



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Programa de Pós-graduação em Botânica

**EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE
IRRADIÂNCIA SOBRE O CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS
FOTOSSINTÉTICAS E O ACÚMULO DE ÓLEOS VOLÁTEIS EM PLANTAS DE
ANIBA ROSAEODORA DUCKE E *ANIBA CANELILLA* (KUNTH) MEZ
(LAURACEAE).**

EVA MARIA ALVES CAVALCANTI ATROCH

Manaus – Amazonas

Junho, 2008



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Programa de Pós-graduação em Botânica

**EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DE DIFERENTES CONDIÇÕES DE
IRRADIÂNCIA SOBRE O CRESCIMENTO, CARACTERÍSTICAS
FOTOSSINTÉTICAS E O ACÚMULO DE ÓLEOS VOLÁTEIS EM PLANTAS
JOVENS DE *ANIBA ROSAEODORA* DUCKE E *ANIBA CANELILLA* (KUNTH) MEZ
(LAURACEAE).**

EVA MARIA ALVES CAVALCANTI ATROCH

Orientador: Dr. JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO GONÇALVES

Tese apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas na área de concentração em Botânica.

Manaus – Amazonas

Junho, 2008

- A882 Atroch, Eva Maria Alves Cavalcanti
Efeitos da disponibilidade hídrica e de diferentes condições de irradiância sobre o crescimento, características fotossintéticas e o acúmulo de óleos voláteis em plantas de *Aniba rosaedora* Ducke e *Aniba canelilla* (Kunth) Mez (Lauraceae). / Eva Maria Alves Cavalcanti Atroch. --- Manaus : [s. n.], 2008.
xv, 135 f.
- Tese (Doutorado) --- INPA, Manaus, 2008.
Orientador: José Francisco de Carvalho Gonçalves.
Área de concentração: Reprodução e Crescimentos de Vegetais.
1. *Aniba rosaedora*. 2. *Aniba canelilla*. 3. Fisiologia vegetal.
I. Título.

CDD 581.1

Aos meus pais, Maria Alves Cavalcanti e Otávio Correia Cavalcanti (*in memoriam*)

Aos meus filhos, Tiago e Daniel

Aos meus irmãos, Célia e Neto

Ao André Atroch

OFEREÇO

A Deus
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar todos os dias ao meu lado;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, por meio do Programa de Pós-Graduação em Botânica, pela oportunidade de realizar o curso;

A Universidade Federal do Amazonas – UFAM pela liberação para realização do curso;

Ao Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves, pela orientação e pela contribuição para a minha carreira profissional;

Ao Dr. Jamal Chaar, pela orientação e bom humor de sempre;

Ao Dr. Adrian Pohlit, pelas orientações e apoio logístico na extração dos óleos;

Ao Dr. Eduardo Ossamo Nagao, pela amizade, incentivo e compreensão;

Ao Dr. José das Neves Falcão, pelo apoio e compreensão;

Ao Dr. José Ferreira, pelo apoio logístico e amizade;

Ao Dr. Daniel Gentil, pelo apoio logístico e pela cordialidade;

A todos os colaboradores do Laboratório de Princípios Ativos da Amazônia (CPPN-INPA), pelo acolhimento;

A maravilhosa amiga Geisianne Pimenta Cavalcante por toda dedicação, carinho e incansável presença na realização de todo o trabalho;

Ao André Luiz Atroch, pelo apoio incondicional, por todo carinho e amizade, e pela contribuição teórica nas análises estatísticas;

A minha grande amiga Zilvanda, por todo apoio, incentivo e carinho desde sempre;

A querida amiga Sônia Araújo, por todo o apoio durante a realização deste trabalho;

A Renatinha, menina doce, pela presença serena e carinhosa que sempre me confortou;

A querida Ressiliane, pela disponibilidade e carinho com que sempre contribuiu nas avaliações anatômicas;

Aos queridos amigos e colegas da Botânica, Madalena, Rogério e Robson, pela amizade carinhosa que me dedicam;

As queridas amigas Neide e Gisele, secretárias da Botânica, por suas orações que tanto

conforto me deram;

Aos queridos amigos da UFAM, Rozana, Themis, Tereza Cristina, Astrid, Fred, Aldi e Doriane, pela torcida e carinho;

A todos os amigos do UNINORTE pela torcida;

Ao querido Valdemir, colega do Laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas da UFAM, pelo apoio durante as minhas ausências do laboratório;

Aos colegas Ulysses e Carlos, pela contribuição no desenvolvimento dos experimentos;

A toda a equipe do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal do INPA pelos momentos de alegria, durante os dias que convivemos;

A toda a equipe do Laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas da UFAM pelos momentos de alegria, pela amizade, apoio, colaboração e compreensão;

Aos colaboradores de campo Nascimento, Claudomiro e Nei (UFAM), pelo esforço no preparo e cuidado com as plantas;

Aos colaboradores Wilson (Laboratório de microscopia eletrônica) e Jorge (Laboratório de anatomia da madeira), pela dedicação e amizade;

Aos parobotânicos Edmilson e Cunha, pela colaboração na coleta de plantas.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Aniba rosaeodora Ducke (pau-rosa) e *Aniba canelilla* (Kunth) Mez. (casca-preciosa), destacam-se, entre os recursos vegetais amazônicos, como espécies aromáticas com muitas possibilidades de uso. O valor econômico de *A. rosaeodora* resultou na exploração não planejada da espécie, levando-a ao risco de extinção. Apesar da importância econômica de plantas aromáticas, ainda existe pouco conhecimento quanto à fisiologia e às características bioquímicas dessas espécies. Assim, o objetivo desse trabalho foi investigar as variações nas características fisiológicas e nas concentrações de óleos voláteis em folhas, caules e raízes de plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* quando submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância. Para avaliar o comportamento das plantas frente à suspensão de rega em períodos intercalados com rehidratação, de maneira geral, verificaram-se aspectos relativos ao potencial hídrico, às trocas gasosas, eficiência do fotossistema II, teores de pigmentos cloroplastídicos, açúcares solúveis e amido, teor de óleos voláteis em raiz, caule e folhas, e crescimento. Os efeitos do estresse hídrico, sobre o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água, foram observados a partir de 16 dias sem água ($p \leq 0,05$) e promoveram decréscimo nos teores de clorofila *a*, bem como o aumento nos teores de carboidratos ($p \leq 0,05$). A maior eficiência no uso da água em *Aniba canelilla* indicou ser esta espécie, relativamente, mais apta a tolerar ambientes mais secos. As espécies apresentaram maior teor de açúcar nas raízes, sendo os teores de óleo maiores nas folhas. A menor disponibilidade de água não alterou a produção e o particionamento de óleo nas duas espécies, mas ocorreu uma redução drástica de biomassa foliar, e uma maior alocação para o crescimento das raízes. Os danos irreversíveis nas folhas não impediram a recuperação das plantas e a retomada do crescimento ao final de duas semanas de reidratação, quando começaram a surgir novos lançamentos foliares. Para avaliar o comportamento das espécies frente a dois níveis contrastantes de irradiância, sombreamento de 70% (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em viveiro, e pleno sol (1300 a $1800 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), durante três semanas, foram monitoradas variáveis relativas às características fotossintéticas (A , R_d), às trocas gasosas (g_s , C_i , E ,) e suas relações (EUA, EIUA), bem como a eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m). A produção de óleos voláteis em toda a planta foi obtida ao final do experimento. As espécies exibiram semelhanças quanto à plasticidade do sistema fotossintético a mudança de ambiente lumínico, indicando boa capacidade de aclimação. Contudo, *A. rosaeodora* se mostrou mais adaptada a ambientes de elevada irradiância uma vez que manteve maior

estabilidade nas trocas gasosas e na produção de óleos voláteis, enquanto que *A. camelilla* apresentou redução na produção de óleos sob elevada irradiância, embora o padrão de particionamento tenha se mantido inalterado. Os resultados observados indicam que estas espécies apresentam características, que podem ser importantes para a sobrevivência em um cenário de mudanças climáticas globais.

ABSTRACT

Aniba rosaeodora Ducke (rosewood) and *Aniba canelilla* (Kunth) Mez. (Bark-precious), stand out among the Amazonian plant resources, such as aromatic species with many uses. The economic value of *A. rosaeodora* resulted in unplanned exploitation of the species, leading it to extinction. Despite the economic importance of herbs, there is still little knowledge regarding the physiology and biochemical characteristics of these species. The objective of this work was to investigate the variations in physiological characteristics and concentrations of volatile oils in the leaves, stems and roots of young plants and *Aniba rosaeodora* *Aniba canelilla* when subjected to different conditions of irradiance and water availability. To evaluate the behavior of the plants against the shut-off periods interspersed with rehydration, in general, there were aspects of the water potential, gas exchange, efficiency of photosystem II pigment contents, soluble sugars and starch content volatile oils in roots, stems and leaves, and growth. The effects of water stress on water potential and relative water content were observed from 16 days without water ($p \leq 0.05$) and promoted a decrease in levels of chlorophyll as well as increased levels of carbohydrates ($p \leq 0.05$). The more efficient use of water in *Aniba canelilla* indicated this species to be relatively more able to tolerate drier environments. The species had a higher sugar content in the roots, being the largest oil content in the leaves. The reduced availability of water did not change the oil production and partitioning in two species, but there was a drastic reduction of leaf biomass, and greater allocation to root growth. Irreversible damage on the leaves did not prevent the recovery of plants and the resumption of growth at the end of two weeks of rehydration, when they began to see new releases leaves. To evaluate the behavior of the species against two contrasting levels of irradiance, shading 70% (from 500 to 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in nurseries, and full sun (1300 to 1800 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) for three weeks, were monitored on the photosynthetic characteristics variables (A, Rd), gas exchange (gs, Ci, E) and their relations (U.S., EIUA) and the photochemical efficiency of photosystem II (Fv / Fm). The production of volatile oils in the entire plant was obtained at the end of the experiment. The species exhibited some similarities in their plasticity of the photosynthetic system to changing light environments, indicating a good capacity for acclimatization. However, *A. rosaeodora* was more adapted to environments of high irradiance since maintained stability in gas exchange and production of volatile oils, while *A. canelilla* showed a reduction in oil production under high irradiance, although the pattern of partitioning remained unchanged. The results indicate

that these species have characteristics that may be important for survival in a scenario of global climate change.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1: Potencial hídrico (Ψ_w), em MPa, de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas. Média diária. 28

Tabela 2: Conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas, em porcentagem (%), de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas. 30

CAPÍTULO II

Tabela 1: Fotossíntese líquida (A) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz acompanhadas durante três semanas (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 56

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), ao longo de três semanas, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 57

Tabela 3: Condutâncias estomática (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 58

Tabela 4: Transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas. 60

Tabela 5: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 61

Tabela 6: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 62

Tabela 7: Eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) na antemanhã e ao meio-dia em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 64

Tabela 8: Rendimento de óleo volátil em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 65

,CAPITULO III

Tabela 1: Potencial hídrico (Ψ_w) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas, médias diárias 92

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), fotossíntese máxima (A_{máx}) e rendimento quântico aparente (ϕ_a) de plantas do tratamento-controle de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora*, obtidos por meio da aplicação dos dados de fotossíntese líquida à equação exponencial. n = 4 94

Tabela 3: Fotossíntese máxima (A_{máx}), respiração no escuro (R_d), rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c), irradiância de saturação (I_s), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) durante a mensuração das curvas de resposta à intensidade luminosa em plantas do tratamento-controle de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora*. n = 4 95

Tabela 4: Respiração no escuro (R_d) obtidas em PPFD de 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 96

Tabela 5: Fotossíntese líquida (A) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 98

Tabela 6: Condutância estomática (g_s) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 100

Tabela 7: Transpiração (E) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 102

Tabela 8: Carbono interno (C_i) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 104

- Tabela 9:** Eficiência no uso da água (EUA) obtidas em PPDF de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas. 105
- Tabela 10:** Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) obtidas em PPDF de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas. 107
- Tabela 11:** Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época inicial. 108
- Tabela 12:** Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época final. 109
- Tabela 13:** Crescimento, em gramas, da biomassa da folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado). 110
- Tabela 14:** Particionamento, em gramas, da biomassa da folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado). 111
- Tabela 15:** Razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), matéria seca total da planta (MSP) e área foliar específica (AFE) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado). 111

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
HIPÓTESES	18
OBJETIVOS	19
<i>Geral</i>	<i>19</i>
<i>Específicos</i>	<i>19</i>
1. CAPÍTULO I: Alterações no acúmulo de carboidratos e óleos voláteis em plantas jovens de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez (Lauraceae), sob diferentes regimes hídricos.	20
Resumo	20
1.1. INTRODUÇÃO	21
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	24
<i>1.2.1. Condições experimentais</i>	<i>24</i>
<i>1.2.2. Determinação do potencial hídrico</i>	<i>25</i>
<i>1.2.3. Conteúdo relativo de água</i>	<i>25</i>
<i>1.2.4. Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos</i>	<i>25</i>
<i>1.2.5. Determinação dos teores de carboidratos</i>	<i>26</i>
<i>1.2.6. Determinação do rendimento de óleos voláteis</i>	<i>27</i>
1.3. RESULTADOS	28
1.4. DISCUSSÃO	34
1.5. CONCLUSÃO	37
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXOS 1	43
2. CAPÍTULO II: Resposta fotossintética à transferência de ambiente lumínico em plantas de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez (Lauraceae)	49
Resumo	49
2.1. INTRODUÇÃO	50
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	52
<i>2.2.1. Condições experimentais</i>	<i>52</i>
<i>2.2.2. Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas</i>	<i>52</i>
<i>2.2.3. Eficiência fotoquímica do fotossistema II</i>	<i>53</i>

2.2.4. <i>Determinação do rendimento de óleos voláteis</i>	54
2.3. RESULTADOS	55
2.4. DISCUSSÃO	66
2.5. CONCLUSÃO	70
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS 2	75
3. CAPÍTULO III: Crescimento, trocas gasosas e potencial de água na folha em <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez submetidas diferentes condições de disponibilidade hídrica.	84
Resumo	84
3.1. INTRODUÇÃO	85
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	89
3.2.2. <i>Determinação do potencial hídrico foliar</i>	89
3.2.3. <i>Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas</i>	89
3.2.4. <i>Análise de crescimento</i>	90
3.3. RESULTADOS	93
3.4. DISCUSSÃO	115
3.5. CONCLUSÃO	119
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXOS 3	126
CONCLUSÃO GERAL	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS	134

INTRODUÇÃO GERAL

As bases teóricas do conhecimento sobre espécies aromáticas da família Lauraceae vêm avançando, sobretudo, por meio de pesquisas com *Aniba rosaeodora* (pau-rosa). Em função do interesse econômico pelo óleo volátil e da necessidade de mitigar os prejuízos causados pela exploração predatória desta espécie. Nesse sentido, técnicas silviculturais têm sido desenvolvidas que, entre outros aspectos, otimizam o manejo de plantas adultas e as condições de cultivo de plantas jovens, visando proteger os poucos indivíduos remanescentes das populações naturais (Vieira *et al.*, 2000; Rosa *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2005).

A importância destas espécies gera elevada demanda por informações em várias áreas do conhecimento, especialmente na silvicultura, fisiologia e fitoquímica, que podem contribuir para a preservação e na exploração racional de seus produtos. Sabe-se que algumas iniciativas em diferentes áreas têm sido implementadas, como por exemplo, estudos sobre propagação e crescimento (Barbosa *et al.*, 2000; Sampaio *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2005); regeneração natural e silvicultura (Vieira *et al.*, 2000; Rosa *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 2003); fenologia, no que tange aos aspectos reprodutivos da espécie (Spironello *et al.*, 2001; Spironello *et al.*, 2004); ecofisiologia, com estudos relacionados à produção de biomassa (Sampaio *et al.*, 2005) e respostas a estresses abióticos (Gonçalves *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2005); fitoquímica, com trabalhos relativos às características químicas do óleo de *Aniba rosaeodora* (Cunha, 2002; Chaar *et al.*, 2003; Barata *et al.*, 2006; Lima 2006) e *Aniba canelilla* (Taveira *et al.*, 2002; Maia *et al.*, 2003, Lima *et al.*, 2004); economia, no que se refere ao uso sustentável de *Aniba rosaeodora* (May e Barata, 2004), entre outros estudos. No entanto, ainda existem muitas lacunas sobre produção, uso e sustentabilidade da cadeia produtiva das espécies de Lauraceae.

Este cenário abre perspectivas para o aprofundamento do conhecimento na área da ecofisiologia de espécies como *A. rosaeodora* e *A. canelilla*, pela posição que ocupam ou que podem ocupar, em consequência da utilização de seus produtos no mercado de óleos essenciais, com aplicações cada vez mais abrangentes que incluem as indústrias de cosméticos, perfumaria (May e Barata, 2004) e farmacêutica (Lahlou *et al.*, 2005).

Desta forma, o presente estudo teve por objetivos analisar alguns aspectos relacionados ao comportamento ecofisiológico de plantas jovens de *A. rosaeodora* e *A. canelilla*, quando submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de

irradiância. Assim, foram determinadas as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o crescimento e a síntese de óleos voláteis objetivando identificar mecanismos de ajustamento fisiológico para tolerância à seca e fotoproteção, bem como os impactos do estresse sobre a síntese de óleos nos diversos órgãos das plantas. Para tanto, foram realizados dois experimentos: Experimento I: “Efeito de diferentes condições de disponibilidade hídrica sobre o crescimento, biossíntese de óleos voláteis e o acúmulo de biomassa, em diferentes órgãos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e *Aniba rosaeodora* Ducke”; e Experimento II: “Efeito de níveis contrastantes de luz sobre as trocas gasosas, eficiência fotoquímica do fotossistema II e biossíntese de óleos voláteis em diferentes órgãos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e *Aniba rosaeodora* Ducke”.

A expectativa é que o conjunto de informações presentes nos três capítulos desta tese possa contribuir para o esclarecimento da fisiologia de plantas jovens, com idade de 12 a 18 meses, das duas espécies de Lauraceae estudadas, assim como obter conhecimentos com potencial de aplicabilidade no sistema de produção dessas espécies em plantas submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância.

HIPÓTESES

As hipóteses consistem nos pressupostos efeitos dos fatores abióticos sobre as alterações funcionais nas plantas. Isto é, como ocorre e em qual intensidade os efeitos de diferentes regimes de disponibilidade hídrica e de irradiância modificam o acúmulo de biomassa, as trocas gasosas e a síntese de metabólitos primários e/ou secundários em plantas de *Aniba rosaeodora* Ducke e *Aniba canelilla* Mez, espécies de Lauraceae, durante a fase juvenil. Assim, estas hipóteses prevêm que, independentemente das espécies estudadas pertencerem ao mesmo grupo taxonômico, haverá respostas inter-específicas diferenciadas, quanto ao regime hídrico aplicado e as diferentes condições de irradiância, que implicarão em mudanças fisiológicas com reflexos sobre o crescimento, nas características fotossintéticas e na síntese dos óleos voláteis entre as duas espécies.

OBJETIVOS

Geral

Determinar as alterações fisiológicas, o crescimento e as alterações nos metabolismos primário e secundário, particularmente, na síntese dos carboidratos e dos óleos voláteis (terpenos), em plantas jovens das espécies de Lauraceae, *Aniba rosaeodora* Ducke e *Aniba canelilla* (Kunth) Mez, quando submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e irradiância.

Específicos

- Estabelecer as relações entre os fatores abióticos, sobre os aspectos de crescimento (alometria) das plantas, expressos a partir das mudanças na produção de biomassa;
- Analisar a eficiência fotossintética de plantas jovens das espécies em questão (fotossíntese máxima, respiração no escuro, rendimento quântico aparente, irradiância de compensação e de saturação);
- Quantificar os teores de pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a* e *b* e carotenóides) e determinar a eficiência fotoquímica do fotossistema II;
- Caracterizar os efeitos dos níveis de luz e das condições hídricas sobre os teores de óleos voláteis, nas plantas das espécies estudadas;
- Determinar o rendimento dos óleos voláteis em diferentes órgãos (raiz, caule e folhas), de plantas jovens das espécies de Lauraceae estudadas.

1. CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES NO ACÚMULO DE CARBOIDRATOS E ÓLEOS VOLÁTEIS EM PLANTAS JOVENS DE *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez (LAURACEAE), SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS.

Resumo

A limitação hídrica além de se caracterizar como fator seletivo para abundância e distribuição das plantas nos diversos ecossistemas, também é o maior limitante ao bom desempenho das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a evolução dos efeitos da disponibilidade hídrica sobre o teor de água nas plantas, e as alterações que o maior período de supressão hídrica (T₂₄) promoveu sobre os teores de carboidratos, pigmentos cloroplastídicos e óleos voláteis de plantas jovens de *A. canelilla* (casca-preciosa) e *A. rosaeodora* (pau-rosa). Para tanto, as plantas foram acompanhadas periodicamente por cinco semanas, sendo a última destinada à reidratação, e analisadas quanto ao seu estado hídrico foliar. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação e submetidas a quatro regimes de rega (n=10): T₀ = controle, com irrigação homogênea diária; e T₈, T₁₆ e T₂₄ = suspensão de rega por 8, 16 e 24 dias, respectivamente. Em decorrência da limitação de folhas para as análises destrutivas optou-se por, ao longo deste período, avaliar apenas o potencial hídrico foliar (Ψ_w), periodicamente, na antemã e ao meio-dia, e o CRA ao meio-dia. Enquanto que, os teores de carboidratos, pigmentos cloroplastídicos e óleos foram avaliados somente no tratamento-controle (T₀) e no de maior estresse hídrico (T₂₄), no início e no fim do experimento. Em geral, houve redução em Ψ_w e CRA a partir de 16 dias de suspensão da rega ($p \leq 0,05$). Tal condição causou redução nos teores de Cla e aumento em Carboidratos ($p \leq 0,05$). As espécies apresentaram maior teor de açúcares na raiz. Entretanto, não houve alteração nos teores de óleos voláteis. Estes resultados indicaram que, em condições de cultivo, as plantas podem suportar, sem comprometimento dos processos fisiológicos, eventual falta de água por períodos de até 16 dias.

1.1. INTRODUÇÃO

A água é o principal componente protoplasmático na célula vegetal madura, podendo chegar a 70 – 90% da massa fresca. Assim, variações do conteúdo hídrico em resposta a flutuações diárias ou sazonais, em geral, desencadeiam ajustes e/ou adaptações celulares. Portanto, a água é considerada o principal fator abiótico a influenciar o desenvolvimento das plantas em ecossistemas naturais e agrícolas (Meneses *et al.*, 2006).

As limitações decorrentes do estresse hídrico resultam da desidratação celular, que impõe modificações em nível de ultra-estrutura e composição química (Kültz, 2005). Quase sempre, estas mudanças implicam em alterações prejudiciais na estrutura e função das membranas, podendo conduzir a um colapso de organelas e desorganização do tonoplasto (Giles *et al.*, 1976). Neste sentido, efeitos nas membranas cloroplastídicas podem resultar na inativação do fotossistema II, em alterações na biossíntese de clorofilas (Le Lay *et al.*, 2001), lipídios (Gigon *et al.*, 2004) e das proteínas (Navari-Izzo, 2000), e no metabolismo de carboidratos (Kim *et al.*, 2000). Muitas destas implicações estão relacionadas à integridade do cloroplasto, visto que é o local de síntese de boa parte dos compostos do metabolismo primário e secundário.

As respostas de plantas à dessecação dependem de vários mecanismos moleculares que estão relacionadas à tolerância ao estresse, como da expressão de proteínas LEA (Late Embryogenesis Abundant), da ação do ABA e, especialmente, do metabolismo dos açúcares, uma vez que eles representam uma fonte de energia disponível para atender ao aumento da demanda energética em condição de estresse, e por atuarem no ajustamento osmótico (Ingram e Bartels, 1996). Nesta condição, o amido é degradado, aumentando a quantidade de açúcares solúveis na célula (Chaves-Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001). Entretanto, o ajustamento osmótico também pode ser resultado do aumento de moléculas neutralizadoras de radicais livres, visto que o estresse hídrico altera o equilíbrio oxidativo/reduutivo em muitas organelas, como nos cloroplastos (Nepomuceno *et al.*, 2001; Reddy *et al.*, 2004). O ajustamento osmótico assegura a manutenção da turgescência por meio da retenção de água (Jamaux *et al.*, 1997), garante o funcionamento de processos fisiológicos básicos, como a fotossíntese, e permite a redistribuição de carbono e nitrogênio, mesmo que a atividade de tais processos esteja reduzida (Kobata *et al.*, 1992; Palta *et al.*, 1994).

Associado à desidratação está o estresse por temperatura, que contribui para a desestruturação das membranas celulares (Hüve *et al.*, 2006; Rennenberg *et al.*, 2006) e para

alterações no metabolismo de isoprenos, compostos precursores dos constituintes de óleos voláteis relacionados, principalmente, à proteção conferida à membrana durante o estresse por altas temperaturas (Sharkey *et al.*, 2001).

Estudos que investigam as principais fontes de carbono, para a síntese de isoprenos em plantas sob estresse hídrico, relatam incremento da importação de carbono de raízes e caules em direção as folhas (Funk *et al.*, 2004). Este mecanismo pode representar uma fonte de carbono para a produção de isopreno, no sentido de compensar a depleção do carbono prontamente disponível da fotossíntese que, em condições não-estressadas, representa cerca de 80% do carbono utilizado (Funk *et al.*, 2004).

A biossíntese de óleos voláteis é altamente integrada a aspectos fisiológicos, como à ontogenia e à disponibilidade de metabólitos precursores, bem como a aspectos ecológicos como sazonalidade, temperatura, luz, água, nutrientes e interações com organismos (Baldwin, 2006; Hines, 2006).

No que se refere às alterações metabólicas associadas aos fatores abióticos, alguns estudos têm associado situações de estresse ao incremento da produção de compostos do metabolismo secundário, visto que estas substâncias são responsáveis pela interação da planta com o ambiente (Kutchan, 2001; Gouinguéné e Turlings, 2002). Entretanto, estas respostas estão sob regulação bastante complexa, que decorre de fatores como a expressão gênica, a ativação enzimática, razão substrato/carbono, disponibilidade de ATP e o estado redox das células (Kuhn *et al.*, 2004).

Considerando que os óleos voláteis são amplamente usados pelas indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de perfumarias, as lauráceas do gênero *Aniba* destacam-se no conjunto de plantas aromáticas da Amazônia, especialmente *A. rosaeodora* (pau-rosa) cujo óleo volátil compõe seletivo grupo de óleos comercialmente explorados nos últimos 100 anos (Barata e May, 2004). A exploração predatória de *A. rosaeodora* resultou no risco de extinção da espécie (Maia, 2008). A preocupação com o grau de exploração não-sustentável também se estende à *A. canelilla* (casca-preciosa), outra produtora de óleo volátil de aroma agradável, espécie com potencial para ser utilizada em indústrias de cosmético e perfumaria.

Desta forma, a exploração racional dos produtos oriundos dessas espécies demanda por investigações em várias áreas do conhecimento, especialmente na silvicultura, fisiologia e fitoquímica, que podem contribuir para a preservação e exploração racional de seus produtos, estabelecendo uma cadeia produtiva sustentável.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da disponibilidade hídrica

sobre respostas fisiológicas relacionadas ao metabolismo primário, como o potencial hídrico da planta, o conteúdo relativo de água na folha, os teores de pigmentos e de carboidratos e, também, aquelas relacionadas ao secundário no que tange ao acúmulo de óleos voláteis nos diferentes órgãos de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora*.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Condições experimentais

O estudo foi conduzido em casa de vegetação situada na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, no Mini-Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W), onde o clima é do tipo Afi segundo a classificação de Bastos (1972), com temperatura média anual de 27°C±5 e precipitação anual em torno de 2200 mm, com período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100mm) e chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300mm) (Bastos, 1972). A casa de vegetação, de paredes teladas e coberta por plástico transparente, apresentou temperatura média de 32°C (máxima de 39°C±1 e mínima de 26°C±1), obtida com termômetro de máxima e mínima, e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) de 1100±250 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ determinada com um por\u00f4metro port\u00e1til (Steady State Porometer- modelo LI- 1600M), as 11h00min, durante todo o experimento. Plantas jovens de regenera\u00e7\u00e3o natural de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), medindo cerca de 20 cm, foram coletadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM) e mantidas durante 60 dias em viveiros com sombreamento de 50% da irradi\u00e2ncia incidente, para seu estabelecimento. Durante este per\u00edodo, todas as plantas foram irrigadas diariamente at\u00e9 a capacidade de campo. Ap\u00f3s esse per\u00edodo, as plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* utilizadas no experimento foram selecionadas quanto \u00e0 uniformidade de altura (cerca de 24 \pm 5 cm) e estado fitossanit\u00e1rio. Por \u00faltimo, foram transplantadas para substrato composto por mistura de terra\u00e7o e areia (2:1 v/v) em vasos pl\u00e1sticos, com capacidade para 10 Kg, sendo mantidas sob condi\u00e7\u00f5es controladas de casa de vegeta\u00e7\u00e3o. As plantas foram submetidas, durante 35 dias, a quatro tratamentos de disponibilidade h\u00eddrica, subdivididos no tempo (n=10): T₀) tratamento-controle, com irriga\u00e7\u00e3o homog\u00eanea di\u00e1ria, T₈) suspens\u00e3o de rega por 8 dias, T₁₆) suspens\u00e3o de rega por 16 dias e T₂₄) suspens\u00e3o de rega por 24 dias. Ao final de cada per\u00edodo as plantas foram reidratadas. As avalia\u00e7\u00f5es referentes ao potencial h\u00eddrico (Ψ_w) e o conte\u00fado relativo de \u00e1gua (CRA) foram realizadas ao final de cada per\u00edodo de suspens\u00e3o de rega (condi\u00e7\u00e3o estressada), e 24 horas ap\u00f3s a reidrata\u00e7\u00e3o (condi\u00e7\u00e3o reidratada). Dessa forma, os tratamentos foram acompanhados durante cinco semanas, sendo a \u00faltima semana referente \u00e0s plantas reidratadas. Entretanto, em decorr\u00eancia da limita\u00e7\u00e3o de quantidades suficientes de material biol\u00f3gico para as determina\u00e7\u00f5es dos teores de pigmentos

cloroplastídicos, carboidratos e óleos, estes foram determinados somente no início (T_0) e no fim do experimento (T_{24}).

1.2.2. Determinação do potencial hídrico

O estado hídrico das espécies foi obtido a partir do potencial hídrico foliar (Ψ_w) na antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}), utilizando-se bomba de pressão tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Folhas de dez indivíduos foram coletadas e acondicionadas individualmente na bomba de pressão, onde foram aplicadas pressões até ocorrer a exsudação pelo pecíolo da folha – neste momento foi feita a leitura (Turner, 1981), expressa em MegaPascal (MPa).

1.2.3. Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) nas plantas, expresso em porcentagem do peso fresco, foi avaliado a cada semana apenas no período de maior demanda evaporativa, entre 11:00 e 13:00 h, em virtude da limitação no número de folhas para análises destrutivas, de maneira a complementar as informações sobre o grau de hidratação das plantas, indicado pelo potencial hídrico foliar. Para a determinação do CRA, duas folhas foram coletadas de cada planta, e imediatamente acondicionadas em sacos plásticos úmidos, sendo em seguida, transportadas sob refrigeração para pesagem no laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas – UFAM. O CRA foi obtido segundo a metodologia descrita por Pimentel *et al.* (2002), por meio da pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) de 20 discos foliares, sendo determinado pela equação: $CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100\%$.

1.2.4. Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos

A determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos foi realizada em folhas completamente expandidas e sadias do ponto de vista fitossanitário, situadas no terço médio das plantas. Em cada tratamento foram coletadas duas folhas por planta para compor uma repetição, em cinco indivíduos por tratamento. A extração dos pigmentos foi realizada de acordo com a metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983). Para cada indivíduo, 0,1g de material vegetal fresco oriundo dos discos foliares foi homogeneizado em 10 mL de acetona

(100% v/v) e, posteriormente, em 10 mL de uma solução de acetona (80% v/v) contendo MgCO_3 (0,5% p/v). Em seguida, o extrato obtido foi filtrado em papel filtro qualitativo nº 1. A partir desse extrato filtrado, os teores de pigmentos foram determinados por meio das absorvâncias, obtidas com o uso de espectrofotômetro, nos seguintes comprimentos de onda (λ): 663nm e 645nm e 480nm, para clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb) e carotenóides (C_{x+c}), respectivamente. O cálculo das concentrações dos pigmentos cloroplastídicos com base na massa foliar ($\mu\text{mol g}^{-1}$) foi realizado de acordo com as equações descritas por Hendry e Price (1993), onde:

$$\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{mol g}^{-1}\text{)} = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119 \times V}{1000 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (}\mu\text{mol g}^{-1}\text{)} = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102 \times V}{1000 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (2)$$

$$\text{Carotenóides (}\mu\text{mol g}^{-1}\text{)} = \frac{(A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V}{1000 \times 112,5 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (3)$$

Nestas equações, “A” corresponde à absorvância no comprimento de onda usado e “V” é o volume final do extrato clorofila – acetona (mL).

A concentração de clorofila total (Cla + Clb), a razão clorofila *a*/clorofila *b* (Cla/b), assim como a razão clorofila total/carotenóides foram determinadas.

1.2.5. Determinação dos teores de carboidratos

Os teores de carboidratos foram determinados, segundo a metodologia de Passos (1996), em folhas colhidas às 9 horas da manhã, no terço médio da planta, coletando-se duas folhas por planta para compor uma repetição, em cinco indivíduos por tratamento. Os teores de carboidratos foram determinados em folhas coletadas pela manhã segundo a metodologia de Passos (1996). O teor de açúcares solúveis totais foi obtido a partir de 0,1 g do material vegetal fresco, macerado em solução de metanol-clorofórmio-água (120:50:30; v/v/v). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 10000 g durante 10 minutos. O sobrenadante foi purificado em solução bifásica de clorofórmio-água (15:15 v/v), sendo

recuperada a parte da solução purificada (sem lipídeos e clorofilas) para a determinação da concentração de açúcares totais. Adicionalmente, para a extração do amido, o sedimento foi ressuspenso em 10 mL de ácido perclórico 35% (v/v) e centrifugado a 10.000 g durante 15 min, a 25°C, recolhendo-se o sobrenadante.

Os teores de açúcares solúveis e de amido foram quantificados pelo método da antrona (Morris, 1948), utilizando-se a glicose (Sigma) como padrão, sendo determinados por espectrofotometria no comprimento de onda de 625 nm.

1.2.6. Determinação do rendimento de óleos voláteis

Todos os cinco indivíduos amostrados por tratamento foram coletados e seccionados em raiz, caule e folhas e acondicionadas em sacos de papel. Posteriormente, este material biológico foi secado em estufa a 40°C até peso constante. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação de acordo com a metodologia descrita por Clevenger (1928). Para proceder a extração em sistema Clevenger, o material vegetal foi triturado em moinho Watman®, obtendo-se partículas com tamanhos de 0,075 a 2,00 mm. Para cada extração foram pesadas três amostras de cada órgão, obtidas de uma amostra única. Tais amostras foram acondicionadas em balões de fundo redondo de 1000 mL com 500 mL de água destilada e seis pedras de ebulição. A extração foi realizada durante 3,5 horas, mantendo-se a temperatura em 100°C, sendo o rendimento de óleos voláteis (ROV) calculado a partir da porcentagem do volume de óleo capturado pela massa da amostra (Chaar, 2000).

1.3. RESULTADOS

O potencial hídrico (Ψ_w), em média, diferiu entre os horários (antemanhã e meio-dia), espécies e tratamentos, ocorrendo, também, interação espécie *versus* tratamento ($p \leq 0,01$) (Tabela 1).

A média de Ψ_w para os horários foi de $-1,3 \pm 1,6$ MPa na antemanhã e de $-2,3 \pm 1,4$ MPa ao meio-dia. A média de Ψ_w em *Aniba canelilla* ($-1,8 \pm 1,5$ MPa) foi maior que em *Aniba rosaeodora* ($-2,1 \pm 1,6$ MPa). Em média, os tratamentos, T₀ ($-1,0 \pm 0,8$ MPa) e T₈ ($-1,1 \pm 0,8$ MPa) tiveram Ψ_w semelhante e menos negativo em relação a T₁₆ ($-2,0 \pm 1,2$ MPa) e T₂₄ ($-4,4 \pm 1,3$ MPa), que diferiram entre si (Tabela 1).

Em geral, o Ψ_w apresentou amplitude de valores na faixa de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa, variando de $-0,15$ MPa a $-5,0$ MPa na antemanhã, e de $-1,1$ MPa a $-6,0$ MPa ao meio-dia. Nas espécies, a variação foi de $-0,15$ MPa a $-6,0$ MPa em *A. canelilla* e de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa em *A. rosaeodora*. Considerando os tratamentos, o Ψ_w apresentou valores que variaram de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa. Em T₀, o Ψ_w variou $-0,05$ MPa a $-2,15$ MPa. Em T₈, o Ψ_w atingiu valores que foram de $-0,1$ MPa a $-2,6$ MPa; e em T₁₆, esses valores foram da ordem de $-0,3$ MPa a $-4,7$ MPa. Por último, os valores de Ψ_w em T₂₄ variaram de $-1,2$ MPa a $-6,0$ MPa (Tabela 1).

Tabela 1: Potencial hídrico (Ψ_w), em MPa, de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas. Média diária.

Tratamentos	Espécies		Médias (Tratamento)
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	$-1,1 \pm 0,8aA$	$-0,9 \pm 0,8aA$	$-1,0 \pm 0,8^a$
8	$-1,1 \pm 0,7aA$	$-1,2 \pm 0,9aA$	$-1,1 \pm 0,8^a$
16	$-1,6 \pm 0,9aA$	$-2,7 \pm 1,3bB$	$-2,0 \pm 1,2b$
24	$-4,3 \pm 1,5bA$	$-4,6 \pm 0,9cA$	$-4,4 \pm 1,3c$
Média (Espécie)	$-1,8 \pm 1,5^a$	$-2,1 \pm 1,6B$	$-1,9$

Medias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

Após oito dias de suspensão da rega, as plantas de ambas as espécies não demonstraram quaisquer modificações, sendo o Ψ_w obtido em T₈ semelhante a T₀ (Tabela 1). As espécies apresentaram Ψ_w semelhante em T₀, T₈ e T₂₄. Em T₁₆, o Ψ_w das folhas de *A. canelilla* foi menos negativo quando comparado ao Ψ_w das folhas de *A. rosaeodora*. Em *Aniba canelilla* reduções no potencial hídrico só foram observadas, a partir da terceira semana de suspensão da rega (T₂₄). Já em *A. rosaeodora*, a partir da segunda semana (T₁₆), tais alterações foram evidentes (Tabela 1).

O conteúdo relativo de água (CRA) foi semelhante entre as espécies diferindo significativamente apenas entre tratamentos e condição (estressada *versus* reidratada). Ocorreram interações condição *versus* tratamento, espécies *versus* tratamento e espécie *versus* tratamento *versus* condição (Tabela 2).

Em *A. canelilla* e *A. rosaeodora*, o CRA foi, em média, 47,0% e 48,5% respectivamente. Os tratamentos apresentaram os seguintes valores percentuais médios: 61,7% (T₀), 60,9% (T₈); 48,3% (T₁₆) e 20,7% (T₂₄). As plantas submetidas à baixa disponibilidade hídrica tiveram CRA médio menor que as plantas reidratadas, sendo estes conteúdos de 41,5% e 53,9%, respectivamente (Tabela 2).

Em geral, CRA variou de 7,9% a 89,3%. Nas espécies, o CRA atingiu valores mínimos e máximos respectivos de 7,9% e 89,3% em *Aniba canelilla*, e de 10,2% a 89,3%, em *Aniba rosaeodora*. Nas plantas que sofreram suspensão da rega durante determinado período, o CRA variou de cerca de 10,9% a 69,2%. Essas mesmas plantas, quando reidratadas, tiveram CRA na faixa de 7,9% a 89,3%. No tratamento-controle (T₀), o teor relativo de água foi de 46,4% a 75,3%. Em T₈ e T₁₆, tal variação foi de 40,2% a 89,3% e de 17,9% a 75,1%, respectivamente. Já em T₂₄, CRA ficou na faixa de 7,5% a 40,1% (Tabela 2).

No tratamento-controle (T₀) não foi observada diferenças entre as espécies, sendo que, ao término do experimento, o CRA foi maior. Após uma semana de suspensão da rega (T₈), não se observou nenhuma mudança significativa nos CRA das plantas. Em T₈, *A. rosaeodora* apresentou menor teor de água que *A. canelilla* durante o período de suspensão da rega. Quando reidratadas, as plantas de T₈ apresentaram CRA médio mais elevado quando comparado com T₀. A diminuição do CRA em função da supressão de água ocorreu a partir de T₁₆, em ambas as espécies, sendo que *A. canelilla* apresentou menor CRA que *A. rosaeodora* em T₂₄. Neste tratamento, as plantas não tiveram recuperação de CRA após reidratação (Tabela 2).

Tabela 2: Conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas, em porcentagem (%), de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas.

Tratamentos	Condição				Médias (Tratamentos)
	Estressada		Reidratada		
	Espécies				
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	55,9±3,9aB ²	53,9±6,0aB ²	64,6±7,9bA ¹	66,1±7,8abA ¹	61,7 ^a
8	56,7±5,5aB ²	48,3±5,9aB ³	73,0±1,3aA ¹	74,8±6,1aA ¹	60,9 ^a
16	30,3±6,3bB ²	27,2±6,7bB ²	65,7±5,7bA ¹	60,7±5,3bA ¹	48,3 ^b
24	20,2±7,4cA ²	32,3±5,3bA ¹	14,7±5,9cA ²	16,9±7,9cB ²	20,7 ^c
Médias	Espécie		Tratamentos		47,7
	<i>Aniba canelilla</i>	47,0 ¹	Estressada	41,5B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	48,5 ¹	Reidratada	53,9 ^a	

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre condição

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Os teores de pigmentos cloroplásticos foram diferentes entre as espécies. Entre os tratamentos, somente os teores de clorofila *a* e de clorofila total diferiram. A interação espécie *versus* tratamento foi significativa apenas para os teores de carotenóides (Figura 1A ou Tabela 1, no anexo).

Os teores médios de pigmentos foram maiores em *A. canelilla*, sendo 2,1 μmol g⁻¹ (Cla), 1,3 μmol g⁻¹ (Clb), 1,5 μmol g⁻¹ (C) e 3,5 μmol g⁻¹ (Clt) (Figura 1A). Em *A. rosaeodora*, a média dos teores de pigmentos foi de 1,5 μmol g⁻¹ (Cla), 0,9 μmol g⁻¹ (Clb), 1,1 μmol g⁻¹ (C) e 2,4 μmol g⁻¹ (Clt). O tratamento-controle (T₀) apresentou maior teor de Clt (3,3 μmol g⁻¹) que o tratamento de maior estresse (T₂₄ = 2,5 μmol g⁻¹). O mesmo foi observado para Cla, sendo o teor médio para T₀ igual a 2,3 μmol g⁻¹ e para T₂₄ igual a 1,3 μmol g⁻¹ (Figura 1A). Os teores de carotenóides e de clorofila *b* para T₀ foram, respectivamente, de 0,9 μmol g⁻¹ e 1,2 μmol g⁻¹. Para T₂₄, os valores médios observados nessa mesma ordem foram iguais a 1,2 μmol g⁻¹ e 1,4 μmol g⁻¹ (Figura 1A).

Em geral, os teores de clorofila *a* e *b*, clorofilas totais e carotenóides foram semelhantes entre as espécies nas plantas do tratamento irrigado (T₀). Já no tratamento de

maior estresse (T_{24}), *A. canelilla* apresentou mais altos teores de tais pigmentos.

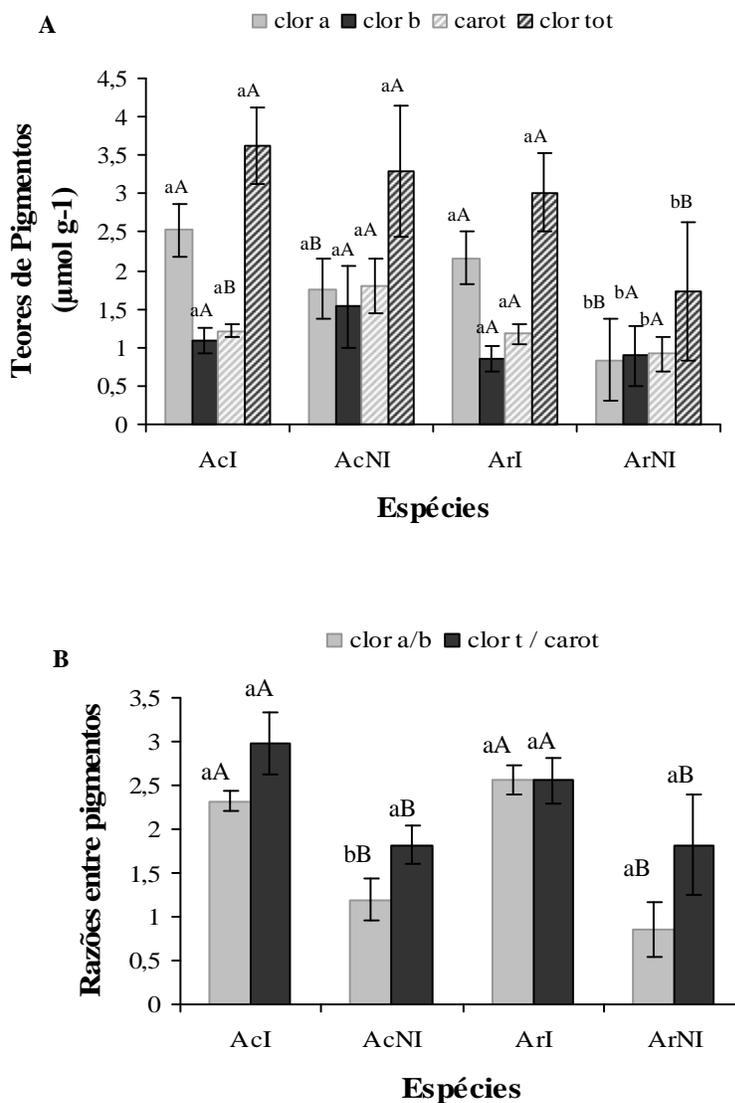


Figura 1: Teores de pigmentos cloroplastídicos, em $\mu\text{mol g}^{-1}$, (A), razões de pigmentos foliares (B) em plantas jovens *Aniba canelilla* (Ac) e *Aniba rosaeodora* (Ar) no tratamento-controle (I) e no tratamento com supressão hídrica (NI = 24 dias sem rega). Média \pm Desvio-padrão. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$. Letras minúsculas indicam comparação entre espécies. Letras maiúsculas indicam comparação entre tratamentos.

Os teores de clorofila *a* foram maiores nas plantas irrigadas. Já os teores de *C_{lb}* foram semelhantes entre os tratamentos para as duas espécies. Em T_0 , as plantas de *A. canelilla*

tiveram os menores teores de carotenóides, diferindo das plantas de ambas as espécies nos demais tratamentos. O mesmo foi observado para o teor de clorofilas totais nas plantas de *A. rosaeodora* em T₂₄ (Figura 1A).

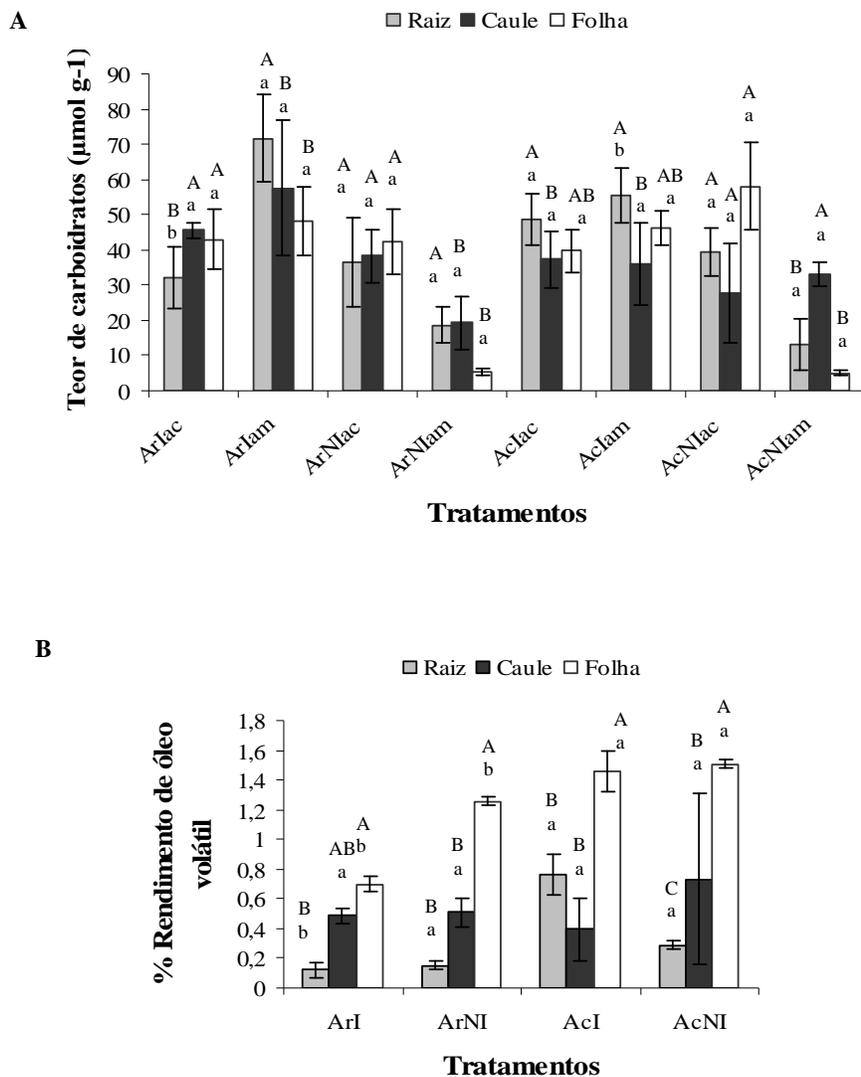


Figura 2: Teor de carboidratos (ac = açúcar; am = amido) (A), rendimento de óleos voláteis (B) em plantas jovens *Aniba canelilla* (Ac) e *Aniba rosaeodora* (Ar) no tratamento-controle (I) e no tratamento com supressão hídrica (NI = 24 dias sem rega). Média \pm Desvio-padrão. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$. Letras minúsculas indicam comparação entre espécies. Letras maiúsculas indicam comparação entre tratamentos.

As espécies apresentaram valores semelhantes da razão $Cl/a/b$. Em relação aos

tratamentos, T₀ apresentou maior conteúdo de carotenóides (2,8 μmol g⁻¹) em relação a T₂₄ (1,8 μmol g⁻¹) e houve interação de espécie vs tratamento. A razão Cl/C_{x+c} foi semelhante entre as espécies e maior no tratamento irrigado (T₀ = 2,4 μmol g⁻¹) em relação ao não-irrigado (T₂₄ = 1,8 μmol g⁻¹) (Figura 1B).

Quanto aos teores de carboidratos, não foi observada diferença entre espécies (Figura 2A). No entanto, houve diferenças significativas para os tratamentos, órgãos e tipo de carboidrato (açúcar solúvel e amido). Também houve interação espécie vs tratamento vs órgão vs carboidrato (Figura 2A).

A. rosaeodora no sistema irrigado (T₀) direcionou maior conteúdo de açúcares para folha e caule em detrimento da raiz (Figura 2A). Entretanto, *A. canelilla* irrigada apresentou maior teor de açúcar na raiz e menores em caule e folhas. No sistema não-irrigado (T₂₄) os açúcares solúveis foram alocados de forma semelhante entre os órgãos (Figura 2A).

No sistema irrigado (T₀), as espécies acumularam o amido de forma semelhante entre os órgãos, sendo maior o acúmulo em raiz (Figura 2A). No sistema não-irrigado (T₂₄), as espécies apresentaram padrão diferenciado de acúmulo de amido entre os órgãos, em que *A. rosaeodora* acumulou maior conteúdo em raiz e caule e menor em folha, enquanto *A. canelilla* apresentou mais amido no caule e menores teores em raiz e folha (Figura 2A).

O rendimento médio percentual de óleo volátil (volume de óleo extraído/massa seca) foi semelhante entre os tratamentos (T₀ e T₂₄), diferindo entre as espécies e os órgãos (Figura 2B). Não houve interações entre os fatores analisados. A média do rendimento de óleos voláteis para T₀ foi de 0,7% (Figura 2B). No tratamento T₂₄, o valor obtido foi na ordem de 0,9%. Para as espécies, o rendimento percentual médio foi de 1,1% (*A. canelilla*) e 0,6% (*A. rosaeodora*). Considerando os órgãos vegetativos, os teores de óleo foram de 0,3% (raiz), 0,5% (caule) e 1,3% (folha) (Figura 2B).

1.4. DISCUSSÃO

Modificações no estado hídrico das plantas, detectáveis pela medida do potencial hídrico (Tabela 1) e pelo CRA (Tabela 2) indicaram que as alterações mais severas resultantes da escassez de água começam a partir da terceira semana (T_{16} : 48,3% de CRA), período em que ainda foi possível a recuperação das condições hídricas da folha. Entretanto, no tratamento T_{24} , de supressão de rega (CRA = 20,7%), as plantas não mais apresentaram recuperação (Tabela 2). Este nível de desidratação implica em reduções ao rendimento fotoquímico (Eichmeier *et al.*, 1993), o que ocorre devido aos prejuízos no transporte de elétrons e na fixação do carbono (Casper, 1993), especialmente sob alta irradiância.

Em decorrência da limitação no número de plantas, os teores de pigmentos, óleos voláteis e carboidratos foram analisados comparando-se apenas o tratamento-controle (T_0 = irrigado) e o de maior estresse (T_{24} = não-irrigado). Assim, observou-se que no nível mais extremo de baixa disponibilidade hídrica, os processos diretamente relacionados aos cloroplastos (metabolismo de pigmentos e óleos voláteis) foram afetados de forma diferenciada, de modo que houve incremento de algumas moléculas (carotenóides em *A. canelilla*), declínio de outras (clorofila *a* nas duas espécies) e manutenção dos teores em algumas moléculas (clorofila *b* e do óleo volátil nas duas espécies) (Figuras 1 e 2).

Em relação aos pigmentos, o comportamento apresentado pelas espécies de *Aniba* aqui estudadas indica que, na condição de menor disponibilidade hídrica, *A. canelilla* apresentou maior estabilidade destas moléculas, o que pode conferir a esta espécie melhores condições de tolerância à diminuição da disponibilidade hídrica (Figura 1A). Não foi detectada alteração na razão Cl_a/b que apresentou valor de aproximadamente 1/3, característico para espécies C_3 . A razão Cl_t/C_{x+c} , em média, foi maior no tratamento irrigado, e não houve diferença entre as espécies (Figura 1B).

Segundo Kramer e Kozlowski (1979), as alterações nos teores de clorofila *a* e *b*, em condições de estresse geralmente não são proporcionais, sendo que alguns autores têm sugerido uma maior suscetibilidade da clorofila *a* em plantas sob estresse hídrico (Colom e Vazzana, 2002). A redução nos teores de clorofila *a* pode estar associada aos prejuízos resultantes da inibição da fotossíntese e, também, a degeneração em nível de ultra-estrutura do aparato fotossintético (Echenique e Curvetto, 1989; Smirnoff, 1995; Chernad'ev, 2005), especialmente em caso de diminuição no conteúdo de água na planta. Entretanto, os mecanismos de proteção relacionados com a síntese de substâncias antioxidantes (como

carotenóides, ascorbato, flavonóides, entre outras) e de enzimas antioxidantes (peroxidases, catalase e superóxido desmutase) podem inibir a degradação dos pigmentos (Ejert e Tevini, 2002).

Os carotenóides apresentam diversidade de funções indispensáveis ao processo fotossintético, especialmente quando há excesso de energia captada pelos complexos coletores de luz, decorrente da inibição do transporte de elétrons nos fotossistemas I e II. Entre estas funções destaca-se a extinção de excitação foto-induzida (fotoproteção), a dissipação do excesso de energia e a estabilização de estruturas, como a própria membrana fotossintética (Frank e Codgell, 1996).

Nas duas espécies, o metabolismo dos carboidratos (açúcares solúveis totais e amido) apresentou modificações com diferentes intensidades, em que se observaram menores alterações nos teores de açúcares solúveis, entre os tratamentos e órgãos, enquanto que os teores de amido foram marcadamente reduzidos nas plantas sob baixa disponibilidade hídrica, especialmente em folhas (88,6% em *A. rosaeodora* e 89,1% em *A. canelilla*) e raiz (75,3% em *A. rosaeodora* e 76,2% em *A. canelilla*). Esta resposta fisiológica possibilita o aumento do potencial osmótico e, por conseguinte, diminuição do potencial hídrico, tornando-se mais baixos que o Ψ_w do solo, mantendo o gradiente de potencial hídrico (Turner e Jones, 1980). Estas alterações são bastante frequentes para diversas plantas nestas condições (Kramer, 1995; Kingston-Smith *et al.* 1999; Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001).

Alguns autores relacionam uma menor disponibilidade de água para a planta a uma maior produção de óleos voláteis (Cunha, 2002; Santos *et al.*, 2004; Lima, 2006). Tal comportamento fisiológico pode estar associado à relevância destes compostos como resposta de adaptação ou tolerância a estresses (Singsaas, 2000). Em plantas adultas de *A. rosaeodora* em condições de campo, verificou-se efeito sazonal na produção do óleo, que foi favorecido por períodos de menor incidência de chuvas (Cunha, 2002; Lima, 2006).

Este comportamento não se confirmou com a baixa disponibilidade hídrica imposta nas nossas condições experimentais em nenhuma das espécies estudadas (Figura 2B). Tal fato pode ser resultado de diferentes fatores como do nível de estresse alcançado pela planta no vaso (limitações na quantidade de substrato e alta temperatura), o estágio de desenvolvimento e as condições microclimáticas na casa de vegetação, uma vez que alguns destes aspectos representaram limitações ao processo fotossintético. Resultados semelhantes foram observados por Taveira *et al.* (2003) em pesquisa visando à análise do efeito sazonal e tipos de solo sobre a qualidade e os teores do óleo de *A. canelilla*. Neste trabalho, os rendimentos

obtidos foram muito semelhantes entre as estações úmida e seca.

O comprometimento da fotossíntese pode resultar em implicações sobre a produção do óleo, visto que a biossíntese de monoterpenos ocorre nos plastídios e é dependente das trioses gliceraldeído-3-fosfato e piruvato (Sangwan *et al.*, 2001).

Os monoterpenos são compostos de defesa contra patógenos e herbívoros (Langenheim, 1994), produzidos constitutivamente, e são acumulados durante o desenvolvimento normal de caules e raízes. Entretanto os mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos na síntese de monoterpenos ainda não foram totalmente esclarecidos (Gershenson *et al.*, 2000).

A ausência de efeito do estresse hídrico sobre os teores de óleo nas duas espécies, sugere que estas plantas dispõem de mecanismos que permitem manter os teores estáveis, no sentido de otimizar os custos de investimento. Segundo Gershenson (1994), terpenóides são compostos altamente reduzidos, o que implica em elevado custo de produção além do que é investido nas enzimas exclusivas desta via, apesar de os teores de monoterpenos serem regulados pelas taxas de síntese e perdas. Contudo, Gershenson *et al.* (2000) investigando o metabolismo destes compostos em menta, não registraram perdas significativas de monoterpenos em processos de volatilização ou degradação metabólica.

Embora estatisticamente não significativo, é interessante observar que as espécies mostraram padrão diferenciado de particionamento do óleo entre os órgãos no tratamento-controle (Figura 2B), ainda que não tenha sido detectada variação nos teores de carboidratos na raiz e no caule, que representariam um estoque de carbono disponível para síntese de óleo, na condição irrigada para as duas espécies. Assim, embora as folhas detenham o maior rendimento de óleos para as duas espécies, *A. canelilla* investiu na síntese e alocação destes óleos na raiz enquanto *A. rosaeodora*, investiu no caule.

1.5. CONCLUSÃO

Tanto os componentes do metabolismo primário (carboidratos), quanto os do secundário (clorofila *a* e carotenóides) demonstraram ser indicadores da supressão hídrica entre os diferentes órgãos das plantas (raiz, caule e folha).

A supressão hídrica alterou o padrão de particionamento de açúcares solúveis e amido nas duas espécies.

O rendimento de óleos nas plantas não foi alterado pela supressão hídrica.

Do ponto vista de aplicabilidade, dois aspectos investigados neste trabalho são importantes para o manejo e preservação dessas espécies:

- 1) em condições de cultivo, as plantas podem suportar, sem comprometimento dos processos fisiológicos básicos, eventual falta de água por períodos de até 16 dias;
- 2) o comportamento dessas espécies sugere tolerância para suportar longos períodos de seca.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bastos, T. X. 1972. *O clima da Amazônia brasileira segundo Koppen*. Boletim técnico EMBRAPA, v.54, p. 62-122.
- Björkman, O.; Demming, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, v. 170, p. 489-504.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R.; Long, S. P.; Baker, N. R.; Öquist, G.; Schreider, U.; Lechner E. G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, v. 3, p. 497-514.
- Bradford, K.J.; Hsiao, T. 1982. Stomatal behaviors and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiology*, v. 70, p. 1508-1513.
- Casper C, Eickmeier, W.G.; Osmond, C. B. 1993. Changes of fluorescence and xanthophyll pigments during dehydration in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla* in low and medium light intensities. *Oecologia*, v. 94, p. 528-533.
- Chaar, J. da S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. Master`s Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaves-Filho, J.T.; Stacciarini-Seraphin, E. 2001. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira em reposta ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 24, p. 199-204.
- Chernyad'ev, I. I. 2005. Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, v. 41, p. 155-128.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p 467-468.
- Colom, M. R.; Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*, v. 49, p. 135-144.
- Cunha, L.N. 2002. Influência sazonal no teor de linalol da espécie *Aniba duckei* Korstermans plantadas em ambiente natural. Master`s Thesis, Universidade Federal do Amazonas,

Manaus. 130pp.

- Duarte-Maçãs, I. M. V. 2003. Seleção de linhas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) adaptadas ao ambiente mediterrânico – critérios morfológicos e fisiológicos. Master`s Thesis, Universidade de Évora, Évora. 169pp.
- Eickmeier, W. G.; Casper C.; Osmond, C. B. 1993. Chlorophyll fluorescence in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla* (Hook. e Grev.) spring during high-light and desiccation stress, and evidence for zeaxanthin-associated photoprotection. *Planta*, v. 189, p. 30-38.
- Egert, M.; Tevini, M. 2002 Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*, v. 48, p. 43-49.
- Frank, H. A.; Cogdell, R. J. 1996. Carotenoids in Photosynthesis. Invited Review. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, v. 63, p. 257-264.
- Funk, J. L.; Mak, J. E.; Lerdau, M. T. 2004. Stress-induced changes in carbon sources for isoprene production in *Populus deltoides*. *Plant Cell and Environment*, v. 27, p. 747 -755.
- Gershenzon J. 1994. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, v. 20, p. 1573-1561.
- Gershenzon, J.; McConkey, M. E.; Croteau, R. B. 2000. Regulation of Monoterpene Accumulation in Leaves of Peppermint. *Plant Physiology*, v. 122, p. 205-214.
- Gigon, A.; Matos, A-R; Laffray, D.; Zuily-Fodil, Y.; Anh-Thu Pham-Thi. 2004. Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of *Arabidopsis thaliana* (Ecotype Columbia). *Annals of Botany*, v. 94, p. 345-351.
- Giles, K. L.; Cohen, D.; Beardsell, M.F. 1976. Effects of water stress on the ultrastructure of leaf cells of *Sorghum bicolor*, *Plant Physiology*, v. 57, p. 11-14.
- Gouinguéné, S. P.; Turlings, T. C. J. 2002. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. *Plant Physiology Preview*, v. 129, p. 1296-1307.
- Hendry, G.A.F.; Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. (eds), *Methods in Comparative Plant Ecology*, p. 148-152.
- Hines, J. P. 2006. The invisible bouquet. *Science*, v. 311, p. 803-803.

- Huve, K.; Bichele, I.; Tobias, M.; Ninemets, U. 2006. Heat sensitivity of photosynthetic electron transport varies during the day due to changes in sugars and osmotic potential, *Plant, Cell and Environment*, v. 29, p. 212-228.
- Ingram, J.; Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 47, p. 377-403.
- Jamaux, I.; Steinmetz, A.; Belhassen, E. 1997. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower, *New Phytologist*, v. 137, p.117-127.
- Kim, J-Y.; Mahé, A.; Brangeon, J.; Prioul, J-L. 2000. A maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ/tissue specificity and diurnal modulation of expression. *Plant Physiology*, v. 124, p. 71-84.
- Kingston-Smith, A.H., Walker, R.P.; Pollock, C.J. 1999. Invertase in leaves: conundrum or control point? *Journal of Experimental Botany*, v. 50, p. 735-743.
- Kobata, T.; Palta, J. A.; Turner, N. C. 1992. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling in spring wheat. *Crop Science*, v. 32, p. 1238-1242.
- Kochevaa, K.; Lambrevb, P.; Georgieva, G.; Goltsevc, V.; Karabaliev, M. 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, v. 63, p. 121– 124.
- Kramer, P. J.; Koslowski, T. 1979. *Physiology of wood plants*. New York: Academic Press. 811 p.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environment*, v.24, p. 1345-1352.
- Kuhn, U.; Rottenberger, S.; Biesenthal, T.; Wolf, A.; Schebeske, G.; Ciccioli, P.; Kesselmeier, J. 2004. Strong correlation between isoprene emission and gross photosynthetic capacity during leaf phenology of the tropical tree species *Hymenaea courbaril* with fundamental changes in volatile organic compounds emission composition during early leaf development. *Plant Cell Environment*, v. 27, p. 1469–1485.
- Kutchan, T. M. 2001. Ecological arsenal and developmental dispatcher: the paradigm of secondary metabolism. *Plant Physiology*, v. 125, p. 58–60.

- Langenheim, J. H. 1994. Higher plant terpenoids: a phytocentric overview of their ecological roles. *Journal of Chemical Ecology*, v. 20, p. 1223-1280.
- Le Lay, P.; Böddi, B.; Kovacevic, D.; Juneau, P.; Dewez, D.; Popovic, R. 2001. Spectroscopic analysis of desiccation-induced alterations of the chlorophyllide transformation pathway in etiolated barley leaves. *Plant Physiology*, v. 127, p. 202-211.
- Lima, R. B. S. 2006. Características fisiológicas e conteúdo de óleos voláteis em folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em diferentes períodos de precipitação, na Amazônia Central. Master`s Thesis, INPA / UFAM, Manaus. 69pp.
- Lichtenthaler, H.K.; Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Societ Transactions*, v. 11, p. 591-592.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science*, v. 107, p. 254-255.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the brazilian amazon: options for sustainable production. *Economic Botany*, v. 58, p. 257-265.
- Navari-Izzo, F.; Quartacci, M. F.; Pinzino, C.; Rascio, N.; Vazzana, C.; Sgherri, C. L. M. 2000. Protein dynamics in thylakoids of the desiccation-tolerant plant *Boea hygroskopica* during dehydration and rehydration. *Plant Physiology*, v. 124, p. 1427-1436.
- Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B.; Oya, T. 2001. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. *Bioteχνologia Ciência e Desenvolvimento*, v. 23, p. 12-18.
- Ogren, E.; Oquist, G. 1985. Effects of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves. *Planta*, v. 166, p. 380-388.
- Palta, J. A.; Kobata, T.; Turner, N. C.; Fillery, I. R. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficit. *Crop Science*, v. 34, p. 118-124.
- Passos, L.P. 1996. *Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal*. Embrapa, Coronel Pacheco, MG. 223 pp.
- Reddy, A. R.; Chaitanya K. V.; Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*,

v. 161, p. 1189-1202.

- Rennenberg, H.; Loreto F.; Polle A.; Brilli F.; Fares S.; Beniwal R. S.; Gessler A. 2006. Physiological Responses of Forest Trees to Heat and Drought. *Plant Biology*, v. 8, p. 556-571.
- Sangwan, N. S.; Farooqi, A. H. A.; Shabih, F.; Sangwan, R. S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, v. 34, p. 3-21.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v. 148, p. 39-46.
- Sharkey, T. D.; Chen, X. Y.; Yeh, S. Isoprene increases thermotolerance of fosmidomycin-fed leaves. *Plant Physiology*, v. 125, p. 2001–2006.
- Sinclair, T. R.; Ludlow, M. M. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 3, p. 213-217.
- Smirnoff, N. Metabolic flexibility in relation to the environment. In: Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific publishers, 1995. p. 1-13.
- Taveira, F.S.N.; Lima, W.N.; Andrade, E.H.A.; Maia, j.G.S. 2003. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 31, p. 69-75.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant watter status. *Plant and Soil*, v.58, p. 339-366.

ANEXOS 1

Tabela 1: Análise de variância do potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por 16 dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) em duas condições (estressado e reidratado).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	10,8**
Hora (H)	1	48,6**
Espécie (Sp)	1	4,5**
Tratamentos (T)	3	86,1**
Cond X H	1	0,2ns
Cond X Sp	1	0,3ns
Cond X T	3	5,6**
H X Sp	1	0,6ns
H X T	3	1,1ns
Sp X T	3	2,1**
Cond X H X Sp	1	0,6ns
Cond X Sp X T	3	0,2ns
Cond X H X T	3	0,1ns
H X Sp X T	3	0,3ns
Cond X H X Sp X T	3	0,3ns
Erro	158	0,4
Média		-1,9
CV (%)		35,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância do conteúdo reativo de água (CRA) na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba roseodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) e duas condições (estressada e reidratada).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	6508,2**
Espécie (Sp)	1	0,1ns
Tratamentos (T)	3	14292,3**
Cond X Sp	1	0,2ns
Cond X T	3	3202,7**
Sp X T	3	243,4**
Cond X Sp X T	3	166,4**
Erro	149	38,7
Média		47,7
CV (%)		13,0

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância dos teores de pigmentos cloroplastídicos em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba roseaeodora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM			
		<i>Cl_a</i>	<i>Cl_b</i>	<i>C_{x+c}</i>	<i>Cl_t</i>
Espécie (Sp)	1	2,9**	1,4**	1,5**	8,2**
Tratamento (T)	1	7,8**	0,4ns	0,2ns	4,6**
Sp X T	1	0,6ns	0,3ns	1,2**	1,6ns
Erro	24	0,2	0,1	0,1	0,5
Média		1,8	1,1	1,3	2,9
CV (%)		22,5	31,9	17,7	24,7

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância dos teores de carboidratos em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaedora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	26,1ns
Tratamento (T)	1	9669,3**
Órgão (Org)	2	240,1*
Carboidrato (CHO)	1	1094,8**
Sp X T	1	596,5**
Sp X Org	2	35,3ns
Sp X CHO	1	492,7**
T X Org	2	376,2**
T X CHO	1	9993,2**
Org X CHO	2	1065,2**
Sp X T X Org	2	196,4ns
Sp X Org X CHO	2	348,1**
T X Org X CHO	2	515,3**
Sp X T X Org X CHO	3	251,9*
Erro	89	64,8
Média		39,0
CV (%)		20,6

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 5: Análise de variância do rendimento de óleos voláteis em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	1,4**
Tratamento (T)	1	0,1ns
Órgão (Org)	2	4,8**
Sp X T	1	0,2ns
Sp X Org	2	0,3ns
T X Org	2	0,3ns
Sp X T X Org	2	0,3ns
Erro	57	0,1
Média		0,8
CV (%)		26,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

2. CAPÍTULO II

RESPOSTA FOTOSSINTÉTICA À TRANSFERÊNCIA DE AMBIENTE LUMÍNICO EM PLANTAS DE *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez (LAURACEAE)

Resumo

Respostas do processo fotossintético em plantas jovens são definidas pelo desempenho nas fases iniciais do cultivo em nível de campo. Assim, plantas com 18 meses de *Aniba rosaeodora* (pau-rosa) e *Aniba canelilla* (casca-preciosa) foram acompanhadas durante três semanas para avaliação das respostas fotossintéticas à transferência de ambiente com baixa intensidade de irradiância (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para ambiente aberto com irradiância elevada (1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando-se como indicadores fisiológicos, características fotossintéticas (A , R_d), trocas gasosas (g_s , C_i , E) e as suas relações (EUA, EIUA), bem como a eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) e a produção de óleos voláteis. As plantas foram cultivadas em vasos plásticos, com 10 Kg da mistura de terriço e areia (2/1), sendo submetidas a dois tratamentos de irradiância ($n=10$): T_1 = sombreamento de 70% (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em viveiro, e T_2 = ambiente aberto com as plantas recebendo de 1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Diariamente, mensurou-se A , R_d , g_s , E e VPDL, de modo pontual, ajustando-se a luminosidade do equipamento para 0 ou $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A razão F_v/F_m foi medida na antemã e ao meio-dia no início, meio e fim do experimento. As espécies se mostraram semelhantes quanto à plasticidade fisiológica associada à estabilidade na produção de óleos em resposta à mudança nas condições de irradiância, indicando boa capacidade de aclimação. *Aniba rosaeodora* manteve semelhante rendimento de óleo nas folhas quando submetida aos tratamentos de alta ou baixa irradiância, enquanto em *Aniba canelilla* ocorreu uma redução no conteúdo de óleo as folhas das plantas transferidas para pleno sol.

2.1. INTRODUÇÃO

Na flora amazônica, as espécies do gênero *Aniba* destacam-se pelo alto valor econômico, devido à constituição do óleo volátil acumulados principalmente no lenho e na casca, especialmente *A. rosaeodora* (pau-rosa) devido ao linalol, componente majoritário utilizado como fixador de perfumes que, embora presente em todas as partes da planta e mais abundante nas folhas, é basicamente extraído da madeira (Marques, 2001; Sampaio *et al.*, 2003). *A. canelilla* (casca-preciosa) é reconhecida pelo forte aroma de canela que é atribuído ao componente majoritário presente no óleo, um composto nitrogenado denominado 1-nitro-2-feniletano (Gottlieb e Magalhães, 1959). A planta é utilizada na medicina tradicional, na forma de chá da casca e folhas, como antiespasmódico, digestivo, para artrites e males do coração, entre outras potenciais aplicações (Gottlieb e Magalhães, 1960; Lahlou *et al.*, 2005).

A importância destas espécies e a maneira como são exploradas, especialmente *Aniba rosaeodora*, reforçam a necessidade de estudos ecofisiológicos que indiquem a influência de fatores primários sobre a propagação, sobrevivência, adaptação, crescimento e desenvolvimento dessas plantas, de forma a prover subsídios para o estabelecimento de um sistema de produção de plantas e/ou de incorporação de biomassa, como fonte de matéria-prima para maximizar posteriores aplicações tecnológicas, com a possibilidade real de agregar valor a este recurso florestal.

Neste sentido, o sucesso do cultivo depende, entre outros fatores, das práticas que garantam o estabelecimento das plantas em ambientes que, inicialmente, podem impor condições aquém da faixa ótima de crescimento das plantas. De maneira geral, o estresse por irradiância elevada gera espécies reativas de oxigênio que prejudicam a planta causando atraso no desenvolvimento, especialmente pela perda de folhas (Demmig-Adams e Adams III, 2006).

Neste cenário, justifica-se investigar o desempenho fisiológico de plantas jovens frente à incidência de luz, pela heterogeneidade com que este recurso se apresenta no ambiente. Os estudos nesta direção, geralmente, monitoram as respostas ecofisiológicas à luz que podem ocorrer no curso de algumas horas ou dias (Öquist *et al.* 1992; Kitao *et al.* 2000; Dias e Marengo, 2006). Contudo, as plantas geralmente necessitam de períodos mais longos para se aclimatarem a um ambiente de maior fluxo de energia luminosa. Portanto, enquanto não ocorre o lançamento de novas folhas, torna-se fundamental a aclimação das folhas preexistentes, que cresceram em ambiente com baixa densidade de fluxo fotônico (Guo *et al.*,

2006).

Sendo assim, as características foliares representam um dos principais aspectos a se considerar nas respostas de aclimatação. De forma geral, acredita-se que as espécies que apresentam folhas com longos períodos de vida sejam mais tolerantes ao aumento rápido no nível de luz, quando o ambiente é alterado por uma abertura do dossel (Lovelock *et al.*, 1998). Uma propriedade também associada a plantas com folhas de longa duração é um maior investimento em estrutura física e uma menor taxa de assimilação de carbono (Reich *et al.*, 1998).

Durante o processo de aclimatação, o declínio da assimilação de carbono ocorre como resultado de um conjunto de eventos fisiológicos que, entre outros, incluem a redução da condutância estomática, limitações bioquímicas e fotoquímicas (Chaves *et al.*, 2002; Lawlor e Cornic, 2002; Yordanov *et al.*, 2003). No curso das implicações destes processos, insere-se a biossíntese de constituintes de óleos voláteis, especialmente monoterpenos, uma vez que este metabolismo ocorre nos plastídios a partir de trioses-fosfato mostrando, também, em alguns casos, dependência do NADPH gerado durante o processo fotossintético (Sangwan *et al.*, 2001), de forma que, alterações na fotossíntese também podem modificar a produção dessas substâncias (Kuhn *et al.*, 2004).

Neste trabalho, alterações fisiológicas das plantas de *A. rosaeodora* e *A. canelilla* em consequência da transferência rápida de ambiente lumínico foram acompanhadas pela análise de variáveis relativas às características das trocas gasosas, como a eficiência no uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA), que informam sobre a contribuição da limitação estomática. Também foram verificadas as flutuações nos valores de carbono interno (C_i), que indicam a atividade metabólica de fixação de CO_2 (Konrad *et al.*, 2005). Os aspectos relativos à fotoquímica foram estimados pela razão F_v/F_m , observados nos horários da antemãhã e ao meio-dia, no sentido de verificar fotoinibição crônica e dinâmica. Adicionalmente, investigaram-se as características da distribuição no rendimento de óleos voláteis nos diferentes órgãos das plantas.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições experimentais

O experimento foi realizado no viveiro da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W), onde o clima é do tipo Afii segundo a classificação de Bastos (1972) com temperatura média anual de 27°C±5 e a precipitação anual em torno de 2200 mm, com um período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100 mm) e um chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300 mm). As plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), com cerca de 20 cm, foram provenientes de regeneração natural na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM). As plantas jovens das duas espécies foram cultivadas em substrato composto por mistura de terraço e areia (2:1, v/v) em vasos plásticos, com capacidade para 10 Kg, e mantidas em viveiro com sombreamento de 70% durante 18 meses. Após esse período, as plantas foram selecionadas segundo a uniformidade de sua altura (cerca de 50±5 cm) e estado fitossanitário, sendo distribuídas em dois tratamentos (n=10): T_S = Tratamento de sombreamento, obtido com tela de poliolefina (sombrite), com capacidade de sombreamento de 70% (500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); e T_L = Tratamento de alta irradiância (pleno sol, cerca de 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As plantas foram avaliadas diariamente por um período de 24 dias, os quais foram subdivididos em intervalos de oito dias, para observação das respostas relativas ao “choque” inicial em consequência da mudança de ambiente, o qual se caracterizou principalmente por alterações na superfície foliar, e à aclimação. Para tais propósitos foram analisadas as variáveis referentes às trocas gasosas (fotossíntese líquida, respiração no escuro, condutância estomática, transpiração) e fluorescência da clorofila *a*, sendo a extração e quantificação de óleos voláteis realizadas no término do experimento.

2.2. Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (*A*), respiração no escuro (*R_d*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*g_s*) foi realizada em cinco indivíduos por tratamento utilizando-se analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). Os dados

foram coletados entre 9:00 e 11:00, em folhas completamente expandidas situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados.

Para cada tratamento foi selecionada uma folha por planta para compor a repetição, sendo realizadas dez leituras em cada folha. Para o monitoramento do efeito dos tratamentos (T_S = baixa irradiância, e T_L = alta irradiância), a fotossíntese líquida (A), a respiração no escuro (R_d), a condutância estomática (g_s), a transpiração (E) e o déficit de pressão de vapor (VPD_L) foram determinados diariamente a cada semana, de modo pontual, ajustando-se a irradiância do equipamento para 0 ou 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, uma vez que as duas espécies apresentaram saturação da fotossíntese com intensidades de 500 a 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, estando o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente da fonte de luz diíodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LICOR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 minutos. Em seguida, os dados foram coletados à medida que as folhas se adaptavam às novas condições luminosas, iniciando-se a coleta a 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a determinação da respiração no escuro (R_d) e depois, a 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$) e a eficiência intrínseca no uso da água ($\text{EIUA} = A/g_s$) foram calculadas a partir dos valores de fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s).

2.3. Eficiência fotoquímica do fotossistema II

A eficiência fotoquímica do FSII foi determinada pelas leituras da razão F_v/F_m medidas no período da antemanhã e ao meio-dia em três épocas no decorrer do experimento (início, meio e fim), utilizando-se fluorômetro portátil (Plant Efficiency Analyser – PEA, MK2-9600 - Hansatech instruments, Norfolk, UK). Nestes procedimentos, folhas localizadas no terço médio da planta foram pré-condicionadas ao escuro durante 30 minutos e, então, submetidas a um pulso de alta intensidade de luz saturante ($2250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As avaliações foram realizadas em dez plantas por tratamento, conforme metodologia descrita por Gonçalves e Santos Junior (2005), com pequenas modificações, como o tempo da completa oxidação dos centros de reação de 20 para 30 minutos.

2.4. Determinação do rendimento de óleos voláteis

Para a obtenção do rendimento de óleos, todos os indivíduos amostrados foram coletados e seccionados em raiz, caule e folhas. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel para posterior secagem em estufa a 40°C até massa constante. Os óleos voláteis foram extraídos por hidrodestilação de acordo com a metodologia descrita por Clevenger (1928). Para proceder a extração em sistema Clevenger, o material vegetal foi triturado em moinho Watman®, obtendo-se partículas com tamanhos de 0,075 a 2,00 mm. Para cada extração foram pesadas três amostras de 20 g de cada órgão, obtidas de uma amostra única. Tais amostras foram acondicionadas em balões de fundo redondo de 1000 mL com 500 mL de água destilada e seis pedras de ebulição. A extração foi realizada durante 3,5 horas, mantendo-se a temperatura em 100°C, sendo o rendimento de óleos voláteis calculado a partir da porcentagem do volume de óleo capturado pela massa da amostra (Chaar, 2000).

2.3. RESULTADOS

A fotossíntese líquida diferiu entre semanas, espécies e tratamentos. No que diz respeito aos tratamentos, as espécies apresentaram valores diferentes de fotossíntese (Tabela 1). *Aniba rosaeodora* ($4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) teve fotossíntese líquida maior que *Aniba canelilla* ($3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Entre os tratamentos, as médias foram $5,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de sombra e $3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de luz. Ao longo das semanas, a fotossíntese diminuiu, sendo $6,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na 1ª semana, $3,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana e $3,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na terceira semana (Tabela 1).

Nos dois tratamentos, a fotossíntese líquida diminuiu a partir da segunda semana. Apesar de não haver diferença significativa entre os valores de fotossíntese líquida da segunda e da terceira semana nos dois tratamentos, observou-se tendência ao aumento da assimilação na terceira semana em ambas as espécies no tratamento de luz (Tabela 1).

O tratamento de sombra, em *A. rosaeodora*, apresentou valores mais elevados de assimilação que o tratamento de luz nas três semanas de avaliação (Tabela 1). Os respectivos valores de fotossíntese observados para os tratamentos de luz e de sombra de *A. rosaeodora* foram $5,6$ e $8,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 1), $3,7$ e $5,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) e $4,1$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 1). Em *A. canelilla*, os valores médios de fotossíntese líquida foram semelhantes entre os tratamentos, exceto na segunda semana, em que o tratamento de sombra apresentou maior taxa de assimilação líquida que o de luz. Tais valores nos tratamentos de sombra e de luz foram, respectivamente, $6,9$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $4,0$ e $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $3,3$ e $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana) (Tabela 1).

Comparando os tratamentos entre as espécies fica evidente que elas apresentaram valores bastante próximos de assimilação líquida, exceto na segunda semana, em que *A. rosaeodora* apresentou maiores valores de fotossíntese líquida (Tabela 1). No tratamento a pleno sol, as médias de assimilação líquida para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, respectivamente, $5,6$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 1), $3,7$ e $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) e $4,1$ e $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 1). Por outro lado, no tratamento de sombra, as médias observadas foram $8,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $6,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na primeira semana do experimento; $5,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $4,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na segunda semana, e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $3,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na última semana do experimento (Tabela 1).

Os maiores valores de fotossíntese líquida foram observados no tratamento de sombra

de *A. rosaeodora*, não diferindo entre os demais tratamentos de ambas as espécies, excetuando a assimilação líquida de *A. canelilla* na segunda semana no tratamento de luz ($1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que foi a menor observada (Tabela 1).

Tabela 1: Fotossíntese líquida (A), em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz acompanhadas durante três semanas (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
1	5,7±0,9aAα ²	6,9±1,6aAα ¹²	5,6±0,8aBα ²	8,7±2,6aAα ¹	6,7 ^a
2	1,6±0,7bBβ ³	4,0±1,2bAβ ²	3,7±1,3bBα ²	5,9±1,6bAα ¹	3,4 ^b
3	3,0±1,0bAα ²	3,3±1,0bAβ ²	4,1±1,1bBα ²	5,7±1,4bAα ¹	3,7 ^b
Médias	Espécies		Tratamentos		4,1
	<i>Aniba canelilla</i>		Luz	3,6B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		Sombra	5,3A	

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas comparam entre semanas um tratamento para cada espécie

Letras maiúsculas comparam entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas comparam o mesmo tratamento entre as espécies

Números comparam entre todos os tratamentos das duas espécies a cada semana

A respiração foi semelhante entre as espécies, mas exibiu valores diferentes entre semanas e entre espécies, sendo, em média, $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ao longo das semanas os tratamentos diferiram entre si ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Nas espécies, a respiração média foi de $0,54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *A. canelilla* e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *A. rosaeodora*. Entre os tratamentos, as médias foram $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de luz e $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de sombra. Ao longo das semanas, a respiração aumentou, sendo $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na 1ª semana, $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na terceira semana (Tabela 2).

Em ambas as espécies, os valores das taxas respiratórias não exibiram diferenças ao longo das semanas no tratamento de sombra e não diferiu entre espécies na primeira semana, sendo $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em *A. canelilla* e $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em *A. rosaeodora*. Na segunda semana, *A. canelilla* ($0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) exibiu respiração média maior que *A. rosaeodora* ($0,4$

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). No entanto, na terceira semana, a situação se inverteu com maior respiração em *A. rosaeodora* ($0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que em *A. canelilla* ($0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 2).

Nos tratamentos de luz das duas espécies, as taxas de respiração aumentaram a partir da segunda semana. Em *A. canelilla*, os valores médios da respiração foram $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $0,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana). Já em *A. rosaeodora*, os valores médios da respiração foram $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana). Nesse tratamento, ao longo das semanas, não houve diferenças entre as espécies (Tabela 2).

Na primeira semana, os valores de respiração entre os dois tratamentos foram semelhantes entre si. Já na segunda e na última semana do experimento, os tratamentos de sombra apresentaram menores valores médios de respiração (Tabela 2).

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), ao longo de três semanas, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
1	$0,5 \pm 0,2 \text{aA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,0 \text{aA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{aA}\alpha^1$	$0,5 \pm 0,0 \text{aA}\alpha^1$	0,5 ^a
2	$0,6 \pm 0,2 \text{abA}\alpha^1$	$0,5 \pm 0,1 \text{aA}\alpha^{12}$	$0,6 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^2$	0,5 ^b
3	$0,7 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{aB}\alpha^3$	$0,6 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^{12}$	$0,5 \pm 0,1 \text{aBA}\alpha^{23}$	0,6 ^b
Médias	Espécies		Tratamentos		0,5
	<i>Aniba canelilla</i>		0,5 α	Luz 0,6 B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,6 α	Sombra 0,5 A	

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação, a cada semana, entre todos os tratamentos das duas espécies

Assim como a fotossíntese, a condutância estomática diferiu entre semanas, espécies e tratamentos (Tabela 3). Também houve diferenças para os valores de condutância entre os tratamentos de sombra e pleno sol (Tabela 3).

A. rosaeodora ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) teve condutância estomática menor que *A. canelilla*

($0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Entre os tratamentos, as médias foram $0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o tratamento de sombra e $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para o tratamento de luz. A condutância estomática foi maior no início do experimento, sendo $0,09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na 1ª semana, $0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na segunda semana e $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na terceira semana (Tabela 3).

Em *A. canelilla*, os valores médios de condutância foram semelhantes entre tratamentos, sendo $0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na 1ª semana, $0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na 2ª semana, e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na última semana. Já para *A. rosaeodora*, a condutância foi maior no tratamento de sombra, exceto na última semana, onde os valores foram iguais, sendo $0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na 1ª semana, $0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na 2ª semana, e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_L) e $0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (T_S) na última semana (Tabela 3).

Tabela 3: Condutância estomática (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
	Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	$0,07 \pm 0,02 a A \alpha^2$	$0,08 \pm 0,02 a A \beta^2$	$0,09 \pm 0,04 a B \alpha^2$	$0,15 \pm 0,07 a A \alpha^1$	0,09 ^a	
2	$0,02 \pm 0,07 b A \alpha^2$	$0,03 \pm 0,01 b A \beta^2$	$0,04 \pm 0,01 b B \alpha^2$	$0,09 \pm 0,04 b A \alpha^1$	0,04 ^b	
3	$0,03 \pm 0,02 b A \beta^2$	$0,03 \pm 0,02 b A \beta^2$	$0,06 \pm 0,02 b A \alpha^{12}$	$0,08 \pm 0,03 b A \alpha^1$	0,05 ^b	
Médias	Espécies		Tratamentos		0,05	
	<i>Aniba canelilla</i>		0,04 β	Luz		0,05 ^B
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,07 α	Sombra		0,07 ^A

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas comparam entre semanas

Letras maiúsculas comparam entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas comparam o mesmo tratamento entre as espécies

Números comparam entre todos os tratamentos das duas espécies em cada semana

Comparando os tratamentos entre as espécies, verificou-se que as plantas do tratamento a pleno sol apresentaram valores próximos para a condutância estomática, exceto na última semana, em que as plantas de *A. rosaeodora* exibiram maiores valores quando comparados àqueles exibidos pelas plantas de *A. canelilla* (Tabela 3). Nesse tratamento, os

valores médios de condutância para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, 0,09 e 0,07 mol m⁻² s⁻¹ (semana 1), 0,04 e 0,02 mol m⁻² s⁻¹ (semana 2) e 0,06 e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (semana 3), respectivamente. No tratamento de sombra, a condutância média observada para *A. canelilla* foi cerca de duas vezes menor que a observada para *A. rosaeodora*, sendo 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) e 0,15 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 0,09 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) na segunda semana, e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) na terceira semana (Tabela 3). Em cada semana de avaliação, os maiores valores de condutância ocorreram no tratamento de sombra de *Aniba rosaeodora*, sendo que os demais tratamentos de ambas as espécies não diferiram entre si (Tabela 3).

A transpiração foi significativamente diferente entre semanas, espécies e tratamentos (Tabela 4). Dentro dos tratamentos, as espécies apresentaram valores distintos de transpiração. Tal resultado também foi observado para fotossíntese líquida e condutância estomática.

A. rosaeodora (1,41 mol m⁻² s⁻¹) teve transpiração maior que *A. canelilla* (0,9 mol m⁻² s⁻¹). Entre os tratamentos, as médias foram 1,4 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de sombra e 0,9 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de luz. A transpiração foi maior no início do experimento, sendo 1,8 mol m⁻² s⁻¹ na 1ª semana, 0,9 mol m⁻² s⁻¹ na 2ª semana e 1,0 mol m⁻² s⁻¹ na 3ª semana (Tabela 4).

Em *A. canelilla*, os valores médios de transpiração foram semelhantes entre tratamentos, sendo 1,4 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 0,5 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 0,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 4). Esse mesmo resultado foi observado para *A. rosaeodora*, exceto na segunda semana, em que o tratamento de sombra apresentou o dobro da transpiração do tratamento a pleno sol. Os valores médios de transpiração observados para os tratamentos ao longo das semanas foram: 2,5 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 1,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,2 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 4).

Comparando os tratamentos entre as espécies fica evidente que, no tratamento a pleno sol, as espécies apresentaram valores similares de transpiração na primeira semana, sendo menor em *A. canelilla* a partir da segunda semana (Tabela 4). Os valores médios observados para este tratamento em *A. canelilla* e *A. rosaeodora* foram, respectivamente, 1,4 e 1,8 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 1), 0,5 e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 2) e 0,8 e 1,2 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 3). Em

geral, no tratamento de sombra, *A. canelilla* exibiu cerca de metade da transpiração observada em *A. rosaeodora*, sendo as médias observadas iguais a $1,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $2,5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; $0,9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $1,9 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na segunda semana, e $0,8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $1,6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na terceira semana (Tabela 4).

Em cada semana de avaliação, os maiores valores de transpiração foram observados no tratamento de sombra de *A. rosaeodora*, sendo que os demais tratamentos de ambas as espécies não diferiram entre si (Tabela 4).

Tabela 4: Transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
	Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	$1,4 \pm 0,3 \text{aA}\alpha^2$	$1,6 \pm 0,3 \text{aA}\beta^2$	$1,8 \pm 0,7 \text{aA}\alpha^{12}$	$2,5 \pm 0,7 \text{aA}\alpha^1$	1,8 ^a	
2	$0,5 \pm 0,2 \text{bA}\beta^2$	$0,9 \pm 0,3 \text{bA}\beta^2$	$0,9 \pm 0,2 \text{bB}\alpha^2$	$1,9 \pm 0,8 \text{abA}\alpha^1$	0,9 ^b	
3	$0,8 \pm 0,4 \text{bA}\beta^2$	$0,8 \pm 0,3 \text{bA}\beta^2$	$1,2 \pm 0,4 \text{bA}\alpha^{12}$	$1,6 \pm 0,5 \text{bA}\alpha^1$	1,0 ^b	
Médias	Espécies		Tratamentos		1,1	
	<i>Aniba canelilla</i>		0,9 ^β	Luz		0,9 ^B
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,4 ^α	Sombra		1,4 ^a

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação, a cada semana, entre todos os tratamentos das duas espécies

A eficiência no uso da água foi semelhante entre tratamentos e semanas em que o experimento ocorreu, diferindo apenas entre espécies. Também não foi observado nenhum tipo de interação (Tabela 5).

Os valores médios para eficiência no uso da água para as espécies foram $4,3 \text{ mmol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $3,6 \text{ mmol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*). Já para os tratamentos, esses valores foram $3,8 \text{ mmol mol}^{-1}$ para o tratamento a pleno a sol e $4,1 \text{ mmol mol}^{-1}$ para o tratamento de sombra (Tabela 5). Ao longo das semanas, a EUA foi $2,9 \text{ mmol mol}^{-1}$ (1^a semana), $3,9 \text{ mmol}$

mol⁻¹ (2ª semana) e 3,9 mmol mol⁻¹ (3ª semana) (Tabela 5). Portanto, verificou-se aumento na ordem de 34% na EUA entre a primeira e a terceira semana da aplicação dos tratamentos (Tabela 5).

Em *A. canelilla*, os valores médios de EUA para os tratamentos foram 4,4 mmol mol⁻¹ (T₁) e 4,5 mmol mol⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 4,8 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,6 mmol mol⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 4,3 mmol mol⁻¹ (T₁) e 4,2 mmol mol⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 5). Para *A. rosaeodora*, tais valores foram 3,5 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,3 mmol mol⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 3,2 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,9 mmol mol⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 3,5 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,5 mmol mol⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 5).

Tabela 5: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 μmol m⁻² s⁻¹; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 μmol m⁻² s⁻¹) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
	Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	4,5±1,0aAα ¹	4,4±0,9aAα ¹	3,3±1,1aAα ¹	3,5±0,6aAα ¹	3,9 ^a	
2	3,6±1,0aAα ¹²	4,8±0,9aAα ¹	3,9±1,1aAα ¹²	3,2±0,6aAβ ²	3,9 ^a	
3	4,2±1,1aAα ¹	4,3±0,9aAα ¹	3,5±0,7aAα ¹	3,5±0,2aAα ¹	3,9 ^a	
Médias	Espécies		Tratamentos		4,3	
	<i>Aniba canelilla</i>		4,2α	Luz		3,8 ^a
	<i>Aniba rosaeodora</i>		3,5β	Sombra		4,1 ^a

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação, a cada semana, entre todos os tratamentos das duas espécies

Os valores da eficiência intrínseca no uso da água para tratamentos e semanas foram similares, diferindo apenas entre as espécies. A interação entre espécies *versus* tratamentos também foi observada (Tabela 6).

Os valores médios para eficiência intrínseca no uso da água para as espécies foram 78,4 μmol mol⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 97,9 μmol mol⁻¹ (*A. canelilla*) (Tabela 6). No que diz respeito aos tratamentos, esses valores foram 86,4 μmol mol⁻¹ para o tratamento a pleno sol e

93,4 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, para o tratamento de sombra (Tabela 6). Ao longo das semanas, as EIUAs foram 81,0 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (1ª semana), 94,1 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (2ª semana) e 98,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (3ª semana) (Tabela 6).

Em *A. canelilla*, os valores médios de EIUA foram semelhantes entre tratamentos (Tabela 6). Os valores médios de EIUA de *A. canelilla* nos tratamentos foram 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na 1ª semana, 122,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 83,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na 2ª semana e 101,1 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 98,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na última semana (Tabela 6). Já para *A. rosaeodora*, a EIUA não diferiu entre tratamentos, sendo 61,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 74,7 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na 1ª semana, 71,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 91,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na 2ª semana e 77,6 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₁) e 75,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T₂) na última semana (Tabela 6).

Tabela 6: Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
	Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	90,5±19,9Aα ¹	90,9±16,2bAα ¹	74,7±22,5aAα ¹	61,5±18,6aAα ¹	81,0a	
2	83,9±22,1bBα ²	122,3±22,6aAα ¹	91,9±30,9aAα ¹²	71,5±16,5aAβ ²	94,1a	
3	98,3±20,7aAα ¹	101,1±21,2abAα ¹	75,9±14,1aAα ¹	77,6±16,1aAα ¹	87,7a	
Médias	Espécies		Tratamentos		101,8	
	<i>Aniba canelilla</i>		97,9α	Luz		86,4 ^a
	<i>Aniba rosaeodora</i>		78,4β	Sombra		93,4 ^a

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação, a cada semana, entre todos os tratamentos das duas espécies

Comparando os tratamentos entre as espécies, ficou evidente que as plantas do tratamento a pleno sol apresentaram valores similares de EIUA (Tabela 6). Nesse tratamento, os valores médios de EIUA para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, respectivamente, 74,7 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 1), 91,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 83,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 2) e 75,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 98,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 6). Já no tratamento de sombra, a

EIUA observada foi, em geral, semelhante entre as espécies, exceto na segunda semana, em que *A. canelilla* teve maior EIUA que *A. rosaeodora* (Tabela 6). Os valores médios de EIUA para o tratamento de sombra foram $90,9 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $61,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; $122,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $71,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na segunda semana, e $101,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $77,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na última semana do experimento (Tabela 6). Os menores valores de EIUA ocorreram na segunda semana do experimento no tratamento de luz de *A. canelilla* e no tratamento de sombra de *A. rosaeodora* (Tabela 6).

O rendimento máximo do fotossistema II (F_v/F_m) foi semelhante entre as espécies, mas foi diferente entre períodos (época em que as determinações foram realizadas), tratamentos e horários das mensurações (antemanhã e meio-dia) (Tabela 7). Também se observou interações entre períodos *versus* tratamentos, períodos *versus* horários e período *versus* espécie *versus* tratamento (Tabela 7).

As médias de F_v/F_m para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* foram ambas 0,5 (Tabela 7). Nos tratamentos, a média foi 0,7 para a condição de sombra e 0,4 para o tratamento a pleno sol. Na antemanhã, a média de F_v/F_m foi 0,6 e 0,4 ao meio-dia (Tabela 7). A relação F_v/F_m foi determinada no início, meio e fim do experimento. Esses valores foram diferentes entre si, sendo 0,6 no início do experimento, 0,5 no meio do experimento e 0,5 no fim (Tabela 7).

Ao longo das semanas, não se verificou alterações nos valores médios de F_v/F_m , exceto para os tratamentos de sombra de ambas as espécies ao meio-dia, que, no meio do experimento, apresentou uma queda do rendimento quântico máximo de fotossistema II. Apesar dessa diminuição de F_v/F_m , houve recuperação no fim do experimento (Tabela 7).

Tanto *A. rosaeodora* quanto *A. canelilla* apresentaram F_v/F_m maiores no tratamento de sombra na antemanhã. Em *A. rosaeodora*, os valores de F_v/F_m na antemanhã do tratamento de sombra foram cerca de duas vezes maiores que no tratamento a pleno sol (Tabela 7).

Comparando-se todos os fatores analisados, ficou evidente que os maiores valores de F_v/F_m ocorrem em *A. rosaeodora* no tratamento de sombra na antemanhã, seguida de *A. canelilla* no mesmo tratamento e horário (Tabela 7). Os menores valores de eficiência foram encontrados nos tratamentos a pleno sol, principalmente no início e ao final do experimento, nas determinações realizadas ao meio-dia e, no início do experimento, nas mensurações realizadas durante a antemanhã (Tabela 7).

Tabela 7: Eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) na antemanhã (AM) e ao meio-dia (MD) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

		Espécies								Médias de Período
		<i>Aniba canelilla</i>				<i>Aniba rosaeodora</i>				
Período	Tratamentos									
	Luz		Sombra		Luz		Sombra			
	Horário									
	MD	AM	MD	AM	MD	AM	MD	AM		
1	0,4±	0,5±	0,6±	0,7±	0,4±	0,5±	0,7±	0,7±	0,6a	
	0,1aB ⁴	0,1aB ²³⁴	0,1aA ¹²³	0,0aA ¹²	0,1aB ⁴	0,1aB ³⁴	0,1aA ¹²³	0,1aA ¹		
2	0,3±	0,5±	0,3±	0,7±	0,3±	0,5±	0,4±	0,7±	0,5b	
	0,1aA ³	0,2aB ²	0,0bA ³	0,1aA ¹	0,2aA ²³	0,2aB ²	0,1bA ²³	0,1aA ¹		
3	0,3±	0,5±	0,7±	0,7±	0,3±	0,5±	0,7±	0,7±	0,5b	
	0,1aB ⁴	0,2aB ²³	0,0aA ¹²	0,0aA ¹	0,1aB ⁴	0,2aB ³	0,0aA ¹	0,1aA ¹		
Médias	Espécies		Tratamentos		Horários					
	<i>Aniba canelilla</i>	0,49 α	Luz	0,42B	Meio-dia		0,41b		0,50	
<i>Aniba rosaeodora</i>	0,51 α	Sombra	0,68A	Antemanhã		0,57 ^a				

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos no mesmo horário

Números: comparação, a cada semana, entre todos os tratamentos das duas espécies

Os valores de rendimento quântico máximo observados em *A. canelilla* no período da antemanhã e ao meio-dia no tratamento de luz foram, respectivamente, 0,5 e 0,4 (1ª semana), 0,5 e 0,3 (2ª semana) e 0,5 e 0,3 (3ª semana) (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, os valores verificados de F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia foram os seguintes: 0,5 e 0,4 (1ª semana), 0,5 e 0,3 (2ª semana) e 0,5 e 0,3 (3ª semana), respectivamente (Tabela 7). No tratamento de sombra em *A. canelilla*, os valores de F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia foram 0,7 e 0,6 (1ª semana), 0,7 e 0,3 (2ª semana) e 0,7 e 0,7 (3ª semana), respectivamente (Tabela 7). Por outro lado, em *A. rosaeodora* foram observados os seguintes valores para F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia: 0,7 e 0,7 (1ª semana), 0,7 e 0,4 (2ª semana) e 0,7 e 0,7 (3ª semana) (Tabela 7),

respectivamente.

O rendimento de óleos voláteis foi maior nas folhas e semelhante entre caule e raiz (Tabela 8). Os tratamentos e as espécies foram semelhantes entre si, exceto o rendimento de óleos na folha de *A. canelilla* no tratamento a pleno sol, bem como na raiz de *A. rosaeodora*, em ambos os tratamentos, que apresentaram os menores rendimentos observados no experimento (Tabela 8).

Os valores médios de rendimento de óleos voláteis observados para *A. canelilla* no tratamento a pleno sol foram 0,7% (caule), 1,2% (folha) e 0,8% (raiz) (Tabela 8). Para as plantas do tratamento de sombra, tais valores foram 0,9% (caule), 1,7% (folha) e 1,0% (raiz) (Tabela 8). Em *A. rosaeodora*, os valores médios de rendimento de óleos voláteis observados para *Aniba rosaeodora* no tratamento a pleno sol foram 0,9% (caule), 1,7% (folha) e 0,5% (raiz) (Tabela 8). Por último, nas plantas do tratamento de sombra, os valores observados foram 0,8% (caule), 1,9% (folha) e 0,3% (raiz) (Tabela 8).

Tabela 8: Rendimento de óleo volátil em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Órgãos	Espécies				Médias de Órgãos
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
Caule	0,7±0,1bA α^1	0,9±0,0bA α^1	0,9±0,0bA α^1	0,8±0,0bA α^1	0,8b
Folha	1,2±0,5aB β^2	1,7±0,2aA α^1	1,7±0,0aA α^1	1,9±0,0aA α^1	1,6 ^a
Raiz	0,8±0,1abA α^{12}	1,0±0,2bA α^1	0,5±0,0cA α^2	0,3±0,0cA α^2	0,7b
Médias	Espécies		Tratamentos		1,0
	<i>Aniba canelilla</i>	1,1 α	Luz	0,9 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	1,0 α	Sombra	1,1 ^a	

Medias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre órgãos

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação, em cada órgão, entre todos os tratamentos das duas espécies

2.4. DISCUSSÃO

A transferência das plantas do ambiente sombreado (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para pleno sol (1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) resultou no aumento da atividade respiratória (22,4%) nas plantas a pleno sol em relação às mantidas à sombra, enquanto que estas últimas mantiveram suas taxas inalteradas ao longo do tempo (Tabela 2).

Observando-se estas respostas em relação ao tempo de experimento, percebe-se que ocorreu um incremento da atividade respiratória de 31% entre o início e o fim do experimento. Entretanto, este aumento ocorreu como resposta imediata ao estresse luminoso, e se manteve estável até o final das avaliações indicando certa acomodação do processo a um nível mais elevado de respiração no escuro (Tabela 2). Alterações no metabolismo respiratório estão relacionadas ao atendimento das demandas para crescimento (Silva *et al.*, 2001) ou, em caso de estresse, para suprir os custos energéticos da aclimação (Larcher, 1995).

Embora não tenham ocorrido diferenças entre as espécies, *A. canelilla* apresentou um aumento de 46% da respiração, enquanto em *A. rosaeodora* esse incremento foi de 53,6%, comparando-se o início e fim do experimento. Este fato pode estar associado a maior assimilação líquida verificada em *A. rosaeodora* (Tabela 1). Plantas jovens de *A. rosaeodora*, com nove meses, em situação semelhante, intensificaram a respiração quando submetidas à alta irradiância (de $0,6$ a $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Gonçalves *et al.*, 2005). Os resultados indicaram intervalo menor de variação de R_d (de $0,4$ a $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Neste caso, é possível que a idade das plantas seja um fator responsável por esta diferença, sugerindo que plantas mais velhas apresentam melhor desempenho frente ao estresse.

As características fotossintéticas e suas relações (EUA e EIUA), de maneira geral, apresentaram padrão semelhante de respostas nas duas espécies (Tabelas 1, 5 e 6), de forma que, após um choque inicial pela mudança de ambiente (observado na primeira semana), as plantas apresentaram uma estabilização, em nível mais baixo, de todas as variáveis analisadas, no decorrer do experimento. Conforme esperado, o ambiente a pleno sol resultou em uma condição de estresse que foi sinalizada pelos componentes do processo fotossintético, como a fotossíntese líquida (Tabela 1) e a eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) (Tabela 7).

Os efeitos da mudança de ambiente sobre a fotoquímica, observados pela redução da razão F_v/F_m , explicam parte do declínio observado na fotossíntese. As determinações desta

variável foram realizadas em dois horários no sentido de avaliar a magnitude da fotoinibição crônica (antemanhã) e dinâmica (meio-dia), verificando-se respostas semelhantes entre as duas espécies. Assim, detectou-se fotoinibição nas plantas sob os dois ambientes ao longo do experimento. Esta condição nas plantas sob sombreamento está provavelmente relacionada às características do período experimental, no qual se observou alteração na temperatura e no nível de irradiância, entre a instalação do experimento e a semana seguinte. Nesta semana, houve redução na quantidade de nuvens, o que permitiu a chegada de maior nível de irradiância e a elevação da temperatura. Os efeitos destas flutuações implicaram em declínio em F_v/F_m e nas variáveis de trocas gasosas (condutância, transpiração e, por conseguinte, assimilação de carbono). Então, sob sombreamento, as espécies apresentaram o mesmo nível de fotoinibição crônica. Entretanto, ao meio-dia, *A. canelilla* apresentou melhor desempenho que *A. rosaeodora* (Tabela 7).

Comportamento semelhante tem sido verificado com várias espécies quando submetidas à alta irradiância (Krause et al 2001; Zhang *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2005), inclusive em plantas jovens de *A. rosaeodora* (Gonçalves *et al.*, 2005). Também foi registrado um dano crônico ao processo de conversão de energia, com valor médio de F_v/F_m de 0,6. De qualquer forma, este valor também indicou alguma capacidade de recuperação desses processos, aproximadamente 28%, em relação ao valor observado no horário de maior estresse, embora persista, principalmente nas plantas sob estresse luminoso, um prejuízo crônico ao fotossistema II.

No que se refere à fixação de carbono, as implicações dos níveis de luz sobre as trocas gasosas foram investigadas pelas medidas da condutância estomática, da transpiração, da condutância do mesófilo (C_i) e das relações que resultam na determinação da eficiência no uso da água (EUA) e na eficiência intrínseca no uso da água (EIUA).

Caracteristicamente, *A. rosaeodora* apresentou fotossíntese líquida cerca de 25% maior que *A. canelilla*. Observando-se as respostas ao longo do tempo de experimento, verificou-se um declínio da assimilação na segunda semana em todos os tratamentos, e em seguida uma estabilização em nível mais baixo ($p \leq 0,05$). A queda generalizada na assimilação de carbono pode ter sido consequência das flutuações observadas na temperatura e no nível de irradiância, entre o período de instalação do experimento e a segunda semana de avaliação. O fato é que pequenas alterações da temperatura reduzem a fotossíntese, pelo prejuízo que causam à estrutura das membranas dos tilacóides e pela desativação da rubisco (Sharkey, 2005). Contudo, observando-se os valores médios de fotossíntese, condutância estomática e

transpiração, verifica-se que a condição de sombreamento possibilitou desempenho com valores percentuais maiores em relação ao ambiente a pleno sol, sendo estes percentuais, 47%, 33% e 28%, respectivamente. As respostas à irradiância expressam a plasticidade que uma espécie apresenta às alterações dos níveis de luz no ambiente. Embora o estágio sucessional ao qual uma espécie pertença gere expectativas quanto ao seu desempenho frente ao estresse, estas respostas variam bastante, de forma que plantas de sucessão secundária como o Ipê-branco alcançam maior desempenho quando sombreadas (Tatagiba *et al.*, 2006). Resultados semelhantes foram verificados em *A. rosaeodora* e em *Cupania vernalis*, onde se registrou maior taxa fotossintética quando as plantas estavam a pleno sol ou sob leve sombreamento. No entanto, sob sombreamento, as características como crescimento, teor de pigmentos e nitrogênio na folha apresentaram melhores resultados que a pleno sol (Gonçalves *et al.*, 2005; Júnior Lima *et al.*, 2005).

A. rosaeodora e *A. canelilla* exibiram padrão semelhante de resposta em relação à assimilação de carbono nos dois níveis de luz, porém observou-se menor impacto do estresse por alta irradiância sobre *A. rosaeodora* ao longo do tempo, especialmente na segunda semana, em que as plantas de *A. canelilla* apresentaram menor fotossíntese, de forma que as duas espécies, no tratamento a pleno sol, diferiram apenas neste período. Em seguida, houve estabilização nos valores da fotossíntese. Em termos do desempenho das espécies perante o estresse, observou-se que *A. rosaeodora* também apresentou maiores valores de condutância estomática (43%) e de transpiração (39%). Estas características concorrem para a manutenção de taxas de fotossíntese relativamente altas, pois não há restrição à entrada de carbono, enquanto a maior transpiração contribui para o equilíbrio da temperatura necessário a um balanço energético satisfatório na folha (Sharkey, 2005). No entanto, nas relações definidas pela EUA e EIUA, que explicam boa parte do desempenho de uma espécie perante situações de estresse, *A. canelilla* se mostrou mais eficiente que *A. rosaeodora*, cerca de 21% e 20%, respectivamente. A EUA traduz, em termos gerais, a eficiência no consumo de água para assimilar carbono e produzir biomassa. Sendo assim, maior EUA pode estar associada à maior capacidade de refixar carbono (Tambussi *et al.*, 2007).

Contudo, não houve alteração nas concentrações de carbono interno entre as espécies ou em resposta às condições de luz. Estas observações sugerem que, tal como verificado com a eficiência intrínseca do fotossistema II, houve comprometimento da atividade metabólica da fixação de CO₂ nas duas espécies uma vez que, mesmo com o declínio da condutância estomática, não houve alteração na concentração de C_i (Konrad *et al.*, 2005).

As espécies apresentaram comportamento semelhante, quanto ao conteúdo de óleo nas duas condições de luz (Tabela 8). Contudo, ao se observar o efeito dos tratamentos na distribuição de óleo em cada espécie, verifica-se que este se manteve inalterado em *A. rosaeodora*, onde o maior rendimento foi encontrado nas folhas, seguido do caule e menor em raízes, não havendo diferenças entre os tratamentos. Em contraste, em *A. canelilla*, ainda que o padrão de particionamento seja o mesmo, o rendimento de óleo das folhas a pleno sol foi menor que sob sombra e o rendimento da raiz não diferiu do rendimento foliar e do caule.

Embora a produção de terpenos esteja associada à fotossíntese, especialmente de monoterpenos que são biossintetizados a partir de 3PGA/piruvato na via do metil-eritritol-fosfato nos cloroplastos (Lichtenthaler, 1999), não se estabelece, em relação ao rendimento de óleos voláteis, um padrão de respostas à luz entre as espécies (Pinto *et al.*, 2007). Em espécies como *Lipia alba* (Ventrela e Ming, 2000) e *Baccharis trimera* (Silva *et al.*, 2006) verificou-se incremento nos teores de óleos em elevada irradiância, enquanto que em *Salvia officinalis* (Li *et al.*, 1996) e *Limanthes alba* (Jolliff *et al.*, 1993), ocorreu redução nos teores. Em *Ocimum selloi*, todavia, houve ausência de efeito da luz (Gonçalves, 2001).

A relação entre a biossíntese de óleos voláteis e o aparato fotossintético indica que maior rendimento destes compostos deverá ocorrer nas situações de maior assimilação fotossintética, fato que se verificou nas folhas de *A. canelilla*. Por outro lado, a manutenção no rendimento de óleo observado em *A. rosaeodora*, na condição a pleno sol, sugere maior estabilidade deste metabolismo nesta espécie.

2.5. CONCLUSÃO

Aniba rosaeodora é uma espécie melhor adaptada a níveis mais elevados de irradiância, o que se conclui tanto pelas características das trocas gasosas quanto pela biossíntese de óleos voláteis, que se mantiveram semelhantes nas duas condições.

Aniba canelilla apresentou maior eficiência no uso da água, aspecto vantajoso quando sob condições naturais combinam-se os estresses por elevada irradiância e hídrico.

As duas espécies apresentaram capacidade de tolerância à transferência de ambiente sombreado para ambiente a plena luz, característica que facilita o manejo silvicultural destas plantas.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chaar, J. da S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. Master`s Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaves, M. M.; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodrigues, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osório, M. L.; Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*. v. 89, p. 907-916.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p. 467-468.
- Demmig-Adams, B; Adams III, W.W. 2006. Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist*, v. 172, p. 11–21.
- Dias, DP, Marengo, RA. 2006. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. *Photosynthetica*, v. 44, p. 235-240.
- Gonçalves, J.F. de C.; Santos Junior, U.M. dos 2005a. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 17, p. 307-313.
- Gonçalves, J.F. de C.; Barreto, D.C. de S.; Santos Junior, U.M. dos; Fernandes, A.V.; Sampaio, P. de T.B., Buckeridge, M.S. 2005b. Growth, photosynthesis and stress indicators in rosewood young plants (*Aniba rosaeodora* ducke) under different light intensities. *Braz. Journal of Plant Physiology*, v. 17, p. 325-334.
- Gonçalves, J. F. de C.; Marengo, R. A.; Vieira, G. 2001. Concentration of photosynthetic pigment and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.13, p. 149-157.
- Gottlieb, O.R.; Magalhães, M.T. 1959. Occurrence of 1-nitro-2-phenylethane in *Ocotea pretiosa* and *Aniba canelilla*. *Journal of Organic Chemistry*, v. 24, p. 2070-2071.
- Gottlieb, O. R.; Magalhães, M. T. 1960. Essential oil of the bark and wood of *Aniba canelilla*. *Perfumery and Essential Oil Record*, v. 51, p. 69-70.
- Guo, Y., Ma, Y.T., Zhan, Z.G., Li, B.G., Dingkuhn, M., Luquet, D., and de Reffye, P. 2006.

- Parameter optimization and field validation of the functional–structural model GREENLAB for maize. *Annals of Botany*, v. 97, p. 217-230.
- Konrad, M.L.F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, v. 64, p. 339-347.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environment*, v. 24, p. 1345-1352.
- Kuhn, U.; Rottenberger, S.; Biesenthal, T.; Wolf, A.; Schebeske, G.; Ciccioli, P.; Kesselmeier, J. 2004. Strong correlation between isoprene emission and gross photosynthetic capacity during leaf phenology of the tropical tree species *Hymenaea courbaril* with fundamental changes in volatile organic compounds emission composition during early leaf development. *Plant Cell Environ* 27: 1469–1485.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima. 2000. 531p.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, v. 25, p. 275–294.
- Li, Y.; Craker, L.; Poterr T. 1996. Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). *Acta Horticulturae*, v. 426, p. 419-427.
- Lichtenthaler, H. K. 1999. The 1- deoxy- D – xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 50, p. 47-65.
- Lovelock, C.E.; Kursar, T. A.; Skillman, J. B; Winter, K. 1998. Photoinhibition in tropical forest understorey species with short- and long-lived leaves. *Functional Ecology*, v. 12, p. 553-560.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, v. 21, p. 1311-1318.
- Marques, C.A. 2001. Importância econômica da família Lauraceae Lindl. *Floresta e*

- Ambiente*, v. 8, p. 195-206.
- Öquist, G.; Chow, W.S.; Anderson, J.M. 1992. Photoinhibition of photosynthesis represents a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. – *Planta*, v. 186, p. 450-460.
- Pinto J. E. B. P.; Cardoso J. C. W.; Castro E. M.; Bertolucci S. K.; Melo L. A.; Dousseau S. 2007. Aspectos morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. *Horticultura Brasileira*, v. 25, p. 210-214.
- Ribeiro, R.V.; Souza, G.M.; Oliveira, R.F.; Machado, E.C. 2005. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 28, p. 149-161.
- Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Vieira, G. e Spironello, W. R.; Ferraz, I.D.K. e Camargo, J.L.C. 2003. Silvicultura do Pau Rosa (*Aniba rosaeodora Ducke*). In: Higuchi, N. et al.,(orgs.). Projeto Jacaranda Fase II: *Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, v. 2, p. 179-189.
- Sangwan, N. S.; Farooqi, A. H. A.; Shabih, F.; Sangwan, R. S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, v. 34, p. 3-21.
- Sharkey, T. D. 2005. Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. *Plant, Cell and Environment*, v. 28, p. 269–277.
- Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R. E.; Coelho da Silva, J. F.; Erbesdobler, E. D. 2001. Diferenças varietais nas características fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, p. 1975-1983.
- Sharkey, T. D. 2005 Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. *Plant, Cell and Environment*, v. 28, p. 269–277.
- Silva, F.G.; Pinto, J. E. B. P.; Cardoso, M. G.; Nascimento, E. A.; Nelson, D. L.; Sales, J. F.; Mol, D. J. S. 2006. Influence of radiation level on plant growth, yield, and quality of essential oil in carqueja. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, p. 52-57.
- Tambussi, E. A.; Bort, J.; Araus, J. L. 2007. Water use efficiency in C₃ cereals under

- Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. *Annals of Applied Biology*, v. 15, p. 307-321.
- Dan Tatagiba, S.; Dardengo, M. C. J. D.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F. 2006. Influência de diferentes sombreamentos no comportamento fisiológico de duas espécies arbóreas em estado juvenil. *Anais do X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação* – Universidade do Vale do Paraíba, p. 2938-2941.
- Ventrella, M.C.; Ming, L.C. 2000. Produção de matéria seca e óleo essencial em folhas de erva-cidreira sob diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. *Horticultura Brasileira*, v. 18, p. 972-974.
- Wang, M.; Lincoln, D. E. 2004. Effects of light intensity and artificial wounding on monoterpene production in *Myrica cerifera* from two different ecological habitats. *Canadian Journal of Botany*, v. 82, p. 1501–1508.
- Yordanov, I.; Velikova, V.; Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, Special Issue, p. 187-206.

ANEXOS 2

Tabela 1: Análise de variância da fotossíntese em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	42,3**
Espécie (Sp)	1	32,4**
Tratamento (Trat)	1	45,1**
Sem X Sp	2	1,4ns
Sem X Trat	2	3,3ns
Sp X Trat	1	3,8*
Sem X Sp X Trat	2	1,5ns
Erro	64	1,4
Média		4,1
CV (%)		28,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância da respiração no escuro em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,2*
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamento (Trat)	1	0,2**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,1**
Sp X Trat	1	0,0ns
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	80	0,0
Média		-0,5
CV (%)		21,7

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância da condutância (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,0**
Espécie (Sp)	1	0,0**
Tratamento (Trat)	1	0,0**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,0ns
Sp X Trat	1	0,0*
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	64	0,0
Média		0,1
CV (%)		43,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância de transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante de três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	2,9**
Espécie (Sp)	1	7,3**
Tratamento (Trat)	1	2,8**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,3ns
Sp X Trat	1	0,8*
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	64	0,2
Média		1,1
CV (%)		34,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 5: Análise de variância da eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,0ns
Espécie (Sp)	1	9,4**
Tratamento (Trat)	1	0,2ns
Sem X Sp	2	0,2ns
Sem X Trat	2	0,5ns
Sp X Trat	1	1,1ns
Sem X Sp X Trat	2	1,5ns
Erro	64	0,8
Média		3,9
CV (%)		23,1

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 6: Análise de variância da eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	716,5ns
Espécie (Sp)	1	7031,4**
Tratamento (Trat)	1	34,9ns
Sem X Sp	2	3,8ns
Sem X Trat	2	247,2ns
Sp X Trat	1	2118,6*
Sem X Sp X Trat	2	1273,4ns
Erro	64	458,9
Média		88,7
CV (%)		24,2

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 7: Análise de variância da eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) na antemanhã e ao meio-dia em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Período (Per)	4	0,2**
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamento (Trat)	1	1,8**
Horário (H)	1	1,1**
Per X Sp	4	0,0ns
Per X Trat	3	0,1**
Per X H	3	0,1*
Sp X Trat	1	0,0ns
Sp X H	1	0,0ns
Trat X H	1	0,0ns
Per X Sp X Trat	3	0,0ns
Per X Sp X H	3	0,0ns
Per X Trat X H	2	0,1**
Sp X Trat X H	1	0,0ns
Per X Sp X Trat X H	2	0,0ns
Erro	280	0,0
Média		0,5
CV (%)		25,6

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 8: Análise de variância do rendimento de óleos voláteis folha, caule e raiz de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Sistemas (Sist)	1	0,1ns
Órgãos (Org)	2	2,1**
Sp X Sist	1	0,2*
Sp X Org	2	0,4**
Sist X Org	2	0,1ns
Sp X Sist X Org	2	0,0ns
Erro	12	0,0
Média		1,0
CV (%)		15,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

3. CAPÍTULO III

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E POTENCIAL DE ÁGUA NA FOLHA EM *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Resumo

A seca é o principal fator de estresse ambiental em plantas, especialmente nos estágios iniciais do desenvolvimento. Portanto buscou-se avaliar em plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla*, mantidas em casa de vegetação por 35 dias, os efeitos da supressão hídrica nas características fotossintéticas (A , $A_{\text{máx}}$, R_d , I_c , I_s , ϕ_a), nas trocas gasosas (g_s , E) e nas suas relações (EUA, EIUA), bem como sobre o crescimento em comprimento e em biomassa. Foram realizados dois tratamentos ($n=10$): I - controle, com irrigação homogênea diária e NI - déficit hídrico pela suspensão da rega até que as plantas atingissem fotossíntese próxima a zero. A seguir as plantas foram reidratadas e avaliadas por duas semanas. Paralelamente verificou-se a evolução do estado hídrico das plantas (Ψ_w) em resposta a suspensão crescente da rega, por um período de 24 dias divididos em quatro intervalos (T0, T8, T16 e T24). A assimilação e as trocas gasosas foram determinadas sob diferentes densidades de fluxos de fótons (PPFD), com o auxílio de IRGA de sistema aberto. $A_{\text{máx}}$ (fotossíntese máxima), R_d (respiração no escuro), I_c (irradiância de compensação), I_s (irradiância de saturação) e o ϕ_a (rendimento quântico aparente) foram obtidos a partir de curvas de luz (PPFD = 0 a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ajustadas segundo o modelo exponencial. Em NI, a alta variabilidade dos dados impossibilitou a avaliação destas variáveis. Semanalmente, foram determinados A , R_d , g_s , e E sob luminosidade de 0 ou 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O potencial hídrico das plantas (ψ_w) foi mensurado na ante-manhã (ψ_{pd}) e ao meio-dia (ψ_{md}) no início e até 24 dias de experimento. As espécies apresentaram respostas similares nas trocas gasosas, observadas em 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, sob 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a assimilação foi semelhante, mas as respostas foram distintas com relação às trocas gasosas. Em geral, o estresse hídrico limitou o crescimento nas duas espécies de forma semelhante e favoreceu uma maior alocação de biomassa para as raízes. Ambas responderam à reidratação com novos lançamentos foliares.

3.1. INTRODUÇÃO

As alterações no clima global indicam possíveis modificações na distribuição de chuvas nos diversos ecossistemas florestais do planeta, incluindo a Amazônia (Arnell, 1999). Tal perspectiva pode significar escassez de água por longos períodos na região e aumento da temperatura local, que por sua vez comprometem o metabolismo primário da planta, limitando a assimilação de carbono e o desenvolvimento dos vegetais (Bonan, 2008). Em longo prazo, tais mudanças podem pôr em risco o processo de regeneração florestal, que juntamente com as queimadas naturais devido às mudanças climáticas, podem resultar na modificação fitofisionômica da paisagem amazônica (Malhi *et al.*, 2008).

Apesar de, na Amazônia, as chuvas serem bem distribuídas ao longo do ano, variações sazonais são observadas na região, com períodos de chuvas intensas e períodos de estiagens (Ferreira *et al.*, 2005). Diariamente, em seu ambiente natural, as plantas são submetidas a essas alterações na quantidade de água, sendo capazes de se adequar às condições do ambiente de acordo com seu potencial genético (Krause *et al.*, 2001), de forma que podem ocorrer variações fenotípicas resultantes das propriedades genéticas do organismo ou da influência do ambiente na expressão do genótipo (Fuzeto e Lomônaco, 2000).

O estresse causado por falta de água resulta do desequilíbrio de vários processos metabólicos por limitar a assimilação de nutrientes, interferir no processo fotossintético, limitando a síntese e distribuição de moléculas-chave, e induzir o fechamento dos estômatos, reduzindo a condutância estomática, para minimizar a transpiração (Tuzet *et al.*, 2003). A falta de água também compromete a eficiência fotossintética pela ausência de elétrons redutores das moléculas de NADP, doados durante a quebra oxidativa da molécula de água (Brunini, 1979; Westgate, 1994; Eckstein e Robinson, 1996; Souza *et al.*, 2001).

Para mitigar os efeitos do estresse hídrico as plantas recorrem a diferentes mecanismos de maneira a otimizar a absorção, limitar perdas de água por transpiração, bem como utilizá-la de forma mais eficiente. Assim, verificam-se alterações metabólicas, como aquelas relacionadas à síntese do ácido abscísico (ABA) e dehidrinas, cuja função protetora está relacionada à estabilização de lipídios da membrana (Koag *et al.*, 2003). Também o acúmulo de osmorreguladores (Ingram e Bartels, 1996), mitigação por sistemas enzimáticos dos danos causados por espécies ativas de oxigênio (AOS) (Lima *et al.*, 2002), e atividade de aquaporinas. Estas proteínas têm sido o foco de investigações no melhoramento de plantas para tolerância a seca. De acordo com Sade *et al.*, (2009), as aquaporinas estariam envolvidas

com o comportamento anisohídrico de plantas, condição que está associada a uma maior competência para tolerar estresse hídrico (McDowell *et al.*, 2008). Contudo, a despeito disto, segundo estes autores, tanto as que têm comportamento isohídrico como anisohídrico, mediante a seca, tornam-se mais suscetíveis aos estresses bióticos, como resultado de uma cascata de desequilíbrios metabólicos que têm sua origem na restrição à entrada de CO₂, perante o fechamento estomático.

Todas as alterações metabólicas decorrentes do estresse hídrico terminam causando prejuízos ao crescimento e desenvolvimento da planta. O valor das alterações morfológicas, como resposta ao estresse, pode ser verificado pela diferença entre as espécies que sobrevivem e aquelas que conseguem manter algum crescimento. Conforme relatado por Chaves *et al.*, 2002, a habilidade para sustentar o crescimento está mais relacionada à competência para adquirir e transportar água, que à alterações drásticas no metabolismo, em um determinado potencial hídrico.

De qualquer forma, os investimentos em crescimento são limitados por duas principais razões: a) em decorrência dos danos causados ao processo fotossintético, que implicam no declínio de substratos importantes, como carboidratos e energia; b) em consequência das alterações nas propriedades da parede celular, que correspondem a um decréscimo em sua extensibilidade (Wu e Cosgrove, 2000).

Por outro lado, o grau de prejuízo ao crescimento varia ao longo da planta, de forma que é mais severo em folhas e caules, que em raízes. Nestas, ainda é possível observar crescimento sob potenciais hídricos que impediriam totalmente o crescimento do caule. Tal comportamento permite a adaptação à seca, uma vez que as raízes continuam a crescer em busca de água (Wu e Cosgrove, 2000). Estas características de crescimento nos dois órgãos, resultam do desenvolvimento do ajustamento osmótico e da habilidade de afrouxamento da parede celular. Hsiao e Xu (2000) argumentam que, sob estresse hídrico, o ajustamento osmótico ocorre mais rapidamente nas raízes, ao mesmo tempo aumenta a habilidade para o afrouxamento da parede celular, condição importante para o crescimento. Entretanto nas folhas, em condições semelhantes, o ajustamento osmótico é lento e a habilidade de afrouxamento da parede celular não aumenta de forma significativa, ou até mesmo diminui.

O crescimento, em geral, depende de dois eventos principais, a multiplicação seguida pela expansão das células. Tais processos são influenciados pela pressão de turgor e volume celular. Em células de folha de milho sob estresse hídrico verificou-se que, embora a taxa de multiplicação e expansão estejam estreitamente relacionadas, a taxa de multiplicação é

ligeiramente mais afetada que a de expansão celular (Tardieu et al., 2000).

O conjunto de eventos que regulam respostas à seca em plantas é bastante complexo, e envolve o conhecimento dos mecanismos fisiológicos, morfo-anatômicos e genéticos, os quais se tornam ferramentas estratégicas para os cultivos de importância econômica. Igualmente nas iniciativas de conservação de espécies ameaçadas de extinção, como *Swietenia macrophylla* (mogno), *Cedrela odorata* (cedro) e *Aniba rosaeodora* (pau-rosa). No caso da conservação e em se tratando de espécies amazônicas, há sobreposição do interesse econômico com a necessidade de conservação, justamente pelo fato destas espécies de alto valor econômico serem as mais visadas e, também, pelo fato de serem exploradas de forma inadequada, deixando-as em vias de extinção.

Um exemplo disso é *Aniba rosaeodora*, essa espécie tem como principal importância econômica a extração do óleo volátil rico em linalol, substância utilizada na indústria de cosméticos, especialmente como fixadora na produção de perfumes. O comércio do óleo dessa espécie chegou a ocupar o terceiro lugar na pauta de exportação da região Amazônica, sendo os principais produtores dessa essência os estados do Amazonas e Pará (Marques, 2001; May e Barata, 2004).

O gênero *Aniba* reúne espécies de importância econômica para diversos fins, dentre os quais se destacam as aromáticas e as produtoras de óleos voláteis, *Aniba rosaeodora*, *Aniba canelilla*, *Aniba guianensis* (Marques, 2001). Por esta propriedade e, também, pelos riscos decorrentes de diferentes pressões de predação (pragas de insetos, exploração sem manejo de árvores para extração de óleo), *A. rosaeodora* tem motivado esforços de pesquisa em diferentes áreas do conhecimento (Maia et al, 2003). Também recebe destaque neste gênero *Aniba canelilla*, casca-preciosa, espécie produtora de óleo volátil de odor agradável, com forte aroma de canela, que apresenta potencial para uso em indústrias de cosmético e perfumaria (Barata e May, 2004), sendo ainda utilizada na medicina tradicional na forma de chá da casca e folhas, como antiespasmódico, digestivo, eupéptico, peitoral e excitante entre outros fins (Corrêa, 1984; Martins, 1989; Almeida, 1993).

A despeito de todo o potencial econômico dessas espécies poder ser convertido em processos e produtos, ainda faltam muitos estudos nas áreas da silvicultura, fisiologia e bioquímica das espécies, para se adquirir informações visando o aumento da produção destas plantas frente às variações dos fatores primários.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência da restrição hídrica, sobre a fotossíntese, e crescimento inicial de plantas de *A. rosaeodora* e *A. canellila*.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Material vegetal e condições de cultivo:

Plantas jovens de regeneração natural de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), medindo cerca de 20 cm, foram coletadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM) e mantidas durante 60 dias em viveiros com sombreamento de 50% de irradiância incidente, para seu estabelecimento.

Após esse período, as plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* utilizadas no experimento foram selecionadas quanto à uniformidade de altura (cerca de 24 ± 5 cm) e estado fitossanitário, em seguida, foram transplantadas para substrato composto por mistura de terriço e areia (2:1 v/v) em vasos plásticos, com capacidade para 10 Kg.

Durante este período, todas as plantas foram irrigadas diariamente até atingir a capacidade de campo. Em seguida foram transferidas para casa-de-vegetação na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, situada no Mini-Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM ($3^{\circ}09'$, $59^{\circ}97'W$), onde o clima é do tipo Afi segundo a classificação de Bastos (1972), com temperatura média anual de $27^{\circ}C \pm 5$ e a precipitação anual em torno de 2200mm, sendo o período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100 mm) e chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300 mm).

A temperatura na casa de vegetação, obtida com termômetro de máxima e mínima, apresentou média de $32^{\circ}C$ (máxima de $39^{\circ}C \pm 1$ e mínima de $26^{\circ}C \pm 1$), ao longo do dia, durante todo o experimento.

Durante 35 dias foram aplicados dois tratamentos ($n=10$): I - controle, com irrigação homogênea diária e NI - déficit hídrico pela suspensão da rega até que as plantas atingissem fotossíntese próxima a zero. A seguir as plantas foram reidratadas (R) e avaliadas por duas semanas. Nestes tratamentos foram mensurados respiração no escuro (R_d), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), carbono interno (C_i), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca no uso da água (EIUA). Também o crescimento em comprimento e em biomassa, computados pelas medidas das variáveis: crescimento em altura e diâmetro, ganho foliar (GF); área foliar total (AFT), razão de massa foliar (RPF), área foliar específica (AFE); e o crescimento absoluto em massa foliar (AGR-lm), em massa caulinar (AGR-sm), em massa radicular (AGR-rm) e em massa da planta (AGR-pm). Entretanto,

fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$), rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c) e irradiância de saturação (I_s) foram mensurados apenas no tratamento controle (I). Paralelamente verificou-se a evolução do estado hídrico das plantas, pela mensuração do potencial hídrico foliar (Ψ_w), em resposta a suspensão crescente da rega, por um período de 24 dias divididos em quatro intervalos de tempo que se constituíram nos tratamentos: T0 - controle, com irrigação homogênea e diária, mantendo o solo em capacidade de campo; T8 - suspensão de rega por oito dias; T16 - suspensão de rega por dezesseis dias; T24 - suspensão de rega por vinte e quatro dias.

Ao longo do experimento foram mensuradas variáveis referentes à assimilação e trocas gasosas, ao crescimento e à biomassa das plantas bem como o potencial hídrico destas. A falta de folhas e o estado hídrico das folhas restantes nas plantas, que já apresentavam ψ_w muito negativos, impossibilitaram o acompanhamento desta variável até os 35 dias de experimento.

3.2.2. Determinação do potencial hídrico foliar

Determinou-se o potencial hídrico foliar (ψ_w) na antemanhã (ψ_{pd}) e ao meio-dia (ψ_{md}), no tratamento-controle (com regime de rega regular) e no tratamento não-irrigado (que sofreu supressão hídrica), no início do experimento e até 24 dias de suspensão da rega, sendo tais medidas realizadas nos tratamentos irrigado e não-irrigado. A determinação do potencial de água na folha foi feita em cinco indivíduos por tratamento, para tanto foi utilizada bomba de pressão tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Folhas completamente expandidas e em bom estado fitossanitário, de cada planta, foram coletadas e acondicionadas individualmente na bomba de pressão, onde foram aplicadas pressões até ocorrer a exsudação pelo pecíolo da folha - nesse momento foi feita a leitura (Turner, 1981).

3.2.3. Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas

Os dados da curva de resposta fotossintética à intensidade luminosa foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) entre 0 e 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, registrando-se os pontos 0, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500 e 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O aparelho foi ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente de uma fonte de luz diodo (LED) vermelho-azul - modelo 6400-02, LI-COR.

Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 min. Em seguida os dados foram coletados à medida que as folhas se adaptavam às novas condições luminosas, iniciando-se a coleta a $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a determinação da respiração no escuro (R_d), e aumentando-se gradativamente a irradiância até $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados foram obtidos no modo manual e posteriormente ajustados utilizando-se o modelo da equação exponencial (Iqbal *et al.*, 1997), com o auxílio do programa Statistica 6.0 versão Windows (StatSoft, Inc., Tulsa, USA):

$$A = (A_{\text{máx}} + R_d) [1 - \exp(-\alpha I / (A_{\text{máx}} + R_d))] - R_d$$

Nesta equação, A representa a fotossíntese líquida, $A_{\text{máx}}$ representa a fotossíntese máxima sob condições de luz saturante ($I \rightarrow \infty$), I representa a intensidade luminosa. Assim como a taxa de fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$), a irradiância de compensação (I_c) e a irradiância de saturação (I_s) foram estimadas a partir da curva da equação exponencial.

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) foi realizada em quatro indivíduos por tratamento utilizando-se analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). Os dados foram coletados entre 9:00 h e 11:00 h, em folhas completamente expandidas situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados. Para cada tratamento foi selecionada uma folha por planta para compor a repetição, sendo realizadas 10 leituras por folha. Os dados de fotossíntese máxima e trocas gasosas foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (respiração no escuro) e $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fotossíntese líquida). O aparelho foi ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente de uma fonte de luz diodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LI-COR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 min.

3.2.4. Análise de crescimento

O crescimento absoluto do comprimento da parte aérea (altura) e comprimento em diâmetro foram obtidos a partir da mensuração destas partes com régua milimetrada e

paquímetro, respectivamente. O ganho foliar (GF) foi calculado conforme Benincasa (1986). $(NFN/NOF) \cdot [100/(T)]$, onde NFN é o número de folhas novas e NOF o número de folhas originais. O crescimento absoluto em massa foliar (AGR-lm), em massa caulinar (AGR-sm), em massa radicular (AGR-rm) e em massa da planta (AGR-pm) foram determinados segundo Bugbee (1996): $AGR-m = (Wdf - WDi)/T$, onde WD é a massa das partes da planta. A área foliar total (AFT) foi determinada com o medidor de área foliar (LiCOR 3000a), sendo medidas em 10 folhas/tratamento. A razão de massa foliar (RPF) e a área foliar específica foram obtidas pelas seguintes equações: $RPF = MF/MTP$ (onde MF é a massa foliar seca e MTP a massa total da planta) e $AFE = AF/MF$ (onde AF é a área foliar, sendo realizada a partir de discos foliares de área conhecida), respectivamente. Com exceção das variáveis relativas ao crescimento em massa, que foram determinadas ao final do experimento, todas as outras mencionadas foram medidas no início e ao final de 35 dias de suspensão da rega.

3.3. RESULTADOS

O potencial hídrico (Ψ_w), em média, diferiu entre horários (antemanhã e meio-dia), espécies e tratamentos, e houve interação espécie *vs* tratamento ($p \leq 0,01$) (Figura 1).

A média de Ψ_w para os horários foi de $-1,3 \pm 1,6$ MPa na antemanhã e $-2,3 \pm 1,4$ MPa ao meio-dia (Figura 1). A avaliação periódica do Ψ_w foliar (T0, T8, T16 e T24), indicou a evolução do estado hídrico das plantas ao longo do período de supressão hídrica, apontando comportamentos diferentes nas duas espécies (Tabela 1). Nesta, observa-se que a média de Ψ_w em *Aniba canelilla* ($-1,8 \pm 1,5$ MPa) foi maior que em *Aniba rosaeodora* ($-2,1 \pm 1,6$ MPa). As plantas do tratamento irrigado (T0) ($-1,0 \pm 0,8$ MPa) apresentaram Ψ_w menos negativo em relação às plantas do tratamento não-irrigado (T24) ($-4,4 \pm 1,3$ MPa).

Em geral, o Ψ_w apresentou valores na faixa de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa, variando de $-0,2$ MPa a $-5,00$ MPa na antemanhã, e de $-1,1$ MPa a $-6,00$ MPa ao meio-dia (Figura 1). Nas espécies, a variação foi de $-0,2$ MPa a $-6,00$ MPa, em *Aniba canelilla*, e de $-0,05$ MPa a $-6,00$ MPa, em *Aniba rosaeodora* (Figura 1). Considerando os tratamentos, o Ψ_w apresentou valores que variaram de $-0,05$ MPa a $-6,00$ MPa (Figura 1). No tratamento-controle, o Ψ_w variou $-0,05$ MPa a $-2,2$ MPa. Já no tratamento não-irrigado, os valores de Ψ_w em T₂₄ variaram de $-1,2$ MPa a $-6,00$ MPa (Figura 1), diminuindo cerca de 3 a 24 vezes em relação ao tratamento irrigado.

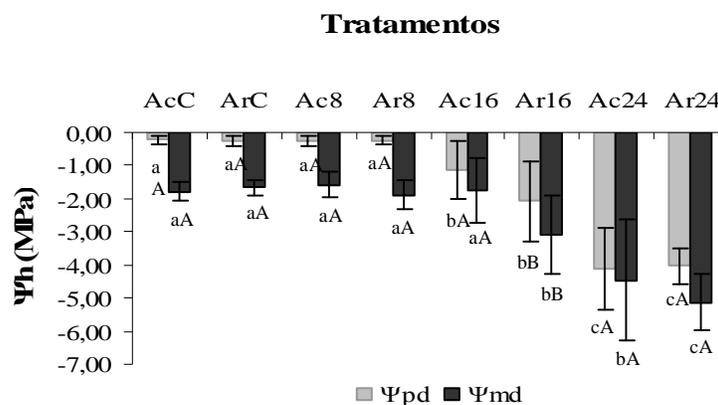


Figura 1: Potencial hídrico foliar da antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}) em plantas jovens *Aniba canelilla* (Ac) e *Aniba rosaeodora* (Ar) no tratamento-controle (C) e nos tratamentos com 8, 16 e 24 dias de supressão hídrica. Média \pm Desvio-padrão. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$. Letras minúsculas indicam comparação entre espécies considerando todos os tratamentos. Letras maiúsculas indicam comparação entre tratamentos considerando todos os tratamentos.

Tabela 1: Potencial hídrico médio (ante-manhã e meio-dia) (Ψ_w) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T_0 : Controle; T_1 : suspensão de rega por oito dias; T_{16} : suspensão de rega por dezesseis dias; T_{24} : suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas.

Tratamentos	Espécies		Médias (Tratamento)
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	-1,1±0,8aA	-1,0±0,8aA	-1,0±0,8a
8	-1,1±0,7aA	-1,2±0,9aA	-1,1±0,8a
16	-1,6±1,0aA	-2,7±1,3bB	-2,0±1,2b
24	-4,3±1,5bA	-4,6±0,9cA	-4,4±1,3c
Média (Espécie)	-1,8±1,5A	-2,1±1,6B	-1,9

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre os tratamentos (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

As curvas de resposta à luz, ajustadas pelo modelo exponencial, demonstram que as espécies apresentam respostas fotossintéticas similares, tendo pontos de compensação e de saturação próximos e exibindo uma forma assintótica (Figura 2).

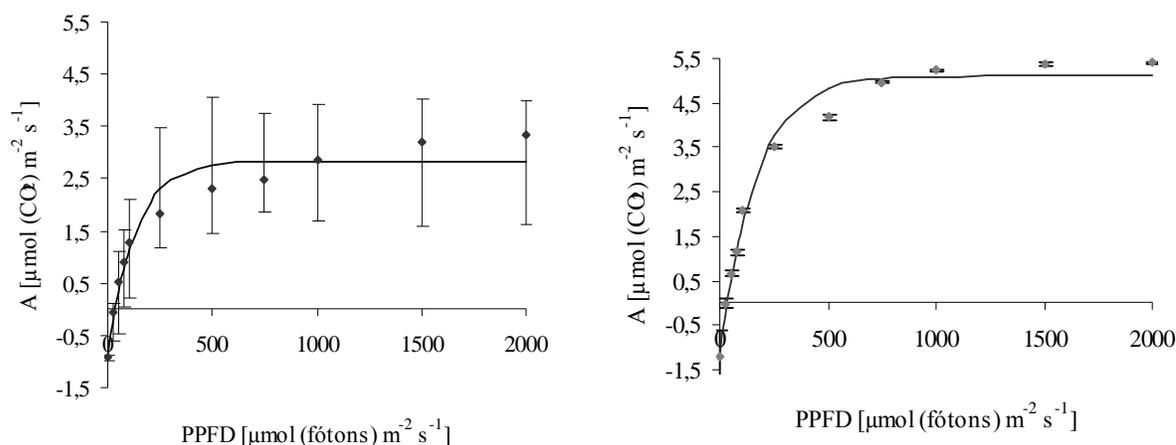


Figura 2: Curva de resposta fotossintética de *Aniba canelilla* (à esquerda) e *Aniba rosaeodora* (à direita).

Média \pm Desvio-padrão.

A fotossíntese máxima ($A_{máx}$) estimada foi semelhante entre as espécies, sendo 3,7 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em *Aniba canelilla* e 5,1 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em *Aniba rosaeodora*, apesar de o valor desta última espécie ter sido 37,84% maior que em *Aniba canelilla* (Tabela 2, Figura 2). Assim como a fotossíntese máxima, a respiração no escuro foi semelhante entre espécies,

sendo cerca de 49% maior em *Aniba rosaeodora* ($1,148 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Em *Aniba canelilla*, a respiração foi $0,769 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 2). O rendimento quântico aparente (ϕ_a) foi semelhante entre as espécies, sendo 0,036 para *Aniba canelilla* e 0,035 para *Aniba rosaeodora* (Tabela 2).

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$) e rendimento quântico aparente (ϕ_a) de plantas do tratamento-controle (I) de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora*, obtidos por meio da aplicação dos dados de fotossíntese líquida à equação exponencial. $n = 4$.

	Espécies	
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba roseodora</i>
Regressão	$A = (A_{\text{máx}} + R_d) [1 - \exp(-\phi_a I / (A_{\text{máx}} + R_d))] - R_d$	
r^2	0,979	0,991
Coeficientes		
R_d	0,769	1,148
$A_{\text{máx}}$	3,676	5,105
ϕ_a	0,036	0,035

A irradiância de compensação foi semelhante entre as espécies, apesar de *Aniba rosaeodora* ($35 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentar ponto de compensação da luz cerca de 46% maior que em *Aniba canelilla* ($24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 3). Do mesmo modo, a irradiância de saturação foi semelhante entre as espécies (Tabela 3). Ainda assim, o ponto de saturação em *Aniba rosaeodora* ($453 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi, aproximadamente, 43% maior que em *Aniba canelilla* ($317 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 3, Figura 2).

Quanto às trocas gasosas, observadas em $2000 \mu\text{mol}$ [fótons] $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, as espécies também tiveram respostas similares para condutância e transpiração. Entretanto, apesar de semelhantes, *Aniba rosaeodora* exibe valores de condutância e transpiração (0,1 e 1,9) cerca de 100% e 36% mais elevados que *A. canelilla* (0,05 e 1,4), respectivamente.

Tabela 3: Fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$), respiração no escuro (R_d), rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c), irradiância de saturação (I_s), condutância estomática (g_s) e transpiração (E) durante a mensuração das curvas de resposta à intensidade luminosa em plantas do tratamento-controle (I) de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora*. n = 4.

Variáveis	Espécies	
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>
$A_{\text{máx}}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	4,0±1,3	5,4±0,1
R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,8±0,3	1,2±0,7
ϕ_a	0,03	0,03
I_c ($\mu\text{mol fons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	24	35
I_s ($\mu\text{mol fons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	317	453
g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,05±0,03	0,07±0,01
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1,4±0,6	1,9±0,4

A respiração no escuro foi semelhante entre espécies e os tratamentos e diferiu entre as semanas (Tabela 4). A respiração média em *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* foi de 0,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 1,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Para os tratamentos, irrigado e não irrigado, a média de respiração no escuro foi de 0,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 4). Embora não apresente diferença significativa, após a reidratação a taxa de respiração no escuro alcançou a media de 1,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 4). Ao longo do tempo, a respiração se apresentou estável até a sexta semana, que corresponde ao início da reidratação e, então, ocorreu um incremento na sétima semana, de forma que este processo exibiu uma variação de 0,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Semana 1) a 3,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Semana 7) (Tabela 4).

Nas plantas irrigadas de ambas as espécies não foi observada diferença significativa na respiração no escuro ao longo do experimento, exceto nas plantas de *Aniba canelilla* na 3ª semana, que apresentaram um aumento de cerca de duas a três vezes na respiração (Tabela 4). Os valores médios da respiração no escuro para *Aniba canelilla* variaram de 0,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 1) a 1,2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 3). Já *Aniba rosaeodora* teve respiração média variando de 0,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 3) a 0,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 1) (Tabela 4).

Tabela 4: Respiração no escuro (R_d) obtida em PPFD de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	0,4±0,2	0,9±0,05	-	0,7±0,2	0,6±0,1	-	0,7a
	aAα1	bBα2	-	aAα12	aAα12	-	
2	0,5±0,04	0,5±0,1	-	0,4±0,1	0,4±0,1	-	0,5a
	aAα1	abAα1	-	aAα1	aAα1	-	
3	1,2±0,1	0,7±0,3	-	0,4±0,02	0,5±0,2	-	0,7a
	bAα1	abAα1	-	aAα1	aAα1	-	
4	0,6±0,1	0,6±0,1	-	0,5±0,1	0,6±0,1	-	0,6a
	abAα1	abAα1	-	aAα1	aAα1	-	
5	0,4±0,1	0,3±0,1	-	0,5±0,1	0,7±0,3	-	0,5a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
6	-	-	0,3±0,2	-	-	0,5±0,2	0,4a
	-	-	αα1	-	-	αα1	
7	-	-	3,0±0,4	-	-	2,9±1,2	3,0b
	-	-	αα2	-	-	bBα2	
Médias Sp X Trat	0,6±0,3	0,6±0,2	1,8±1,4	0,5±0,2	0,6±0,2	1,7±1,5	
	Espécies		Tratamentos				0,9
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		0,9a	Irrigado	0,5 ^a		
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,0a	Não-irrigado	0,6 ^a		
				Reidratado	1,8 ^a		

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

Considerando o tratamento não-irrigado, em *Aniba canelilla*, a taxa respiratória foi maior na primeira semana ($0,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e ocorreu uma redução até a sexta semana, que correspondeu a primeira semana de reidratação ($0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Entretanto houve um

considerável aumento na última de experimento, ou segunda semana de reidratação ($3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 4). Também em *Aniba rosaeodora*, na última semana do experimento, a respiração manifestou uma súbita elevação da ordem de quatro a sete vezes maior que nas demais semanas. Para *Aniba canelilla*, os valores médios da respiração no escuro variaram de $0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 6) a $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7). Por sua vez *Aniba rosaeodora* teve respiração média variando de $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) a $2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7) (Tabela 4).

Ao se comparar os tratamentos em *Aniba canelilla*, não se observou diferenças significativas entre eles ao longo das semanas, exceto na primeira semana, em que o tratamento irrigado apresentou menor respiração ($0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que o tratamento não-irrigado ($0,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Em *Aniba rosaeodora*, alterações na taxa de respiração no escuro ocorreram somente após a reidratação, na última semana ($2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 4).

A fotossíntese foi semelhante entre as espécies e diferiu entre tratamentos e durante o período de duração do experimento e houve interação entre espécie vs semana e tratamento vs semana (Tabela 5). Para as espécies, a média da fotossíntese foi de $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*Aniba canelilla*) e de $1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*Aniba rosaeodora*) (Tabela 5). Entre os tratamentos, a fotossíntese média no sistema não-irrigado ($0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi cerca de sete vezes menor que no irrigado ($3,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Ao longo das semanas, a fotossíntese variou de $-3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7) a $4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 5).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou menores médias de fotossíntese na primeira ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na quinta semana ($2,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Para *Aniba rosaeodora*, os maiores valores de fotossíntese foram observados na primeira semana ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na terceira ($4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo cerca de três vezes maior do que a taxa fotossintética mais baixa ($1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) observada na quarta semana (Tabela 5).

No tratamento não-irrigado, a fotossíntese em *Aniba canelilla* foi maior na segunda semana ($5,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na sétima semana, a menor taxa de fotossíntese líquida ($-3,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Em *Aniba rosaeodora*, a fotossíntese foi semelhante nas duas primeiras semanas ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira semana, e $5,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana), e diminuiu progressivamente a partir da terceira semana, atingindo, na última semana do experimento, o menor valor observado ($-2,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5).

Tabela 5: Fotossíntese líquida (A) obtida em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	1,5±0,3	3,6±1,2	-	5,0±0,3	5,2± 0,3	-	3,7b
	dBβ3	bAβ2	-	aAα1	aAα1	-	
2	4,7±0,3	5,4±0,1	-	4,1±0,05	5,3± 2,6	-	4,8 ^a
	abBα1	aAα1	-	bcBα2	aAα1	-	
3	4,3±1,1	3,6±0,2	-	4,8±1,5	3,0± 1,9	-	3,9ab
	bAα12	bAα23	-	abAα1	bBα3	-	
4	5,2±0,8	2,3±0,9	-	3,9±0,4	1,4± 0,4	-	3,2b
	aAα1	cBα3	-	cdAα2	cBβ4	-	
5	2,7±0,0	1,7±0,5	-	3,2±0,2	0,5± 0,1	-	1,6c
	0cAα1	dBα2	-	eAα1	dBβ3	-	
6	-	-	0,2±0,7	-	-	-0,3±0,1	-0,1d
	-	-	eα1	-	-	eβ1	
7	-	-	-3,8±1,2	-	-	-2,4±1,6	-3,0e
	-	-	fβ3	-	-	fα2	
Médias Sp X Trat	3,9±1,6	2,8±1,4	-1,9±2,3	4,2± 0,8	2,8± 2,2	-1,4± 1,5	
Médias	Espécies			Tratamentos			2,00
	<i>Aniba canelilla</i>		1,6 ^a	Irrigado		4,0A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,5 ^a	Não-irrigado		2,8B	
				Reidratado		-1,6C	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

Ao se comparar os tratamentos em *Aniba canelilla*, somente na terceira semana não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5). Na 1^a semana, a fotossíntese do tratamento não-irrigado ($3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi 140% maior que no tratamento irrigado ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Na 2^a semana, a diferença entre os tratamentos diminuiu para 15% (NI = 5,4

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $I = 4,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), desaparecendo na 3ª semana. A partir da 4ª semana, a situação se inverteu, sendo o tratamento irrigado ($5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 127% maior em relação ao não-irrigado ($2,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Já na 5ª semana essa diferença diminuiu para 66% (Tabela 5). Em *Aniba rosaeodora*, não houve diferença na primeira semana. Na 2ª semana, a fotossíntese foi 29% maior no tratamento não-irrigado. No entanto, a partir da 3ª semana, a fotossíntese líquida foi maior no tratamento irrigado, sendo cerca de duas vezes maior (Tabela 5).

Comparando as espécies no tratamento irrigado, não se observou diferenças significativas entre elas ao longo das semanas, exceto na 1ª semana, em que o tratamento irrigado ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi cerca de três vezes maior que no tratamento não-irrigado ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Já no tratamento não-irrigado, as espécies se assemelharam na 2ª e 3ª semana (Tabela 5). Na 1ª e na última semana do experimento, *Aniba rosaeodora* foi, aproximadamente, 1,5 vez maior que *Aniba canelilla* (Tabela 5). Da 4ª a 6ª semana, a fotossíntese em *Aniba rosaeodora* foi cerca de 1,5 a 3 vezes maior que em *Aniba canelilla* (Tabela 5).

A condutância estomática foi distinta entre espécies, tratamentos e durante o período de duração do experimento. Também houve interação entre espécie *vs* semana e tratamento *vs* semana (Tabela 6), sendo maior em *Aniba rosaeodora* ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que em *Aniba canelilla* ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Entre os tratamentos, a condutância no sistema não-irrigado ($0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi 50% menor que no irrigado ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Ao longo das semanas, a condutância variou de $0,004 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 6) a $0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 6).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou valores baixos de condutância na primeira ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na quinta semana ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Para *Aniba rosaeodora*, o maior valor de condutância ocorreu na última semana do experimento ($0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo cerca de duas a três vezes maior do que os demais valores observados (Tabela 6).

Tabela 6: Condutância estomática (g_s) obtida em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	0,01±0,00 cAβ2	0,02±0,00 bcAβ2	-	0,05±0,01 bAα1	0,05±0,00 bAα1	-	0,03c
2	0,05±0,01 aBα3	0,07±0,01 aAα1	-	0,05±0,01 bcBα23	0,08±0,04 aAα1	-	0,06 ^a
3	0,04±0,01 aAα1	0,03±0,00 bAα1	-	0,05±0,01 bAα1	0,05±0,01 bAα1	-	0,04b
4	0,06±0,02 aAα1	0,02±0,01 bcBα3	-	0,04±0,00 bcAβ2	0,02±0,01 cdBα3	-	0,03c
5	0,03±0,00 bAα12	0,01±0,01 cdBα23	-	0,03±0,00 cAα1	0,00±0,00 dBα3	-	0,02d
6	-	-	0,00±0,00 dα1	-	-	0,00±0,00 dα1	0,00e
7	-	-	0,02±0,01 bcα2	-	-	0,03±0,03 cBα2	0,03c
Médias Sp X Trat	0,04±0,02	0,03±0,02	0,02± 0,01	0,05± 0,01	0,03± 0,03	0,02± 0,02	
Médias	Espécies		Tratamentos				0,03
	<i>Aniba canelilla</i>		0,03b	Irigado		0,04 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,04a	Não-irrigado		0,029B	
				Reidratado		0,02C	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

No tratamento não-irrigado, a condutância em *Aniba canelilla* foi maior na segunda semana ($0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na última semana do experimento, o menor valor observado ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 6). Em *Aniba rosaeodora*, a condutância foi maior na segunda semana ($0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu

progressivamente a partir da 3ª semana, atingindo valor zero de condutância na 5ª. semana de suspensão de rega. De forma similar à *A. canelilla*, *A. rosaeodora* apresenta recuperação da condutância na segunda semana de reidratação ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 6).

Tanto em *Aniba canelilla* quanto em *Aniba rosaeodora*, os tratamentos foram distintos entre si, exceto na 1ª e na 3ª semana do experimento (Tabela 6). Na 2ª semana, as condutâncias dos tratamentos não-irrigados de *Aniba canelilla* ($0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e *Aniba rosaeodora* ($0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foram cerca de 40% e 50% maiores que nos tratamentos irrigados (*A. canelilla* = $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *A. rosaeodora* = $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), respectivamente (Tabela 6). No entanto, a partir da 4ª semana, as condutâncias em *A. canelilla* e em *A. rosaeodora* no tratamento irrigado foram cerca de 80 a 170% e 400 a 600% maiores que no tratamento não-irrigado, respectivamente (Tabela 6).

Comparando a condutância das espécies no tratamento irrigado, não se observou diferenças significativas entre elas ao longo das semanas, exceto na 1ª (Tabela 6). No início do experimento, a condutância em *A.rosaeodora* ($0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi cerca de quatro vezes maior que em *A.canelilla* ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 6).

A transpiração diferiu entre todos os fatores e houve interações entre espécie vs semana e tratamento vs semana (Tabela 7). *A. rosaeodora* ($0,8 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentou maior transpiração que *A. canelilla* ($0,6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Entre os tratamentos, a transpiração do sistema irrigado ($1,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi maior que no tratamento não-irrigado ($0,5 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 8). Ao longo das semanas, a transpiração variou de $0,09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 6) a $1,64 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 7).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou menores valores de transpiração na primeira ($0,3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e na quinta semana ($0,7 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($1,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Para *A rosaeodora*, o maior valor de transpiração ocorreu na última semana do experimento ($2,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo cerca de uma vez e meia maior do que o menor valor observado ($0,9 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), na 5ª semana do experimento (Tabela 7).

No tratamento não-irrigado, a transpiração em *A.canelilla* foi maior na segunda semana ($1,8 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na penúltima semana do experimento, o menor valor observado ($0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Na última semana, a taxa fotossintética foi semelhante às encontradas na 1ª, 4ª e 5ª semanas (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, a transpiração também foi maior na segunda semana ($2,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da 3ª semana, atingindo, na 5ª e 6ª semana do

experimento, os menores valores observados ($0,2$ e $0,4 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 7).

Tabela 7: Transpiração (E) obtida em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	0,3±0,1	0,6±0,1	-	1,4±0,3	1,4±0,3	-	0,8c
	cAβ2	bcAβ2	-	bcdAα1	bAα1	-	
2	1,3±0,3	1,8±0,1	-	1,6±0,5	2,2±1,2	-	1,6a
	aBα3	aAα12	-	abcBα23	aAα1	-	
3	1,0±0,3	0,9±0,1	-	1,7±0,6	1,2±0,2	-	1,2b
	abAβ2	bAα2	-	abAα1	bAα12	-	
4	1,2±0,4	0,5±0,04	-	1,1±0,1	0,5±0,2	-	0,8c
	aAα1	bcdBα2	-	cdAα1	cBα2	-	
5	0,7±0,00	0,4±0,2	-	0,9±0,1	0,2±0,02	-	0,5d
	bcAα12	bcdAα23	-	dAα1	cBα3	-	
6	-	-	0,1±0,1	-	-	0,1±0,01	0,1e
	-	-	dα23	-	-	cα1	
7	-	-	0,3±0,2	-	-	0,6±0,6	0,5d
	-	-	cdα1	-	-	cBα1	
Médias							
Sp X	1,0±0,5	0,7±0,4	0,2±0,2	1,3±0,4	0,9±0,8	0,3±0,5	
Trat							
	Espécies			Tratamentos			0,7
Médias	<i>Aniba canelilla</i>	0,6β		Irrigado	1,1 ^a		
	<i>Aniba rosaeodora</i>	0,8 ^a		Não-irrigado	0,8B		
				Reidratado	0,3C		

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

Em *A. canelilla*, os tratamentos foram semelhantes entre si, exceto na 2^a e na 4^a semana do experimento (Tabela 7). Na 2^a semana, a transpiração no tratamento não-irrigado

foi 38% maior que no tratamento irrigado. Já na 4ª semana, o tratamento-controle que apresentou transpiração 140% maior que o tratamento estressado (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, não houve diferenças significativas somente na 1ª e na 3ª semana do experimento (Tabela 7). Na 2ª semana, a transpiração foi 38% maior no tratamento não-irrigado. Já nas demais semanas, a transpiração no tratamento irrigado foi cerca de duas a seis vezes maior (Tabela 7).

As espécies tiveram valores similares de transpiração no tratamento irrigado, exceto na 1ª e 3ª semana do experimento (Tabela 7). No início do experimento, a transpiração em *A. rosaeodora* ($1,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi de 4,2 vezes maior que em *A. canelilla* ($0,27 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Na 3ª semana, *A. rosaeodora* teve transpiração 70% maior do que *A. canelilla* (Tabela 7).

No tratamento não-irrigado, as espécies apresentaram valores similares de transpiração, exceto na 2ª semana do experimento, em que *A. rosaeodora* apresentou transpiração 22% maior que a transpiração de *A. canelilla* (Tabela 7).

A concentração de carbono interno (C_i) diferiu entre espécies e semanas, mas não entre tratamentos. Houve interação entre espécie vs semana (Tabela 8). *Aniba canelilla* ($254,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$) apresentou menor C_i que *Aniba rosaeodora* ($393,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Tabela 8). Embora a diferença não tenha significado estatístico, observou-se que o tratamento não-irrigado teve C_i menor ($194,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$) que o sistema irrigado ($200,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Tabela 8). Ao longo das semanas, o carbono interno variou de $170,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 1) a $605,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 7) (Tabela 8).

Considerando o tratamento irrigado, não houve diferenças para as espécies ao longo das semanas (Tabela 8). Os maiores valores ocorreram na 3ª semana, $206,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e $252,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$, para *A. canelilla* e *A. rosaeodora*, respectivamente (Tabela 8). Os valores médios de carbono interno para *A. canelilla* variaram de $144,2 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 1) a $206,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 3). Já para *A. rosaeodora*, C_i variou de $202,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 4) a $257,7 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 5) (Tabela 8).

No tratamento não-irrigado, *A. canelilla* apresentou maior concentração de carbono interno na penúltima semana do experimento, sendo cerca de 17 a 350% maior do que nas demais semanas (Tabela 8). Em *A. rosaeodora*, C_i foi maior na última semana, sendo 77 a 400% maior do que nas demais semanas (Tabela 8). Para *A. canelilla*, os valores médios de C_i variaram de $131,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 4) a $463,4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 8). Já *A. rosaeodora* teve C_i , em média, variando de $182,6 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 1) a $845,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 6)

(Tabela 8).

Tabela 8: Carbono interno (C_i) obtido em PPFd de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	144,2±	168,0±	-	203,6±	182,6±	-	170,5c
	14,0 aAα1	18,4 cAα1		6,4 aAα1	1,7 cAα1		
2	199,7±	225,2±	-	230,2±	252,8±	-	222,3c
	23,7 aAα1	18,7 bcAα1		23,5 aAα1	3,2 cAα1		
3	206,0±	177,5±	-	252,3±	248,1±	-	221,0c
	6,4 aAα1	18,4 cAα1		0,8 aAα1	50,9 cAα1		
4	196,8±	131,0±	-	202,1±	242,4±	-	186,8c
	24,4 aAα1	1,9 cAα1		8,7 aAα1	38,1 cAα1		
5	189,8±	165,0±	-	214,2±	257,7±	-	203,0c
	0,0 aAα1	23,3 cAα1		11,5 aBα1	5,0 cAα1		
6	-	-	463,4±	-	-	475,9±	470,3b
			323,1 a			88,3 b	
7	-	-	395,9±	-	-	794,0±	605,4 ^a
			71,0 abα2			179,4 aAα1	
Médias	185,1±	162,7±	427,6±	218,4±	233,3±	635,0±	
Sp X	30,4	31,5	222,3	21,9	37,6	213,5	
Trat							
	Espécies		Tratamentos				321,1
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		254,4b	Irrigado	200,0B		
	<i>Aniba rosaeodora</i>		393,3a	Não-irrigado	194,1B		
				Reidratado	539,7 ^a		

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

Em *A. canelilla* não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Em *A. rosaeodora*, a única diferença ocorreu na semana 5, em que C_i no tratamento irrigado foi 20% maior que no tratamento não-irrigado (Tabela 8). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos irrigado e não-irrigado até este último ser reidratado. Nesta condição, *A. rosaeodora* apresenta valor de C_i cerca de duas vezes maior que os demais (Tabela 8).

Tabela 9: Eficiência no uso da água (EUA) obtida em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	4,70±0,75	3,57±0,62	-	3,61±0,56	4,22±0,18	-	4,09 ^a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
2	3,82±0,69	3,00±0,27	-	2,98±0,47	2,43±0,16	-	3,19 ^a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
3	4,09±0,05	4,26±0,67	-	2,77±0,10	2,32±1,17	-	3,36 ^a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
4	4,06±0,65	4,48±0,93	-	3,32±0,70	2,96±0,58	-	3,80 ^a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
5	3,68±0,00	4,21±0,74	-	3,04±0,59	2,22±0,06	-	3,38 ^a
	aAα1	aAα1	-	aAα1	aAα1	-	
6	-	-	2,21±7,75	-	-	-4,98±1,76	-3,75 ^b
	-	-	bα	-	-	Bα	
7	-	-	4,11±1,99	-	-	-10,13±4,34	-7,28 ^c
	-	-	bα2	-	-	cBβ3	
Médias Sp X Trat	4,1389	4,0491	-3,219	3,160	2,945	-7,555	
Médias	Espécies			Tratamentos			0,29
	<i>Aniba canelilla</i>		1,74 ^α	Irrigado		3,70 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		-1,28 ^β	Não-irrigado		3,56 ^a	
				Reidratado		-5,56 ^B	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

A eficiência no uso da água (EUA) diferiu apenas entre espécies e não houve interações (Tabela 9). As médias de EUA para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram $-1,3 \text{ mol mol}^{-1}$ e $1,7 \text{ mol mol}^{-1}$ (Tabela 9).

Considerando o tratamento irrigado, a eficiência no uso da água não se alterou ao longo das semanas, tanto *A. canelilla* quanto em *A. rosaeodora* (Tabela 9). Os valores de EUA para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* variaram de $3,7$ a $4,7 \text{ mol mol}^{-1}$ e de $0,7$ a $3,6 \text{ mol mol}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9). Em cada tratamento, as espécies apresentaram EUA semelhantes ao longo das semanas (Tabela 9)

Assim como EUA, a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) diferiu apenas entre espécies e não houve interações (Tabela 10). A média de EIUA foi menor em *A. rosaeodora* ($-32,9 \mu\text{mol mol}^{-1}$) que em *A. canelilla* ($53,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Tabela 10).

Considerando o tratamento irrigado, a eficiência intrínseca no uso da água não se alterou ao longo das semanas, tanto em *A. canelilla* quanto em *A. rosaeodora* (Tabela 10). Os valores de EIUA para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* variaram de $99,0$ a $157,8 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e de $15,9$ a $99,0 \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente (Tabela 10).

O crescimento absoluto em diâmetro (D) não se alterou ao longo do experimento, sendo o diâmetro final das plantas ($4,7 \text{ cm}$) semelhante ao inicial ($5,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Já as espécies e os sistemas (irrigado e não-irrigado) foram diferentes estatisticamente, entretanto, não houve nenhum tipo de interação entre os fatores (Tabela 11). *A. rosaeodora* ($5,1 \text{ cm}$) cresceu 10% a mais em diâmetro que *A. canelilla* ($4,6 \text{ cm}$). Em média, o sistema irrigado ($5,2 \text{ cm}$) teve o diâmetro cerca de 24% maior que o não-irrigado ($4,2 \text{ cm}$) (Tabela 11).

Comparando os tratamentos entre espécies, no início do experimento, não se observou diferenças entre eles nem mesmo entre as espécies (Tabela 11). Assim como no início, ao final do experimento as espécies foram semelhantes entre si dentro de cada tratamento e não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 11).

O crescimento absoluto em altura (H) não sofreu efeito da supressão hídrica, sendo semelhante entre sistemas (Irrigado: $26,4 \text{ cm}$; Não-irrigado: $25,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Ao final do experimento ($27,3 \text{ cm}$), H foi 14% maior que no início ($24,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Entre as espécies, *A. canelilla* ($27,8 \text{ cm}$) teve altura maior cerca de 18% que *A. rosaeodora* ($23,6 \text{ cm}$) (Tabela 11). Houve interação entre época vs espécie e espécie vs sistema (Tabela 11).

Tabela 10: Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) obtida em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	157,8±	119,5±	-	93,8±	106,6±	-	123,1 ^a
	24,0aAα1	13,6aAα1	-	10,6aAα1	0,8aAα1	-	
2	100,8±	81,8±	-	80,4±	69,1±	-	86,0 ^a
	17,7aAα1	10,9aAα1	-	14,6aAα1	1,6aAα1	-	
3	99,0±	111,4±176	-	65,1±	63,1±	-	84,6 ^a
	0,7aAα1	,8aAα1	-	0,6aAα1	31,5aAα1	-	
4	111,0±	128,1±	-	96,5±	81,4±	-	107,1 ^a
	23,8aAα1	26,1aAα1	-	6,5aAα1	16,4aAα1	-	
5	103,9±	121,1±	-	99,0±	66,2±	-	99,5 ^a
	0,00aAα1	18,1aAα1	-	2,4aAα1	1,6aAα1	-	
6	-	-	-65,4±	-	-	-136,3±	-104,7 ^b
	-	-	213,8bα	-	-	47,3bα	
7	-	-	-101,4±	-	-	-267,2±	-188,7 ^c
	-	-	67,1bα2	-	-	109,8cBβ3	
Médias	118,2±	118,0±	-84,4±	87,9±	80,1±	-201,7±	
Sp X	30,1	22,2	150,3	14,4	20,4	106,2	
Trat							
	Espécies			Tratamentos			11,8
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		53,1α	Irrigado		104,6 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		-32,9β	Não-irrigado		101,1 ^a	
				Reidratado		-147,8B	

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação semanal entre todos os tratamentos das duas espécies

No início do experimento, a altura foi semelhante dentro dos tratamentos (Tabela 11). Assim como no início do experimento, a altura das espécies foi semelhante dentro dos tratamentos e estes não diferiram entre si, ao final de 35 dias (Tabela 12). No sistema irrigado, *A. canelilla* (19,7 cm) cresceu 32% a mais que *A. rosaeodora* (14,9 cm) (Tabela 12). No

sistema não-irrigado, as médias de altura para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* foram, respectivamente, 15,7 cm e 15,5 cm (Tabela 12).

O número de folhas foi semelhante entre espécies e sistemas, mas foi maior no fim do experimento (Tabela 12). No início do experimento, o número de folhas médio para as espécies no tratamento irrigado foi de 12,9 (*A. rosaeodora*) e 14,0 (*A. canelilla*). Para o tratamento não-irrigado, a média foi a mesma para as duas espécies (14,5) (Tabela 11).

Tabela 11: Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época inicial.

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Altura	15,1aA	14,5aA	12,7aA	14,5aA	14,2
Diâmetro	4,7aA	4,4aA	5,4aA	4,4aA	4,9
Ganho foliar	14,0aA	14,5aA	12,9aA	14,5aA	15,6
Médias	Fatores	Altura	Diâmetro	Ganho foliar	
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	14,8a	4,5 ^a	14,8 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	13,7a	4,9 ^a	13,7 ^a	
Tratamento	Irrigado	14,0A	5,0A	15,1 ^a	
	Não-irrigado	14,5A	4,4 ^a	14,5 ^a	

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$.

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

O crescimento absoluto em biomassa caulinar foi semelhante entre espécies, no entanto, sofreu efeito da supressão hídrica (Tabela 13). No tratamento irrigado, os respectivos valores médios da biomassa caulinar foram 3,5 g (*Aniba rosaeodora*) e 3,3 g (*Aniba canelilla*) (Tabela 13). No tratamento não-irrigado, tais valores foram 1,2 g (*Aniba rosaeodora*) 1,4 g (*Aniba canelilla*) (Tabela 13).

O crescimento absoluto em biomassa foliar foi semelhante entre espécies, no entanto, a supressão hídrica resultou em uma drástica redução da biomassa foliar (MF) (Tabela 13). A média da biomassa foliar para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* no tratamento irrigado foi

de 4,3 g e 3,7 g, respectivamente (Tabela 13). Nessa mesma ordem, os valores médios de MF, no tratamento não-irrigado, foram 0,7 g e 0,5 g (Tabela 13).

Tabela 12: Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época final.

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Altura	19,7aA	15,7aA	14,9aA	15,5aA	16,4 ^a
Diâmetro	5,0aA	4,5aA	5,9aA	4,8aA	4,9 ^a
Ganho foliar	19,7aA	15,7aA	14,9aA	15,5aA	15,3 ^a
Médias	Fatores	Altura	Diâmetro	Ganho foliar	
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	17,7a	4,7 ^a	17,7 ^a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	15,2a	5,3 ^a	15,2 ^a	
Tratamento	Irrigado	17,3A	5,4 ^a	17,3 ^a	
	Não-irrigado	15,6A	4,6 ^a	15,6 ^a	

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$.

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

Assim como o crescimento absoluto em biomassa foliar e caulinar, a biomassa radicular foi semelhante entre espécies, mas sofreu efeito da supressão hídrica (Tabela 13). As médias da biomassa radicular para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* no tratamento irrigado foram de 2,7 g (Tabela 13). Do mesmo modo, os valores médios de biomassa radicular foram 1,7 g e 1,2 g no tratamento não-irrigado para as respectivas espécies (Tabela 13).

Comparando os tratamentos, fica evidente que a biomassa foi alocada de forma distinta em função da falta de água (Tabela 13). Nas plantas do tratamento-controle (irrigado) houve uma maior alocação de biomassa para folhas e caule enquanto que, em consequência da restrição hídrica, houve maior alocação de biomassa para o crescimento das raízes e redução drástica de biomassa foliar, da ordem de 85%, nas plantas do tratamento não-irrigado (Tabela 13). Os valores médios de biomassa da folha, caule e raiz no tratamento irrigado foram, respectivamente, 4,0 g, 3,4 g e 2,7 g. Para o tratamento estressado (não-irrigado), os respectivos valores médios foram 0,6 g, 1,3 g e 1,4 g (Tabela 13).

A distribuição de biomassa entre os órgãos se mostrou semelhante entre as espécies (Tabela 13). Para *Aniba rosaeodora*, os valores médios de biomassa foram 2,6 g (folha), 2,3 g (caule) e 2,2 g (raiz) (Tabela 13). Para *Aniba canelilla*, tais valores foram 2,1 g (folha), 2,3 g (caule) e 1,9 g (raiz) (Tabela 13).

Tabela 13: Crescimento, em gramas, da biomassa da folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Folha	3,7aA	0,5aB	4,3aA	0,7B	2,5
Caule	3,3aA	1,4aB	3,5aA	1,2aB	2,3
Raiz	2,7aA	1,2aB	2,7aA	1,7aB	2,1
Biomassa total	9,7	3,1	10,5	3,6	6,7
Médias	Fatores	Folha	Caule	Raiz	
	<i>Anaiba canelilla</i>	2,1 ^a	2,3 ^a	1,9 ^a	
Espécie	<i>Aniba rosaeodora</i>	2,5 ^a	2,3 ^a	2,2 ^a	
	Irrigado	4,0A	3,4 ^a	2,7 ^a	
Tratamento	Não-irrigado	0,6B	1,3B	1,4B	

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

A biomassa total da planta foi semelhante entre as espécies, sendo que as plantas do tratamento que sofreu supressão hídrica apresentaram biomassa três vezes menor em relação às plantas do tratamento-controle (Tabela 14). Para *Aniba canelilla*, a média da biomassa total foi de 9,7 g (tratamento irrigado) e 3,1 g (não-irrigado) (Tabela 14). Tais valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 10,5 g e 3,6g (Tabela 14).

Do mesmo modo que a biomassa total da planta, a razão de peso foliar (RPF) foi semelhante entre as espécies, sendo que as plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* do tratamento não-irrigado apresentaram RPF 50 e 75% menores em relação às plantas do tratamento-controle, respectivamente (Tabela 15). Para *Aniba canelilla*, RPF foi de 0,4 (tratamento irrigado) e 0,1 (não-irrigado) (Tabela 15). Tais valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 0,4 g e 0,2 (Tabela 15).

Tabela 14: Particionamento, em gramas, da biomassa de folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	MÉDIAS DE ÓRGÃOS DENTRO DE ESPÉCIE				Média de órgãos
	Irigado		Não-Irigado		
Órgão	<i>Aniba rosaeodora</i>	<i>Aniba canellila</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	<i>Aniba canellila</i>	
Folha	4,3aA	3,7aA	0,7aA	0,5aA	2,3a
Caule	3,5aA	3,3aA	1,2aA	1,4 aA	2,3a
Raiz	2,7aA	2,7aA	1,7aA	1,2 aA	2,3a

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre órgãos

Tabela 15: Razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), matéria seca total da planta (MSP) e área foliar específica (AFE) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irigado	Não irrigado	Irigado	Não-irrigado	
AFE	139,3aB	172,5aA	143,7aA	163,0aA	154,6
RPF	0,4±0,1aA	0,1±0,04bA	0,4±0,1aA	0,2±0,04bA	0,3
RPA	0,4±0,1aA	0,7±0,4aA	0,4±0,1aB	0,9±0,3aA	0,6
MSP	9,6±1,2aA	3,1±0,9bA	10,5±3,4aA	3,5±1,3bA	6,7
Médias	Fatores	AFE	RPA	RPF	MSP
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	155,9a	0,6a	0,3 ^a	6,3a
	<i>Aniba rosaeodora</i>	153,3a	0,6a	0,3 ^a	7,00a
Tratamento	Irigado	141,5B	0,4B	0,4 ^a	10,0A
	Não-irrigado	167,8A	0,8A	0,2B	3,3B

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

A área foliar específica (AFE) se mostrou semelhante entre as espécies e diferente entre tratamentos (Tabela 15). Não houve interação espécie vs sistema, no entanto, no tratamento não-irrigado, as folhas se apresentaram mais espessas nas duas espécies (Tabela

15). A média de AFE para *Aniba canelilla* foi 139,3 g cm⁻² (tratamento irrigado) e 172,5 cm⁻² (tratamento estressado). Do mesmo modo, a AFE de *Aniba rosaeodora* foi, respectivamente, 143,7 cm⁻² e 163,0 cm⁻² (Tabela 15).

Também a razão raiz/parte aérea (RPA) foi semelhante entre as espécies e diferente entre os tratamentos, sendo que as plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* do tratamento não-irrigado apresentaram respectivamente a RPA 75 e 125% maiores que as plantas do tratamento-controle (Tabela 15). Para *Aniba canelilla*, RPA foi de 0,4 (tratamento irrigado) e 0,7 (não-irrigado) (Tabela 15). Enquanto estes valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 0,4 g e 0,9 (Tabela 15).

3.4. DISCUSSÃO

A extensão com que um fator ambiental, como a seca, influencia as características funcionais e estruturais das plantas, pode ser verificada pelas avaliações das características das trocas gasosas as quais se refletem em aspectos do crescimento (Peixoto *et al.*, 2006).

O monitoramento do potencial hídrico foliar, realizado ao longo do experimento, na antemanhã e ao meio-dia, revelou o comportamento anisótrico destas plantas, que implica em uma rigorosa regulação da abertura estomática, nos momentos de maior demanda evaporativa (Figura 1). Por outro lado, a maior tolerância à seca observada em *A. canelilla* (Tabela 1) implicou em um melhor desempenho nas características das trocas gasosas. A supressão da rega, ao final de cinco semanas, resultou em uma severa desidratação dos tecidos, observada nos potenciais hídricos foliares médios de $-4,42 \pm 1,25$ MPa, que levaram a assimilação a valores próximos de zero (Tabela 1, Figura 1). Estes resultados demonstram a manutenção, ainda que em níveis baixos, do processo fotossintético quando as plantas já alcançaram o limite mínimo possível de potencial hídrico, que ainda permite assimilação em espécies arbóreas tropicais (Larcher 2000).

As características de trocas gasosas avaliadas a partir das curvas de luz (0 a $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) indicaram que os valores de respiração no escuro observados para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* foram semelhantes aos valores encontrados para espécies arbóreas ($R_d = 0,6$ a $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 2), como *Rhododendron maximum*, *Persea borbonia*, *Ocotea costulata* e *Licania heteromorpha* (todas pertencentes à família Lauraceae), bem como para duas espécies de *Protium* sp. (Burseraceae) e *Miconia dispar* e *Bellucia grossularioides* (Melastomataceae), *Vismia lauriformes* e *V. japurensis* (Clusiaceae) e *Cecropia ficifolia* (Cecropiaceae) (Reich *et al.*, 1998).

Diferentemente de alguns caracteres morfológicos, as taxas fotossintéticas e de respiração no escuro são distintas em espécies do mesmo táxon, em geral, especialmente em taxa inferiores como gênero e família. No entanto, *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram semelhantes para as variáveis relacionadas à assimilação e trocas gasosas obtidas a partir de curvas de respostas fotossintéticas à luz.

Embora as espécies tenham sido semelhantes quanto à fotossíntese máxima e à respiração no escuro, os respectivos valores médios dessas variáveis em *Aniba rosaeodora* foram 35% e 50% maiores que em *Aniba canelilla*. No entanto, ao se relacionar tais variáveis por meio da razão $R_d/A_{\text{máx}}$, fica evidente que a maior taxa fotossintética em *Aniba rosaeodora*

é compensada pela maior respiração no escuro, de forma que as duas espécies apresentam valores semelhantes de $R_d/A_{máx}$, 0,22 em *A. rosaeodora* e 0,21 em *A. canelilla*.

Tanto *Aniba canelilla* quanto *Aniba rosaeodora* apresentaram rendimento quântico aparente (ϕ_a) abaixo do valor esperado ($\phi_a = 0,111 \text{ mol mol}^{-1}$), para tecidos intactos de espécies C_3 em boas condições (Skillman, 2008), sendo cerca de 32% e 31% menores, respectivamente.

A dinâmica das trocas gasosas monitoradas pontualmente pelas respostas aos níveis 0 e 1000 μmol [fótons] $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, confirmam a semelhança das espécies, em média, nas atividades fotossintéticas (1,46 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e 1,62 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e respiratórias (0,94 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e -1,00 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), entretanto as plantas diferem nos demais aspectos das trocas gasosas (g_s , E , C_i , EUA e $EIUA$). Também foram verificadas diferenças em resposta às condições de disponibilidade hídrica ao longo do tempo.

Os danos conseqüentes do estresse hídrico resultaram em um declínio da maioria das variáveis de trocas gasosas observadas, com exceção dos teores de carbono interno em *Aniba rosaeodora* nos dois sistemas.

A despeito do maior rigor com que a fotossíntese foi limitada sob supressão hídrica, também ocorreu um declínio deste processo no tratamento irrigado, especialmente em *A. canelilla* (Tabela 5). Isto é, provavelmente, conseqüência das “condições ambientais de fundo” (Larcher, 2000), que nesse caso estão relacionadas às condições de temperatura (máxima de $39^{\circ}\text{C}\pm 1$ e mínima de $26^{\circ}\text{C}\pm 1$) e luminosidade ($1100\pm 250 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na casa de vegetação, uma vez que estas plantas estavam anteriormente em ambiente sombreado sob copas de árvores. De qualquer forma, estes resultados indicam que *Aniba rosaeodora* sustenta um melhor desempenho, em condições ambientais estressantes, quando há disponibilidade de água. Entretanto sob suspensão de rega, *A. canelilla* apresentou maior tolerância da fotossíntese ao estresse hídrico ao longo do tempo (Tabela 5). Tal resposta reflete o melhor desempenho observado para esta espécie em outros componentes das trocas gasosas, que concorrem para taxas de assimilação maiores ou mais estáveis.

O balanço das trocas gasosas entre as espécies, nos dois tratamentos de irrigação, mostrou que os maiores valores de fotossíntese ocorreram entre a primeira e a terceira semana (Tabela 5). Neste período, a respiração se manteve estável, com exceção de *Aniba canelilla* no tratamento irrigado que, durante a 3ª. semana, época em que se percebeu um rápido crescimento da região apical com o lançamento de novas folhas (Tabela 4), alcançou maior R_d (Tabela 4). Este comportamento reflete a importância da atividade respiratória na geração de

energia e metabólitos importantes para diversas rotas biossintéticas em plantas (Pystina e Danilov, 2001), de forma que a magnitude deste processo informa sobre o requerimento de energia em uma dada situação (Callister e Adams, 2006).

Avaliando-se o tratamento não-irrigado observa-se que a partir da terceira semana de experimento, fotossíntese e respiração apresentam respostas diferenciadas, de forma que a respiração ainda se mantém estável até a sexta semana (Tabela 4), enquanto que a atividade fotossintética começa a apresentar os efeitos do estresse hídrico, em consequência das implicações da desidratação sobre os processos difusivos, bioquímicos e fotoquímicos (dados não apresentados). Percebeu-se, então, uma maior susceptibilidade do processo fotossintético à seca nestas espécies, em relação à respiração. Comportamento semelhante foi observado, em estudos relacionados aos efeitos do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em *Glycine max* (Ribas-Carbo *et al.*, 2005) e em *Lysimachia minoricensis* (Galmés *et al.*, 2007).

O comportamento que uma espécie desenvolve frente ao estresse hídrico, revela a magnitude com que cada um dos processos componentes da fotossíntese afeta este metabolismo em sua totalidade. Em *Aniba rosaeodora*, os maiores valores observados para a condutância, a transpiração e o conteúdo de carbono interno indicam que as limitações impostas à assimilação fotossintética, nesta espécie, estiveram mais relacionadas ao decaimento da capacidade de carboxilação, geralmente vinculado à queda na atividade da rubisco (Konrad *et al.*, 2005; Galmés *et al.*, 2007), do que à restrição imposta pelos estômatos. Tal fato pode ser verificado pelos valores médios de C_i registrado para *Aniba rosaeodora* (393,31 Pa) e preciosa (254,43 Pa). Por outro lado, menores taxas de condutância e transpiração em *Aniba canelilla* asseguraram maiores valores de EUA e EIUA, desde que as duas espécies apresentaram taxas fotossintéticas semelhantes. Estas relações se mostraram estáveis ao longo do tempo nos dois sistemas, manifestando-se, entretanto, um acentuado declínio após a reidratação. Alguns autores relatam que estresses menos intensos podem promover um incremento na eficiência no uso da água, enquanto os de maior intensidade impõem um drástico declínio desta razão, em decorrência dos baixos valores de fotossíntese associados à alguma transpiração cuticular (Chaves e Rodrigues, 1987; Gratani *et al.*, 2000; Moriana *et al.*, 2002; Llorens *et al.*, 2003). O próprio processo de reidratação, quando realizado de maneira rápida, pode resultar em danos estruturais.

As respostas à reidratação foram acompanhadas durante duas semanas, contudo não ocorreu a recuperação do metabolismo fotossintético e a atividade respiratória registrou as taxas mais baixas de todo o experimento. A falência da atividade fotossintética das plantas

reidratadas foi resultado dos danos que a desidratação promoveu na folha, caracterizados por extensas manchas escuras e áreas ressecadas na superfície foliar. Por sua vez, o declínio da taxa respiratória pode estar associado às alterações no particionamento de elétrons entre as duas vias respiratórias, a via citocrômica (produção de energia) e a via da oxidase alternativa (AOX dissipação de energia), que ocorre sob estresse hídrico severo (Ribas-Carbo *et al.*, 2005). Contudo 80% das plantas das duas espécies apresentaram capacidade de recuperação, emitindo lançamentos foliares após duas semanas (dados não apresentados).

Em condições de estresse hídrico, as implicações do balanço de carbono comprometem o investimento da planta no acúmulo de reservas que se traduzem em crescimento (Larcher, 2000). Entretanto, os efeitos do estresse variam entre os tecidos da planta de forma que, de uma maneira geral, ocorre uma redução do crescimento da parte aérea em favor do crescimento radicular, como estratégia de adaptação ao déficit hídrico (Burke, 2007). Tal fato se verificou sobre todas as características de crescimento avaliadas nas plantas de *Aniba rosaeodora* e *A. canelilla* não irrigadas. As respostas foram similares entre as espécies para as variáveis altura do caule (AGR-sl), número de folhas (NF), área foliar específica (AFE), biomassa foliar, do caule, da raiz e total, razão de peso foliar (LWR) e razão raiz/parte aérea (RPA). Entretanto, o crescimento em diâmetro (sistema irrigado) foi maior em *Aniba rosaeodora* (Tabela 15). Uma redução no crescimento em área foliar e número de folhas também foi registrada em *Tabebuia aurea* em resposta ao estresse hídrico (Cabral *et al.*, 2004). Gindaba *et al.* (2005), em estudo que verificou o efeito do estresse hídrico sobre plantas jovens de diferentes espécies de árvores, também relataram uma redução na razão de peso foliar e na biomassa das plantas.

Em condições de limitação hídrica verifica-se, em diferentes espécies, um menor particionamento de matéria seca para as folhas e um favorecimento do crescimento da raiz, resultando no incremento da RPA e na biomassa de raiz (Tabela 15). Este comportamento representa uma estratégia de tolerância à seca relatado para diferentes espécies nesta condição (Cabral *et al.*, 2004;).

3.5. CONCLUSÃO

As diferenças observadas nos aspectos das trocas gasosas entre as duas espécies podem, relativamente, favorecer plantas jovens de *A. canelilla* em ambientes de menor disponibilidade hídrica.

As respostas diferenciadas entre as duas espécies, em relação às trocas gasosas, sugerem que em *A. canelilla* as limitações à assimilação fotossintética recebem uma contribuição mais significativa dos processos difusivos, enquanto que em *A. rosaeodora* dos processos de carboxilação.

Embora tenha ocorrido declínio das características de crescimento e prejuízos ao processo de assimilação, as duas espécies apresentam capacidade de recuperação ao estresse hídrico.

- As espécies têm comportamento anisohídrico;
- Ao longo de 35 dias ocorre um declínio do estado hídrico das plantas no tratamento controle e no tratamento estressado;
- Aniba canelilla mantém o estado hídrico estável por mais tempo, frente ao estresse, que Aniba rosaeodora;
-

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. R. 1993. *Plantas medicinais brasileiras*. São Paulo: Hemus. 341 p.
- Arnell, N. W. (1999). *Climate change and global water resources*. 9: S31-S49.
- Benincasa, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Jaboticabal: FCAVUNESP, 1986. 41p.
- Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320: 1444-1449.
- Brunini, O. 1979. *New devices for in situ measurements of soil and root water potentials and transport of water in the soil-plant-system*. Master`s Thesis, University of Guelph, Guelph. 144 pp.
- Cabral, E.L.; Barbosa, D.C.A.; Simabukuro, E.A. 2004. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia áurea* (Manso) Benth & Hook. F. Ex. S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta Botanica Brasílica*, 18(2): 241-251.
- Calbo, M.E.R.; Moraes, J.A.P.V. 2000. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açá). *Revista Brasileira de Botânica*, 23(3):225-230.
- Callister A.N.; Adams M.A. 2006. Water stress impacts on respiratory rate, efficiency and substrates, in growing and mature foliage of *Eucalyptus* spp. *Planta* 224: 680-691.
- Carneiro, P. T.; Cavalcanti, M. L. F.; Brito, M. E. B.; Gomes, A. H. S.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. 2007. Sensibilidade do cajueiro anão precoce ao estresse salino na pré-floração. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2 (2):150-155.
- Carvalho, L. M.; Casali, V. W. D.; Souza, M. A.; Cecon, P. R. 2003. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. *Horticultura brasileira*, 21 (4): 726-730.
- Chaves, M. M.; Rodrigues, M. L. 1987. Photosynthesis and water relations of grapevines growing in Portugal: response to environmental factors. In: Tenhunen, J. D.; Catarino, F. M.; Lange, O. L.; Oechel, W. C. (Ed.). *Plant response to stress*. Berlin: NATO-Advanced Study Institute, p. 379-390. (Series, G15).
- Chaves, M. M; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodrigues, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osório, M. L.; Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of Botany.*, 89: 907-916.

- Chaves-Filho, J.T.; Stacciarini-Seraphin, E. 2001. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira em reposta ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Botânica*, 24:199-204.
- Corrêa, M. P. 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Vol II, Imprensa Nacional ed., Rio de Janeiro.
- Eckstein, K.; Robinson, J.C. 1996. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. *Journal of Horticultural Science*, 71: 679-692.
- Ennahli, S.; Earl, H. J. 2005. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. *Crop Sci*, 45: 2374-2382.
- Fernandez, R. J.; Wang, M.; Reynolds, J. F. 2002. Do morphological changes mediate plant responses to water stress? A steady-state experiment with two C₄ grasses. *New Phytologist*, 155 (1): 79-88.
- Ferreira, S. J. F.; Luizão, F. J.; Dallarosa, R. J. G. 2005. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra-firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Environmental and Experimental Botany*, 39: 213-220.
- Flexas J, Medrano H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Annals of Botany*. 89(2):183-189.
- Freitas, R.B.; Oliviera, L.E.M.; Filho, N.D.; Soares, A.M. 2003. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciências Agrotécnica*, 27(4): 804-810.
- Fuzeto, A. P.; Lomônaco, C. 2000. Potencial plástico de *Cabralea canjerana* subsp. *polytricha* (Adr. Juss.) Penn. (Meliaceae) e seu papel na formação de ecótipos em áreas de cerrado e vereda, Uberlândia, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 23 (2): 169-176.
- Galmés, J.; Ribas-Carbo, M.; Medrano, H.; Flexas, J. 2007. Response of leaf respiration to water stress in Mediterranean species with different growth forms. *Journal of Arid Environments*, 68 (2): 206-222.
- Gindaba J.; Rozanov A.; Negash L. 2005. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass allocation of two Eucalyptus and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205: 127-138.

- Giraud E.; Ho L. H. M.; Clifton R. Carroll, A.; Estavillo G.; Tan, Y-F.; Howell K. A.; Ivanova A.; Pogson, B. J.; Millar A. H.; Whelan, J. 2008. The absence of alternative oxidase1a in Arabidopsis results in acute sensitivity to combined light and drought stress. *Plant Physiology*, 147: 595-610.
- Gomes, A. A.; Araújo, A. P.; Rossiello, R. O. P.; Pimentel, C. 2000. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35 (10): 1927-1937.
- Grassi, G.; Magnani, F. 2005. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. *Plant, Cell and Environment*, 28: 834-849.
- Hsiao, T. C.; Xu, L.K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51:1595-1616.
- Ingram, J.; Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 47:377-403.
- Iqbal, R. M.; Rao, A. R.; Rasul, E.; Abdul, W. 1997. Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. In: Pessaraki, M. (ed.). *Handbook of photosynthesis*. p. 131-158.
- Ismail, M. R.; Burrage, S. W.; Tarmizi, H.; Aziz, M. A. 1994. Growth, plant water relations, photosynthesis rate and accumulation of proline in young carambola plants in relation to water stress. *Scientia Horticulturae*, 60 (1): 101-114.
- Koag M-C.; Fenton, R. D.; Wilkens, S.; Close, T. J. 2003. The binding of maize DHN1 to lipid vesicles. Gain of structure and lipid specificity. *Plant Physiology*, 131: 309-316.
- Konrad, M.L.F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, 64 (3): 339-347.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environment*, 24: 1345-1352.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima. 2000. 531p.

- Lawlor, D. W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 89: 871-885.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environment*, 25: 275–294.
- Lima, A. S.; DaMatta, F. M.; Pinheiro, H. A.; Totola, M. R.; Loureiro, M. E. 2002. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, v. 47, p. 239–247.
- Llorens, L.; Peñuelas, J.; Filella, I. 2003. Diurnal and seasonal variations in the photosynthetic performance and water relations of two co-occurring Mediterranean shrubs, *Erica multiflora* and *Globularia alypum*. *Physiologia Plantarum*, 118 (1): 84 – 95.
- Maia, J.; Soares, G.; Sousa, P. J. C.; Fontes Junior, E. A.; Santos, A. M. S. 2003. Volatile compounds and antispasmodic activity of the stem bark oil of *Aniba canelilla*. In: *XII Congresso Ítalo-Latino-Aamericano de Etnomedicina*, Rio de Janeiro: NPPN/UFRJ, p. 273-273.
- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li W.; Nobre, C. A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319: 169-172.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318
- Marques, C. A. 2001. Marques, C.A. 2001. Importância econômica da família Lauraceae Lindl. *Floresta e Ambiente*, 8(1): 195-206.
- Martins, E. C. 1989. *Plantas medicinais de uso na Amazônia*. Belém: Graficentro/Cejup. 107p.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the brazilian amazon: options for sustainable production. *Economic Botany*, 58 (2): 257-265.
- McCree, K. J.; Kallsen, C. E.; Richardson, S. G. 1984. Carbon Balance of Sorghum Plants during Osmotic Adjustment to Water Stress, *Plant Physiology*, 76: 898-902.
- McDowell, N.; Pockman, W. T.; Allen, C. D.; Breshears, D. D.; Cobb, N.; Kolb, T.; Plaut, J.; Sperry, J.; West, A.; Williams, D. G.; Yezzer, E. A. 2008. Mechanisms of plant survival and

mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *New Phytologist*, v. 178, p. 719–739.

Moriana, A.; Villalobos, F. J.; Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment.*, 25 (3): 395-405.

Pastore, D.; Trono, D.; Laus, M. N.; Di Fonzo, N.; Flagella, Z. 2007. Possible plant mitochondria involvement in cell adaptation to drought stress. A case study: durum wheat mitochondria, *Journal of Experimental Botany*, 58(2):195-210.

Peixoto, C. P.; Cerqueira, E. C.; Soares Filho, W. S.; Castro Neto, M. T.; Ledo, C. A. S.; Matos, F. S.; Oliveira, J. G. 2006. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 28 (3): 439-443.

Pystina, N. V.; Danilov, R. A. 2001. Influence of light regimes on respiration, activity of alternative respiratory pathway and carbohydrates content in mature leaves of *Ajuga reptans* L. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13 (3): 285-292.

Reich, P. B.; Walters, M. B.; Ellsworth, D. S.; Vose, J. M.; Volin, J. C.; Gresham, C.; Bowman, W. D. 1998. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen, specific leaf area and leaf life-span: a test across biomes and functional groups. *Oecologia*, 144: 471-482.

Reis, M. G. F.; Fontan, I. C. I.; Monte, M. A.; Gomes, N. A.; Oliveira, C. H. R. 2006. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Revista Árvore*, 30 (6): 921-931.

Ribas-Carbo, M.; Taylor, N. L.; Giles, L.; Busquets, S.; Finnegan, P. M.; Day, D. A.; Lambers, H.; Medrano, H.; Berry, J. A.; Flexas, J. 2005. Effects of Water Stress on Respiration in Soybean Leaves, *Plant Physiology*, 139: 466-473

Sade, N.; Vinocur, B. J.; Diber, A.; Shatil, A.; Ronen, G.; Nissan, H.; Wallach, R.; Karchi, H.; Moshelion, M. 2009. Improving plant stress tolerance and yield production: is the tonoplast aquaporin SITIP2;2 a key to isohydric to anisohydric conversion? *New Phytologist*, v. 181, p. 651–661.

Santiago, A.M.P.; Nogueira, R. J. M. C.; Lopes, E. C. 2001. Crescimento em plantas jovens

- de *Mimosa caesalpinifolia* Benth., cultivadas sob estresse hídrico. *Ecossistema* 26: 23-30.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:39-46.
- Sharp, R. E.; LeNoble, M. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *Journal of Experimental Botany*, 53 (366): 33-37.
- Silva, E. C.; Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, F. P.; Melo, N. F.; Azevedo Neto, A. D. 2008. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany*, 63(3): 147-157.
- Skillman, J. B. 2008. Quantum yield variation across the three pathways of photosynthesis: not yet out of the dark. *Journal of Experimental Botany*, 59 (7):1647-1661.
- Souza, C.R. de; Soares, A.M.; Regina, M.de A. 2001. Trocas gasosas de plantas de videiras, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 36(10): 1221-1230.
- Steppe, K; Saveyn, A.; Vermeulen, K; Lemeur, R. 2006. A comprehensive model for simulating stem diameter fluctuations and radial stem growth. ISHS *Acta Horticulturae* 718: III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation (HortiModel 2006).
- Tardieu, F.; Hamard, P.; Granier, C.; Muller, B. 2000. Spatial distributions of expansion rate, cell division rate and cell size in maize leaves: a synthesis of the effects of soil water status, evaporative demand and temperature. *Journal of Experimental Botany*, 51(350): 1505-1514.
- Tatagiba, S. D.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F.; Dardengo, M.C. J. D.; Effgen, T. A. M. 2007. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. *Cerne*, 13(2): 149-159.
- Tezara, W; Mitchell, V. J.; Driscoll, S. D.; Lawlor, D. W. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401: 914-917.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58:339-366.
- Tuzet, A.; Perrier, A.; Leuning, R. 2003. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant Cell Environment*, 26: 1097-1116.

- Wu, F. Z.; Bao, W. K.; Li, F. L.; Wu, N. 2008. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. *Photosynthetica*, 46 (1): 40-48.
- Vidal, M. S.; Carvalho, J. M. F. C.C.; Meneses, H. S. G. 2005. Déficit hídrico: aspectos morfofisiológicos. Embrapa Algodão. *Série Documentos*, 142. 19pp.

ANEXOS 3

Tabela 1: Análise de variância do potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por 16 dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) em duas condições (estressado e reidratado).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	10,8**
Hora (H)	1	48,6**
Espécie (Sp)	1	4,5**
Tratamentos (T)	3	86,1**
Cond X H	1	0,2ns
Cond X Sp	1	0,3ns
Cond X T	3	5,6**
H X Sp	1	0,6ns
H X T	3	1,1ns
Sp X T	3	2,1**
Cond X H X Sp	1	0,6ns
Cond X Sp X T	3	0,2ns
Cond X H X T	3	0,1ns
H X Sp X T	3	0,3ns
Cond X H X Sp X T	3	0,3ns
Erro	158	0,4
Média		-1,9
CV (%)		35,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância da respiração no escuro (R_d) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI = Tratamento não-irrigado), acompanhadas por um período de sete semanas.

Fonte de Variação	GL	R_d
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamentos (Trat)	1	0,0ns
Semana (Sem)	5	11,6**
Sp X Trat	2	0,0ns
Sp X Sem	5	0,2ns
Trat X Sem	4	0,1ns
Sp X Trat X Sem	4	0,2ns
Erro	82	0,1
Média		0,9
CV (%)		44,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância das variáveis de trocas gasosas, obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI = Tratamento não-irrigado) acompanhadas durante sete semanas. (A = fotossíntese líquida, g_s = condutância estomática, C_i = carbono interno, E = transpiração, EUA = eficiência no uso da água, EIUA = eficiência intrínseca no uso da água).

Fonte de Variação	GL	A	g_s	C_i	E	EUA	EIUA
Espécie (Sp)	1	0,9ns	0,0**	181748,5**	0,8**	81,1**	66151,6**
Tratamentos (Trat)	1	7,3**	0,0*	17,7ns	6,3*	0,8ns	457,7 ns
Semana (Sem)	5	24,9**	0,0**	32872,4*	1,9**	24,1*	14796,1 ns
Sp X Trat	1	1,9ns	0,0ns	2986,8ns	0,2ns	0,1ns	186,6ns
Sp X Sem	5	6,9**	0,0**	68615,8**	0,6**	5,5ns	4312,4 ns
Trat X Sem	4	9,8**	0,0**	731,6ns	0,9**	0,2ns	209,5 ns
Sp X Trat X Sem	4	0,9ns	0,0ns	3119,0ns	0,1ns	1,1ns	1138,8ns
Erro	78	0,9	0,0	14727,6	0,1	8,3	6385,5
Média		1,5	0,0	321,1	0,7	0,3	11,8
CV (%)		59,9	41,3	37,8	44,7	992,3	676,5

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância das variáveis altura, diâmetro e ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	Altura	Diâmetro	Ganho foliar
Época (Ep)	1	335,7**	3,2ns	149,6*
Espécie (Sp)	1	534,7**	7,3*	93,6ns
Sistema (Sist)	1	60,4ns	16,1**	10,8ns
Ep x Sp	1	16,1ns	0,3ns	13,3ns
Ep x Sist	1	158,9**	0,2ns	36,3ns
E x Sist	1	651,0**	3,7ns	86,7ns
Ep x Sp x Sist	1	40,9ns	0,0ns	10,8ns
Erro	112	23,3	1,2	28,9
Média		25,66	4,9	15,3
CV (%)		18,83	21,9	35,1

Tabela 5: Análise de variância da biomassa em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	1,4ns
Órgãos (Org)	2	0,8ns
Tratamento (Trat)	1	152,1**
Esp x Org	2	0,5ns
Esp x Trat	1	0,2ns
Org x Trat	2	12,0**
Esp x Org x Trat	2	0,6ns
Erro	108	0,7
Média geral		2,2
Cv		36,3

Tabela 6: Análise de variância das variáveis razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), massa seca tota (MP) e área foliar específica (AFE), de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba roseodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	RPA	RPF	MSP	AFE
Espécie (Sp)	1	0,06ns	0,01 ns	4,26ns	66,1912ns
Tratamentos (Trat)	1	1,96**	0,51**	456,37**	7059,79003**
Sp X Trat	1	0,08ns	0,00 ns	0,67ns	483,4839ns
Erro	36	0,06	0,09	3,94	314,0824
Média		0,60	0,28	6,65	154,6175
CV (%)		41,09	18,36	29,85	25,76

CONCLUSÃO GERAL

As plantas jovens de *A. rosaeodora* e *A. canelilla* apresentaram potencial para tolerância ao estresse hídrico, demonstrando capacidade de recuperação após reidratação, e bom desempenho em resposta ao estresse por elevada irradiância.

O comportamento de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* neste trabalho indicou como principal mecanismo de tolerância à seca a capacidade de fazer ajustamento osmótico. As duas espécies demonstraram condições para tolerar seca moderada (T₁₆) à severa (T₂₄), porque mesmo com o declínio dos parâmetros acompanhados ao longo do estresse (CRA e potencial hídrico foliar), bem como alterações importantes em todas as características que foram avaliadas no início (T₀) e ao final (T₂₄) do experimento (como teores de pigmentos, açúcares e óleos), as plantas foram capazes de emitir lançamentos foliares após reidratação.

Em condição de boa disponibilidade hídrica, as duas espécies apresentaram diferenças significativas quanto à Amáx, R_d, I_s, I_c e g_s, em que *Aniba rosaeodora* apresentou os maiores valores sugerindo uma melhor adaptação desta espécie a níveis mais elevados de irradiância. Entretanto, as espécies foram similares quanto à EUA e EIUA. Na condição não-irrigada a alta variabilidade dos dados impossibilitou a avaliação destas variáveis.

Em plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla*, com 18 meses de idade, a aclimação à ambientes com alta irradiância ocorre por meio de mecanismos que mantêm o metabolismo fotossintético em níveis mais baixos.

Aniba rosaeodora mostrou-se ser uma espécie melhor adaptada a níveis mais elevados de irradiância, tanto pelas características das trocas gasosas como para a biossíntese de óleos voláteis, que se mantiveram semelhantes nas duas condições.

Aniba canelilla, apesar das limitações impostas pelo estresse luminoso, apresentou uma maior eficiência no uso da água, aspecto vantajoso quando em condições naturais combinam-se os estresses por elevada irradiância e hídrico.

As duas espécies apresentaram capacidade de tolerância à transferência para ambientes contrastantes de luz, característica que facilita o manejo silvicultural destas plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

- Barata, L. E. S.; Zellner, B. D.; Mondello, L. 2006. Enantioselective odour analysis of linalool present in Brazilian rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) essential oils extracted from wood and leaves through enantioselective-gas-chromatography-olfactometry, enantioselective-gas-chromatography and gas-chromatography-mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 78: 883-890.
- Barbosa, A. P.; Sampaio, P. T. B.; Campos, M. A. A.; Goncalves, C. Q. B.; Neves, T. S.; Oliveira, I. F. 2000. A germinação de sementes de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* ducke) em diferentes substratos. In: Workshop Intermediário: Estudos para manejo florestal e recuperação de áreas degradadas, Manaus (AM). Workshop Intermediário: Estudos para manejo florestal e recuperação de áreas degradadas - Projeto Jacaranda (INPA/JICA).
- Barbosa, A. P.; Freitas, M. S.; Useche, F. L.; Santos, A. T. C.; Chaar, J. S. 2005. Produção de óleo de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e o crescimento de plantas plantadas. In: III Simpósio Brasileiro de Óleos Essenciais, Campinas/SP. Comitê Editorial do IAC. 1: 128-128.
- Benincasa, M. M. P. 1986. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal: FCAVUNESP. 41p.
- Chaar, J. S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. Master`s Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaar, J. S.; Mouchrek Filho, V. E.; Silva, D. D.; Breviglieri, S. T.; Galhiane, M. S. ; Chierice, G. O. 2003. Extraction and Quantification of Linalool in the Essential Oil from Leaves from *Aniba duckei* Kostermans cultivated inits natural environmet. *Anais da Associação Brasileira de Química*, 52 (3): 110-114.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p. 467-468.
- Cunha, L.N. 2002. *Influência sazonal no teor de linalol da espécie Aniba duckei Korstermans plantadas em ambiente natural*. Master`s Thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 90 pp.
- Gonçalves, J. F. C.; Sousa, D. C.; Santos Junior, U. M.; Lima, R. B.; Barbosa, A. P.; Sampaio,

- P. T. 2003. Eficiência fotoquímica do fotossistema II e teores de pigmentos cloroplastídicos em plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora ducke*) submetidas a diferentes relações de $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$. In: 54. Congresso Nacional de Botânica, 2003, Belém-PA. Desafios da Botânica Brasileira no Novo Milênio: Inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal, 2003. v. 1. p. 79-79.
- Gonçalves, J.F. de C.; Santos Junior, U.M. dos. 2005. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (3): 307-313.
- Hendry, G.A.F.; Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. (eds), *Methods in Comparative Plant Ecology*, p. 148-152. London, Chapman & Hall.
- Lahlou, S.; Magalhães, P. J.; de Siqueira, R. J.; Figueiredo, A. F.; Interaminense, L. F.; Maia J. G.; Sousa, P. J. 2005. Cardiovascular effects of the essential oil of *Aniba canelilla* bark in normotensive rats. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 46 (4): 412-21.
- Lichtenthaler, H.K.; Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Societ Transactions*, 591-603.
- Lima, M. P.; Silva, T. M. D.; Silva, J. D.; Zoghbi, M. G. B.; Andrade, E. H. A. 2004. Essential oil composition of leaf and fine stem of *Aniba canelilla* (Kunth) Mez from Manaus, Brazil. *Acta Amazonica*, 34 (2): 329 – 330.
- Lima, R. B. S. 2006. Características fisiológicas e conteúdo de óleos voláteis em folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em diferentes períodos de precipitação, na Amazônia Central. Master`s Thesis, INPA / UFAM, Manaus. 69pp.
- Maia, J. G. S.; Sousa, P. J. C.; Fontes Junior, E. A.; Santos, A. M. S. 2003. Volatile compounds and antispasmodic activity of the stem bark oil of *Aniba canelilla*. In: XII Congresso Ítalo-Latino-Aamericano de Etnomedicina, 2003, Rio de Janeiro. Livro de Resumos. Rio de Janeiro: NPPN/UF RJ, 1: 273-273.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the brazilian amazon: options for

- sustainable production. *Economic Botany* 58(2): 257-265.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science*. 107: 254-255.
- Passos, L.P. 1996. *Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal*. Embrapa, Coronel Pacheco, MG. 223 p
- Pimentel, C. 1999. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(11): 2021-2027.
- Rosa, L. S.; Ohashi, S.T.; Meckdece, F. S. 2001. Influência do diâmetro e da altura de corte das cepas na brotação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: V Congresso Internacional de Compensado e Madeira Tropical, Belém.
- Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Vieira, G. e Spironello, W. R.; Ferraz, I.D.K. e Camargo, J.L.C. 2003. Silvicultura do Pau Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: Higuchi, N. et al., (orgs.). Projeto Jacaranda Fase II: *Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 2: 179-189.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:39-46.
- Spironello, W.; Barbosa, A. P.; Sampaio, P. T. B. 2001. Ecologia reprodutiva, manejo e conservação do pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistemas de plantios. In: V Congresso de Ecologia do Brasil. Porto Alegre.
- Wilson Roberto Spironello, Paulo de Tarso Barbosa Sampaio e Beatriz Ronchi-Teles. 2004. Produção e predação de frutos em *Aniba rosaeodora* Ducke var. *amazonica* Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central. *Acta Botanica Brasilica* 18(4): 801-807.
- Taveira, F.S.N.; Lima, W.N.; Andrade, E.H.A.; Maia, J.G.S. 2003. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 31: 69-75.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58: 339-366.
- Vieira, G.; Sampaio, P. T. B.; Quinsen, R. 2000. Regeneração Natural Como Propágulos para Produção de Plantas de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em Viveiro. In: Forest 2000, Porto Seguro. VI Congresso Internacional sobre Florestas, p. 177-180.