamento apresentaram melhores crescimento em altura e diâmetro, quando comparados aos T3 e T4, reflexo da boa eficiência quântica do fotossistema II, com valores médios entre 0,703 a 0,779 durante todo o experimento.

Plantas juvenis de pau-rosa cultivadas 70% sombreamento (T1), apresentaram maior desempenho em crescimento de altura e diâmetro, juntamente com T2, valores semelhantes para as clorofilas *a*, *b* e *total*, maiores valores SPAD, valores semelhantes para F0, maiores valores para Fm, juntamente com T2, maiores valores para Fv, juntamente com T2, maiores valores para Fv/Fm juntamente com T2, contudo, apresentou T1 o menor rendimento em comparação aos outros tratamentos e foi 13,33% menor que T2 (maior rendimento); já em relação à quantidade de folhas T1, foi o terceiro melhor tratamento, sendo 28,18% menor que T2 (maior quantidade de folhas).

Plantas juvenis de pau-rosa cultivadas T2, apresentaram maior desempenho em crescimento de altura e diâmetro, juntamente com T1, valores semelhantes para as clorofilas *a*, *b* e *total*, segundo maior valor para SPAD, com semelhante aos demais, valores semelhantes para F0, terceiro maiores valores para Fm, terceiro maiores valores para Fv, maiores valores para Fv/Fm juntamente com T1; apresentou o maior rendimento em comparação aos outros tratamentos, já em relação à quantidade de folhas T2 foi o melhor tratamento.

Assim, considerando que o período que foi realizado o experimento é caracterizado por alta RFA, baixa pluviosidade e conseqüentemente, balanço hídrico negativo e que, segundo e (Baker, 1993) as plantas expostas a estas condições frequentemente apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo no rendimento quântico. Neste caso, o déficit hídrico, em combinação com altos níveis de RFA, podendo causar uma significativa redução na eficiência da fotossíntese (Baker, 1993), fato apresentado nos resultados de T3 e T4, sombreamento de 30% e tratamento a pleno sol, repercutindo diretamente no crescimento em altura, diâmetro e na quantidade de material vegetal produzido e compensado através dos níveis de sombreamento de 50% e 70% em T1 e T2, respectivamente.

Em estudo realizado com para-tudo (*Annona crassifolia*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*) e *Compomanesia adamantium*, Lemos-Filho, (2000), tendo como variáveis as estações seca e chuvosa, encontrou valores abaixo de Fv/Fm abaixo de 0,800, onde caracterizou como fotoinibição, provocados por estresse hídrico e pela alta RFA.

## 6. CONCLUSÃO

Plantas juvenis de *A. rosaeodora* (pau-rosa) cultivadas a 50% e 70% de sombreamento, adaptaram-se melhor às condições de déficit hídrico e alta RFA, tendo como consequência em maior equilíbrio na eficiência fotossintética destas plantas.

A análise dos resultados demonstram que plantas juvenis de pau-rosa exigem um sistema de cultivo que lhe proporcione sombreamento entre 50% e 70% nos primeiros 4 anos de implantação.

Plantas juvenis de pau-rosa cultivadas a 30% de sombreamento e a pleno sol, não se adaptaram às condições de déficit hídrico e alta RFA, tendo como consequência em certo desequilíbrio na eficiência fotossintética destas plantas, repercutindo diretamente em seu desenvolvimento em altura e diâmetro.

A eficiência quântica do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em T1 e T2 apresentaram superioridade de até 25 e 35% em relação a T3 e T4, respectivamente, repercutindo diretamente no crescimento em altura, 50% superior a T3 e T4, e em diâmetro 45% superior a T4, além de indicativo de maior produtividade em massa seca.

O teor de óleo essencial não apresentou variação significativa, com diferença de 13,33% do maior teor (T2) para o menor teor (T1); entretanto, quando comparada à massa foliar T2, maior massa e T4, menor massa, essa diferença percentual chega a 600%, nos indicando que T4 se torna completamente inviável do ponto de vista fisiológico, menor valor econômico.

Com vistas a obter maiores informações relativas ao desenvolvimento das plantas de pau-rosa em condição de cultivo, sugere-se novos estudos envolvendo um número maior de amostras que possibilitem avaliações periódicas dos parâmetros morfológicos e fisiológicos de crescimento, associados a determinações bioquímicas ao longo do tempo, permitindo estabelecer inferências mais seguras sobre o comportamento da espécie.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIHPEC. Associação Brasileira da Industrial de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos. <http://www.abihpec.org.br>. 2012.

ALENCAR, J. C. e N. P. FERNANDES. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies; 1. Rosewood (*Aniba duckei* Kostermans). *Acta Amazônica* 8:523-541.1978.

ARAÚJO, V. C.; CORRÊA, G. C.; MAIA, J. M. S.; MARX, M.C.; MAGALHÃES, M. T.; SILVA, M. L.; O. R. GOTTLIEB. Óleos essenciais da Amazônia contendo linalol. *Acta Amazônica* 1(3): 45-47.1971.

ARGENTA, G.S.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E. L.; MANJABOSCO, E. A.; NETO, V. B. Resposta de híbridos simples à redução do espaçamento entre linhas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 1, p. 1-78, jan. 2001.

BAKER, N.R. Eficiência da luz e fotoinibição da fotossíntese em plantas submetidas a estresse ambiental. Em: Respostas da planta ao déficit hídrico célula para comunidade (Em português). (J.A.C. Smith e H. Griffiths, eds.) Bios Scientific Publ., Oxford, p.221-223, apud LEMOS-FILHO, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona Crasifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista Brasileira de Botânica*. São Paulo, V23, n.1, p.45-50, mar.2000.

BAKER, N. e ROSENQVIST, E. Aplicações de fluorescência da clorofila podem melhorar as estratégias de produção agrícola: um exame das possibilidades futuras (Em português). *Journal of Experimental Botany*, 55: 1607-1621. 2004.

BARATA, L. E. S. e AZEVEDO, T. R., Estudo das alternativas para a produção sustentável de óleo de pau-rosa, *Relatório à Empresa CHANEL (FR)*, 1998.

\_\_\_\_\_, L. E. S. Óleo da folha de pau-rosaosewood leaf oil (*Aniba roseaedora* Ducke): Produção Sustentável na Amazônia (Em português). International Conference, Buenos Aires. *IFEAT*. 2001.

\_\_\_\_\_, L. E. S. e QUADROS DE CARVALHO, R. “Aromas da Amazônia: Substituindo pau-rosa na perfumaria? Part I”. *Perfumer e Flavorist*. Vol.32, n.3. 2007.

\_\_\_\_\_,L. E. S. Comunicação pessoal, 2010.

BARBOSA, A. P; AZEVEDO, M. S. F; CHAAR, J. S: O crescimento e o rendimento de óleo essencial de Pau-rosa (*Aniba roseaedora* Ducke) por destilação e arraste a vapor. **4 Congresso Brasileiro de Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**. 1661: 1669. 2008

BARRETOS, D. C. S; GONÇALVES, J. F. C; SANTOS JÚNIOR, U. M; FERNANDES, A. V; BARIANI, A. e SAMPAIO, P. T. B.: O acúmulo de biomassa, a eficiência fotoquímica do fotossistema II, o conteúdo de nutrientes e atividade nitrato redutase em plantas jovens de pau-rosa (*Aniba roseaedora* Ducke) submetidas a diferentes doses de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ratios (Em português). *Acta Amazônica.*, Manaus, v. 37, n. 4, 2007.

BENCHIMOL, S. Produção de óleo de pau-rosa, copaíba e feijão de porco (Em português). Paper presented to the **International Conference on Essencial Oils and Aromas, Buenos Aires**, Argentina, 11 to 15 November, 2001.

BOARDMAN, N. K. Fotossíntese comparativa de plantas de sol e sombra (Em português). *Annual Review of Plant Physiology*, Califórnia, 28:355-377, 1977.

BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Rendimento fóton de O<sup>2</sup> evolução e características de fluorescência de clorofila a 77 K entre as plantas vasculares de diversas origens (Em português). *Planta*, 170: 489-504.1987.

BRAGA, H. C: Óleos essenciais do Brasil. Estudo econômico. Rio de Janeiro: **Ministério da Agricultura**, 86 p. 1971.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Comunicado Técnico, n° 99, SANTOS, A. S; ALVES, S. de M; FIGUEIREDO, F. J e NETO, O. G. da R: Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório, Belém, PA., 2004.

CAMPOS, M. A. A. e UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v. 37, n. 3, Mar. 2002.

CHAMBERS, J.Q.; TRIBUZY, E.S.; TOLEDO, L.C.; CRISPIN, B.F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; ARAÚJO, A.C.; KRUIT, B; NOBRE, A.D.; TRUMBORE, S.E. Respiração de um ecossistema de floresta tropical: particionamento de fontes e eficiência do uso de baixo carbono (Em português). *Ecological Application*, Washington, v. 14, suppl., p. S72-S88, Aug. 2004.

Cultivo e extração do óleo das folhas do Pau-rosa - Recursos do MDIC (Ministério do Desenvolvimento da Indústria e Comércio) e Banco da Amazônia - Coordenado por Lauro E.S. Barata – Convênio FUNCAMP 3668. 2006.

DEMMIG-ADAMS, B.; ADAMS, W.W. Fotoproteção em um contexto ecológico: a complexidade notável de dissipação da energia térmica (Em português). *New Phytologist*, v.172, p.11-21, 2006.

DIAS, D. P. e MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v. 42, n. 3, p.305-311, Mar. 2007.

DIAS FILHO, M.B. Resposta fisiológica de *Solanum crinitum* Lam. contrastando com a intensidade da luz (Em português). Physiological. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.32, n.8, p.789-796, 1997.

DOU. Diário Oficial da União. 2012. <http://www.dou.gov.br>

ENGEL, V. L. e POGGIANI, F. Estudo da Concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Bras. Fisiol. Vegetal* 3(1) : 39-45, 1991.

FERRAZ, J. B. S., BARATA, L. E. S. SAMPAIO, P. T. B e GUIMARAES, G. P: "Perfumes da floresta Amazônica: em busca de uma alternativa sustentável." *Ciência e Cultura*. 61: 40-43. 2009.

FERREIRA, E. Esforço para evitar extinção. *Agriamazônia*, Belém, n.7, p. set. 2002.

FERREIRA, P. V. Estatística Experimental aplicada a agronomia. – Maceió: EDUFAL. 437. 1991

GLOSER, V. & GLOSER, J. Capacidade de aclimação de *Calamagrostis epigejos* e *arundinaceae* C. às mudanças no ambiente de radiação (Em português). *Photosynthetica* 32: 202-212. 1996.

GONCALVES, E. G. e LORENZI, H: Morfologia Vegetal: Organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares. São Paulo. *Instituto Plantarum de Estudos da Flora*, 448 p. 2007.



GONCALVES, J. F. C.; BARRETO, D. C.; JUNIOR, U. M. S.; FERNANDES, A. V.; SAMPAIO, P. T. B e BUCKERIDGE, M. S.: Fotossíntese, crescimento e estresse indicadores em plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) sob diferentes intensidades de luz (Em português). *Braz. J. Plant Physiol.* [online]. vol.17, n.3, pp. 325-334. 2005.

\_\_\_\_\_, J. F. C.; SILVA, C. E. M. e GUIMARÃES, D. G. Fotossíntese e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetida a deficiência hídrica e a reidratação. *Pesquisa agropecuária brasileira*. V. 44, n.1, p. 8-14, jan. 2009.

\_\_\_\_\_, J. F. de C.; SILVA, C. E; GUIMARÃES, D. G. E BERNARDES, R. S. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazônica*. Vol. 40(1): 89 – 98. 2010.

GONÇALVES, L. A.; BARBOSA, L. C. A.; AZEVEDO, A. A.; CASALI V. W. D.; NASCIMENTO, E. A. Produção e composição do óleo essencial de alfavaquinha (*Ocimum selloi* Benth.) em resposta a dois níveis de radiação solar. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. 6:8-14. 2003.

GOTTLIEB, O. R. e W. B. MORS. A química do Pau-rosa. Boletim do Instituto de Química Agrícola (Rio de Janeiro) 53:7-20.1958.

GUENTHER, E: Os óleos essenciais (Em português). New York: D. Van Nostrand, v, p. 323-324. 1948.

HALL, D. O; SCURLOCK, J. M; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R; LEEGOOD, R. C. e LONG, S. P. . Fotossíntese e produção em um ambiente em mudança. Em Manual de campo e laboratório (Em português). Chapman & Hall, London. 1993

HOMMA, A. K. O. Extrativismo, biodiversidade e biopirataria: como produzir benefícios para a Amazônia. Brasília: *Embrapa Informação Tecnológica*, 97 p. (Texto para Discussão, 27).2007.

\_\_\_\_\_, A. K. O. Biopirataria na Amazônia: como reduzir os riscos? Amazônia: Ciência E Desenvolvimento, Belém, v.1, n.1, jul./dez. p.47-60.2005.

\_\_\_\_\_, A. K. O. O Extrativismo do Óleo Essencial de Pau-rosa na Amazônia. Belém, *Embrapa Amazônia Oriental*, 32p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 171). 2003.

KITAO, M.; LEI, T.T.; KOIKE, T.; TOBITA, H. e MARUYAMA, Y. Susceptibilidade à fotoinibição de três árvores de espécies de folha larga e de folha caduca com diferentes características sucessionais crescendo sob diferentes (Em português). *Plant, Cell & Environment*, v.23, p.81-89, 2000.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.org.br>. 2012.

JESUS, S. V. e MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 38, n. 4, Dec. 2008.

KISSIN, I. A indústria do pau-rosa. Anuário Brasileiro de Economia Florestal, Rio de Janeiro, 5(5):214-230, 1952.

KUBITZKI, K. & RENNER, S. S.. 1982. Lauraceae--I. (Aniba and Aiouea). *Fl. Neotrop.* 31: 1-125.

LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, São Paulo. Editora Rima, 531pp. 2000.

LEMOS-FILHO, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona Crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. *Revista Brasileira de Botânica*. São Paulo, V23, n.1, p.45-50, mar. 2000.

LICHTENTHALER, H. K.: Clorofilas e carotenóides: Pigmentos da membrana fotossintética (Em português). *Meth. Enzym.* 148, 350-382 .1987.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S. FALKOWSKI, P. G. Fotoinibição da fotossíntese na natureza (Em português). *Annual Reviews in Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45:633-662.1994.

MADEIRA, A. C.; MADEIRA, M.; FABIÃO. A.; MARQUES. P e CARNEIRO. M. Avaliação da nutrição de plantações jovens de eucalipto por análise foliar e métodos não destrutivos. *Rev. de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 32, n. 2, dez. 2009.

MAIA, J. G. e ANDRADE, E. H.. Banco de dados das plantas aromáticas da Amazônia e seus óleos essenciais (Em português). *Quím. Nova* [online]. vol.32, n.3, pp. 2009.

MAGALHAES, N. S., MARENCO, R. A. e MENDES, K. R. Aclimação de mudas de acariquara à alta irradiância. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v. 44, n. 7, Julho, 2009.

MARENGO, J. A. e NOBRE, C. A. Características gerais e variabilidade do clima na bacia amazônica e suas ligações com o sistema climático global (Em português). In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. (Ed.). *A biogeoquímica da bacia amazônica* (Em português). New York: Oxford University Press, p. 17-41. 2001.

MAY, P. H., e BARATA, L. E. S.: "Exploração de pau-rosa na Amazônia brasileira: Opções para a produção sustentável" (Em português). *Economic Botany*. 58.2 (2004): 257-65. Biological e Agr Index Plus. Web. 14 Sep. 2004.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2012. <http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>

OHASHI, L. S. ROSA, J. A. SANTANA e C. L. GREEN. Óleo de pau-rosa brasileiro: a produção sustentável e gestão da qualidade do óleo (Em português). *Perfumer and Flavorist* 22:1-5.1997.

\_\_\_\_\_, S.T. e ROSA, L.S. Pau-rosa – *Aniba rosaeodora* Ducke. *Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia* (4). 2 p. 2004.

\_\_\_\_\_, S.T.; ROSA, L. S. e MEKDECE, F.S. Influência do diâmetro e da altura de corteddas cepas na brotação de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). *Rev. Ciênc. Agrár.*, 41:137-144. 2004.

PAGÁN, T. C. Características de aceite essencial de Palo rosa (*Anibaroseaedora* Ducke) obtido por métodos de destilation. Lima. Universidade de Molina. Dissertação para o grau de Engenheiro Florestal, 86 folhas. 2003.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Avaliação instantânea das respostas da luz e curvas de parâmetros de clorofila obtido com um fluorímetro portátil de clorofila em um ensaio em campo (Em português). *Plant cell e environment*, oxford, v. 23, n. 12, p. 1397-1405, 2000.

SAMPAIO, P. T. B.: Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: CLAY, Jason W, SAMPAIO, P. T. B., CLEMENT, R. Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização. 1. Ed. Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico. Manaus: INPA, 409 p. 2000.

\_\_\_\_\_, P. T. B.; LEITE, A.; e QUISEN, R. "Conservação e utilização de populações naturais de *Aniba rosaeodora* (pau-rosa) no estado do Amazonas". Relatório final Prodetab". Projeto 008/01-98. 2002.

\_\_\_\_\_, P. T. B., BARBOSA, A. P., VIEIRA, G., SPIRONELLO, W. R E BRUNO, F. M. S. Biomassa da rebrota de copas de Pau-rosa em plantios sob sombra parcial em floresta primária. *Acta Amazônica.*, Manaus, v. 35, n. 4, Dec. 2005.

\_\_\_\_\_, P. T. B; SANTOS, M. C e BRUNO, F. M. S. Avaliação rebrota da copa das arvores de Pau-rosa (*Aniba rosea* Ducke) em sistemas de podas sucessivas. *Acta Amazônica*, vol 37 (1). 55-60. 2007.

SIEBENEICHLER, S. C; FREITAS, G. A. de; SILVA, R. R. da; ADORIAN, G. C. e CAPELLARI, D. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. em condições de irradiância. *Acta Amazônica*. vol. 38(3) : 467 – 472. 2008.

SCALON, S. P. U.; MUSSURY R. M.; RIGONI, M. R. VERALDO, F. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, v.26, n.1, p.1-5, 2002.

SOUZA, R. C. Z. Avaliação das frações voláteis de espécies de *Aniba* por Microextração em Fase Sólida acoplada a Cromatografia Gasosa (SPME-CG) e Cromatografia Gasosa Bidimensional Abrangente (CG × CG). 2010.Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas– UNICAMP – 2010.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. e HECKTHEUER, L. H. H.:As clorofilas. *Cienc. Rural* [online]. vol. 35, n.3, pp. 748-755. 2005.

Sumário Executivo Perfil Mercado SEBRAE Nacional Unidade de Acesso a Mercados - 11/2009.

TAIZ, L. e ZEIGER, E.: Fisiologia Vegetal; tradução. Elaine Romanato Santarém... [et al.]. - 4. ed. - Porto Alegre: Artmed, 848 p. 2009.

TERASHIMA, I., Anatomia de não-uniforme da fotossíntese foliar (Em português). *Photosynth. Res.* 31: 195-212. 1992.

TERASHIMA, I. e HIKOSAKA, K, Ecofisiologia comparativa de folhas e na fotossíntese do dossel (Em português). *Plant Cell Environ.* 18: 1111- 1128. 1995.

TEREZO, E. F. de M.; ARAUJO, V. C de; ARAUJO, P. M. de; NASCIMENTO, V. F. do; SOUZA, J. da C. O extrativismo do pau-rosa. SUDAM documenta, Belém, 3(1/4):5-55, Set./Out., 1971.

TORRES NETTO, A. CAMPOSTRINI, E. OLIVEIRA, J. G. e BRESSAN-SMITH, R. E. Pigmentos fotossintéticos, nitrogênio, fluorescência da clorofila *a* e leituras SPAD-502 em café (Em português). *Scientia Horticulturae*, v. 104, n. 02, p. 199-209, 2005.

TRIBUZY, E. S. Variações da temperatura foliar do dossel e o efeito na taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> na Amazônia Central. 84 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

TROVAO, D. M. de B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A. de e DANTAS NETO, J. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. vol.11, n.3, pp. 307-311. 2007.

TSUKAMOTO FILHO, A. A; CAMPOS, M. N; VASCONCELOS, L. M. R e MATOS, S. P. Diversidade florística de um parque zoobotânico no município de Santarém-Pará. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu. 2007.

UDDLING, J; GELANG-ALFREDSSON, J; PIIKKI, K. e PLEIJEL, H. Avaliando a relação entre a concentração de clorofila na folha e as leituras do medidor de clorofila (Em português). *Photosynthesis Research*. 0166-8595. 2007.

VAREJAO-SILVA, M. D.: Meteorologia e Climatologia. Recife, Pernambuco, Brasil, Versão digital. 2005.

VARELA, V. P. e SANTOS, J. Influência do sombreamento na produção de mudas de Angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke). *Acta Amazonica*, 22(3):407-411, 1992.

WALTERS, R. G. Para a compreensão da aclimação fotossintética (Em português). *Journal of Experimental Botany*, 56: 435-447. 2005.

WHATNEY, J. M., WHATNEY, F. R. A luz e a vida das plantas. São Paulo: EDUSP, 101 p. 1982.