



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS



RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E A PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL EM ESPÉCIES ARBÓREAS

|

|CLARISSA ROCHA DIAS DE CARVALHO|

2013|



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS**



CLARISSA ROCHA DIAS DE CARVALHO

**RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E A PRODUÇÃO DE
ÓLEO ESSENCIAL EM ESPÉCIES ARBÓREAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração em Produção em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

Orientador

Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr

**SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL**

2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

C331r Carvalho, Clarissa Rocha Dias de
Relação entre parâmetros ecofisiológicos e a produção de óleo
essencial em espécies arbóreas / Clarissa Rochas Dias de
Carvalho; orientador Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr.. –
São Cristóvão, 2013.
55 f. : il.

Dissertação (mestrado em Agroecossistemas) –Universidade
Federal de Sergipe, 2013.

1. Fotossíntese. 2. Fluorescência da clorofila. 3. Essências
e óleos essenciais. 4. *Schinus terebinthifolius*. 5. *Syzygium
cumini* I. Oliveira Júnior, Luiz Fernando Ganassali, orient. II.
Título.

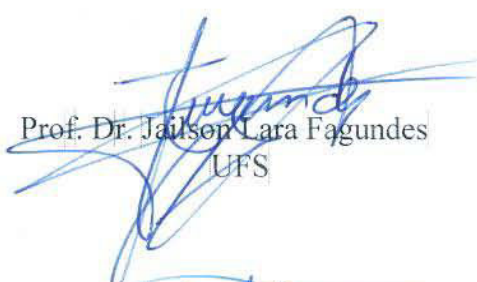
CDU: 577.355:665.947.8

CLARISSA ROCHA DIAS DE CARVALHO

**RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS ECOFISIOLÓGICOS E A PRODUÇÃO DE
ÓLEO ESSENCIAL EM ESPÉCIES ARBÓREAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agroecossistemas, área de concentração em Produção em Agroecossistemas, para obtenção do título de “Mestre em Ciências”.

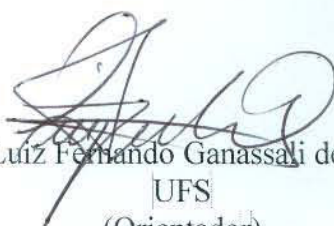
APROVADA: em 27 de fevereiro de 2013.



Prof. Dr. Jailson Lara Fagundes
UFS



Dr. Adenir Vieira Teodoro
EMBRAPA/Tabuleiros Costeiros



Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr.
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

|

Aos meus pais
Alberto César e Maria Josefina (in memorian)
e à família ECOPOC
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter iluminado mais uma importante fase da minha vida.

À minha família, em especial a meus pais, por todo amor e incentivo para que eu buscasse sempre o melhor na minha vida pessoal e profissional.

A todos os meus amigos, pela companhia e compreensão em inúmeros momentos de estresse de minha parte.

À Universidade Federal de Sergipe, pela oportunidade e pelo incentivo ao aprendizado científico, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa concedida.

Ao Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Jr., pela orientação técnica durante a execução do estudo, mas principalmente pela paciência e pela confiança em mim depositada.

À equipe do Laboratório de Ecofisiologia e Pós-Colheita - ECOPOC, em nome de João Paulo, Marcelle, Amanda, Matheus, Hugo, Thiago, Fábio e também os que já não fazem parte da equipe, Lucas, Júlio, Cláudia, Marília, Gabriel, Raniel e Rhaísa, pelo apoio e pelos maravilhosos momentos que dividimos em meio a coletas de campo e avaliações.

Ao Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Engenharia Agrônômica, em especial a Sr. Raimundo por atender sempre que possível minhas solicitações.

Aos colegas das turmas de Mestrado, pelos agradáveis e desesperadores momentos compartilhados.

Meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

Ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de Sergipe no ano de 2004, onde começou suas atividades de Iniciação Científica. No mesmo ano, participou do Grupo de Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares sob orientação do Dr. Arie Fitzgerald Blank. Iniciou como bolsista da Empresa Raro's Agroindústria, onde trabalhou com tecnologias de produção de mudas de espécies medicinais e aromáticas. Tornou-se bolsista Capes/CNPq nos anos 2005/2006, realizando a Caracterização agrônômica de acessos de erva-cidreira-brasileira [*Lippia alba* (Mill.) N.E.Br] oriundos dos estados de Sergipe e Bahia, e da UnB, cultivados em Sergipe; e 2006/2007, realizando a Hibridação em manjerição (*Ocimum basilicum* L.): cultivares Sweet Dane e Cinnamom. Tornou-se servidora pública estadual na Secretaria de Estado de Educação em 2008 como Técnica Administrativa, afastando-se das atividades em 2011. Concluiu a graduação em 2010 com o tema de monografia "Efeitos da Adubação Química e Calagem no Crescimento e Nutrição Mineral do Gerânio (*Pelargonium graveolens* L.)", sob orientação do Dr. Arie Fitzgerald Blank. Retornou à Universidade Federal de Sergipe no ano de 2011, onde atualmente é bolsista Capes no Programa de Mestrado em Agroecossistemas, seguindo a linha da Fitotecnia e da Fisiologia e Pós Colheita de Plantas, sob orientação do Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	Ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS	Iii
RESUMO	Iv
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO	2
2.1 Importância da avaliação ecofisiológica.....	2
2.2 Plantas medicinais - Aspectos gerais	3
2.3 Óleos essenciais	4
2.4 Efeitos abióticos na produção de biativos em plantas.....	6
3. ARTIGO 1: Relação entre parâmetros ecofisiológicos e a produção de óleo essencial em espécies arbóreas.....	9
Resumo	10
Introdução	11
Metodologia.....	12
Resultados	13
Discussão	14
Conclusão	17
Referências bibliográficas	17
4. ARTIGO 2: Trocas gasosas e produção de óleo essencial de duas espécies arbóreas em diferentes épocas	23
Resumo	24
Introdução	25
Metodologia	26
Resultados	27
Discussão	30
Conclusão	33
Referências bibliográficas	33
5. CONCLUSÕES GERAIS	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 2: Trocas gasosas e produção de óleo essencial de espécies arbóreas em duas épocas

FIGURA 1. Taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e déficit de pressão de vapor entre folha e ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) de jamelão e aroeira em época seca ao longo do dia.

FIGURA 2. Taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (Gs) e déficit de pressão de vapor entre folha e ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) de jamelão e aroeira em época chuvosa ao longo do dia.

FIGURA 3. Teor de carbono interno (Ci) de aroeira e jamelão na épocas seca e chuvosa ao longo do dia.

FIGURA 4. Temperatura das folhas (T_{folha}) de aroeira e jamelão nas épocas seca e chuvosa.

FIGURA 5. Rendimento de óleo essencial extraído de folhas frescas de aroeira e jamelão nas épocas seca e chuvosa. |

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1: Relação entre parâmetros ecofisiológicos e a produção de óleo essencial em espécies arbóreas

TABELA 1: Valores médios dos teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), teores de clorofila total (Chl *t*) e área foliar de duas espécies arbóreas.

TABELA 2: Valores médios de eficiência fotoquímica máxima do FSII (F_v/F_m), fluorescência inicial (F_o), fluorescência variável (F_v) e fluorescência máxima (F_m) de duas espécies arbóreas.

TABELA 3: Valores médios dos rendimentos de óleos essenciais de folhas secas e frescas de duas espécies arbóreas.

|

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Chl <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>
Chl <i>b</i>	Clorofila <i>b</i>
Chl <i>t</i>	Clorofila total
Chl <i>a/b</i>	Relação clorofila <i>a</i> por clorofila <i>b</i>
Fv/Fm	Eficiência fotoquímica máxima do FSII
F0	Fluorescência inicial
Fv	Fluorescência variável
Fm	Fluorescência máxima
qP	Quenching fotoquímico
qN	Quenching não-fotoquímico
A	Assimilação fotossintética de CO ₂
Gs	Condutância estomática
Ci	Concentração interna de carbono
E	Transpiração
DPV	Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar

RESUMO

CARVALHO, Clarissa Rocha Dias de. **Relação entre parâmetros ecofisiológicos e a produção de óleo essencial em espécies arbóreas.** São Cristóvão: UFS, 2013. 55p. (Dissertação – Mestrado em Agroecossistemas).*

O jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e a aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) são espécies de múltiplas aptidões com grande potencial olerífero. Seus óleos essenciais produzidos em folhas, frutos e hastes apresentam propriedades farmacológicas diversas. Técnicas como medição da emissão de fluorescência da clorofila *a* e o monitoramento dos mecanismos de trocas gasosas podem fornecer dados imprescindíveis para avaliação da funcionalidade das plantas. Portanto, nesse trabalho objetivou-se a avaliação ecofisiológica destas espécies, a fim de relacioná-la com a produção de óleos essenciais. Num primeiro momento, foram avaliados os teores de clorofila *a*, *b* e total, fluorescência da clorofila *a*, e o rendimento de óleo essencial das espécies estudadas, extraído no período de seca. No seguinte, foram avaliados: taxa assimilatória de fotossíntese líquida, condutância estomática, déficit de pressão de vapor, temperaturas do ar e da folha, carbono interno e rendimento de óleo de folhas frescas e secas, nos períodos seco e chuvoso. Para os parâmetros ecofisiológicos primeiramente estudados, as plantas de jamelão apresentaram os maiores valores, enquanto os da aroeira foram estatisticamente menores. Quanto ao óleo essencial produzido pelas duas espécies, a aroeira apresentou o melhor rendimento para folhas secas e frescas. Não foi verificada relação direta entre a eficiência do aparato fotossintético e a produção de óleo essencial para as duas espécies estudadas. Os resultados encontrados no estudo seguinte, apontaram diferenças significativas em todas as variáveis e influência do horário das medições nas respostas das espécies estudadas, nas duas épocas. Pode-se verificar, no período de chuvas, uma tendência diferenciada das espécies em relação ao período seco. No período de maior umidade verificaram-se as maiores taxas de fotossíntese líquida (*A*), condutância estomática (*G_s*) e transpiração (*E*) para aroeira e jamelão. Nesse mesmo período, foram verificados os maiores teores de carbono interno (*C_i*). A produção de óleo essencial nas duas espécies, de modo geral, não apresentou variações devido a sazonalidade. Essa variação somente foi observada em folhas secas de aroeira, com rendimento muito superior ao observado no período chuvoso. Assim como no estudo anterior, não se pode correlacionar os parâmetros ecofisiológicos estudados com a produção de metabólitos secundários. |

Palavras-chave: fotossíntese, fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, óleo essencial, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*.

* Comitê Orientador: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior – [UFS] (Orientador)

ABSTRACT

CARVALHO, Clarissa Rocha Dias de. **Relationship between ecophysiological parameters and essential oil production in tree species.** São Cristóvão: UFS, 2013. 55p. (Dissertation – Master Program in Agroecosystem).*

The jamun fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) and the rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) are species of multiple aptitudes with a high oil potential. Its essential oil produced by leaves, fruits and stems show a large variety of pharmacological properties. Evaluation of chlorophyll *a* fluorescence emission and monitoring of gas exchanges mechanisms may provide valuable data for plant functionality evaluation. Thus, the ecophysiological evaluation of these species, was conducted aiming to relate it with essential oil production. First, the content of chlorophyll *a*, *b* and total, chlorophyll *a* fluorescence, and oil essential productivity of the species was analyzed, extracted in the dry season. Subsequently, the liquid photosynthesis assimilate rate, stomatal conductance, transpiration, vapor pressure deficit, air and leaf temperature, internal carbon and fresh leaves oil productivity, in dry and rainy season were evaluated. For the ecophysiological parameters first studied, jamun fruit had higher values, in companson with rose pepper. As for the essential oil produced by the two species, rose pepper showed the best yield for fresh and dry leaves. It was not verified any direct relation between the photosynthetic apparatus efficiency and essential oil production to the two species studied. The results found in the following study pointed to significant differences in all variables and time influence in the studied species, in both seasons. In the rainy season, a different tendency in the species evaluated according to the dry season was found. In the highest humidity season were verified the highest net photosynthesis rates (*A*), stomatal conductance (*G_s*) and transpiration (*E*), for rose pepper and jamun fruit trees. In this same season, the highest contents of internal carbon (*C_i*) were verified. The essential oil production in the two species, generally, did not vary seasonally. This variation was only seen for dry rose pepper leaves. with a higher productivity in the rainy season. As the previous study, it was not possible to correlate the ecophysiological parameters studied with the secondary metabolites production.

Key-words: photosynthesis, chlorophyll fluorescence, gas exchange, oil production, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*.

* Guidance Committee: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior – [UFS] (Guidance)

1. INTRODUÇÃO GERAL

Espécies como jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) são tratadas como plantas de uso múltiplo, devido suas inúmeras aptidões. O *S. cumini* além de fornecer frutos e madeira, produz óleo essencial com substâncias que apresentam características antioxidante, antiviral e anticarcinogênica, anti-inflamatória, antibacteriana, antialérgica, anti-inflamatória e hipoglicemiante. A aroeira, por sua vez, apresenta grande importância medicinal por ser usada com fins terapêuticos, pois contém propriedades que atuam no combate a febre, lesões, úlceras de pele e mucosas, inflamações do útero, do sistema digestivo (gastrite, atonia gástrica, diarreia) e do sistema urinário.

A utilização de indicadores fisiológicos que possam ser associados a respostas de plantas às condições do ambiente local tornou-se uma ferramenta imprescindível. Considera-se esse tipo de investigação importante para descrever uma planta ou ecossistema em termos de vitalidade, produtividade, sensibilidade e resistência ao stress, para estudar a relação estrutura-função em plantas, para investigar as ecodinâmicas de sistemas complexos, como árvores, florestas e ecossistemas inteiros.

Muitas técnicas experimentais estão disponíveis hoje para o estudo do comportamento energético de um sistema fotossintético. A medição da emissão de fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada como método auxiliar na compreensão da sua estrutura e função. Outra fonte de informações sobre a funcionalidade das plantas são seus mecanismos de trocas gasosas.

A pesquisa científica tem dado destaque à produção de óleo essencial, quando associado a parâmetros fisiológicos. Na literatura, encontram-se relações diretas entre produção de óleos essenciais e atividade fotossintética. Portanto, realizou-se uma avaliação ecofisiológica de duas espécies arbóreas, o jamelão e a aroeira, relacionando com a produção de óleo essencial. |

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da avaliação ecofisiológica

O estado fisiológico é definido pela composição molecular e conformação da amostra e pode ser descrito por parâmetros estruturais e conformacionais. Toda mudança ambiental obriga o sistema fotossintético a se adaptar e alterar o seu estado fisiológico (TSIMILLI-MICHAEL et al., 1996). A adaptação é a expressão de uma estratégia de sobrevivência. Portanto, pode-se investigar a vitalidade de um sistema fotossintético estudando a sua capacidade de adaptação (STRASSER et al., 2000).

As plantas respondem às mudanças nas condições de luz em termos de quantidade e composição dos pigmentos nos cloroplastos (ALVARENGA et al., 2003). Além disso, a água de abastecimento pode modificar a taxa de transporte de elétrons e a eficiência de transferência de luz durante a fotossíntese, que, também pode influenciar a produtividade e alocação de biomassa em plantas (WANG et al., 2006).

Muitas técnicas experimentais estão disponíveis atualmente para a investigação do comportamento energético de um sistema fotossintético. A fluorescência da clorofila *a*, embora correspondendo a uma fração muito pequena da energia dissipada do aparelho fotossintético, é amplamente aceita como método auxiliar na compreensão da sua estrutura e função (STRASSER et al., 2000).

Vários trabalhos têm sido publicados sobre a base teórica e as aplicações ecofisiológicas relacionadas à fluorescência (KRAUSE e WEIS, 1991; MOHAMMED et al., 1995, SCHREIBER et al., 1998, BAKER, 2008). Conforme Krause e Weis (1991), a aferição da fluorescência pode ser considerada uma medida complementar de fotossíntese. A emissão de fluorescência indica o nível da energia de excitação nos complexos de pigmento / proteína (SCHOLLES E HORTON, 1993). Além disso, a fluorescência quando combinada com outras medições não invasivas tais como a espectroscopia de absorção, as análises de gás infravermelho e termometria, pode ser ferramenta muito poderosa no estudo da performance fotossintética (BAKER, 2008). Informações detalhadas sobre a estrutura de energia, distribuição e função da operação de fotossíntese, especialmente para o fotossistema II podem ser obtidas por meio da fluorescência (STRASSER et al., 2000).

A luz desempenha um papel importante na regulação de inúmeras enzimas cloroplastídicas, podendo, quando em excesso, desencadear distúrbios nos processos associados às atividades fotossintéticas. A alta intensidade de luz pode, em condições aeróbicas, catalisar a geração de espécies reativas de oxigênio, altamente danosas à integridade e funcionalidade celular (BARBER e ANDERSSON, 1992; OLIVEIRA, 2002).

Atualmente, essa condição de estresse é conhecida como fotoinibição e definida como um complexo conjunto de processos moleculares que promovem a inibição de fotossíntese através do excesso de luz (ALMENARA, 1998).

As variáveis de fluorescência usadas para avaliar o funcionamento do fotossistema II (PSII) incluem: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e relação F_v / F_m (SCHOLLES e HORTON, 1993). F_v representa a diferença entre F_m e F_0 ($F_v = F_m - F_0$). O parâmetro F_0 é a fluorescência mínima (centros de reação abertos ou oxidados). Quando as folhas são brevemente expostas à luz saturante, todos os centros de PSII são fechados, a quinona A (QA) é reduzida e o rendimento máximo de fluorescência (F_m) é observado. A razão F_v/F_m , calculada como $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$, é uma variável de fluorescência diretamente correlacionada com a eficácia fisiológica do mecanismo fotossintético. Esta razão é considerada proporcional à eficiência quântica de PSII (BJÖRKMAN e DEMMING, 1987).

A diminuição da relação F_v/F_m é um excelente indicador de efeito fotoinibitório quando as plantas estão submetidas a qualquer tipo de estresse e pode representar tanto uma regulação fotoprotetora reversível ou uma inativação irreversível do PSII (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009). O declínio da relação F_v/F_m é um bom indicador do dano fotoinibitório quando as plantas estão sujeitas a estresses do ambiente, incluindo frio e seca (BJÖRKMAN e POWLES, 1984).

Resultados de Souza et al. (2010) indicaram que espécies de árvores de diferentes grupos sucessionais foram capazes de se adaptar em contrastantes disponibilidades de luz, exibindo alterações na morfologia da folha e na fotossíntese, bem como em teores nutricionais foliares. Além disso, as respostas fotoquímicas semelhantes indicaram que as espécies pioneiras e não-pioneiras têm a capacidade de aclimação do aparelho fotoquímico semelhante, em dois ambientes de luz. Gonçalves et al. (2007) avaliaram a eficiência de captura e utilização de luz em condições de baixa e alta luminosidade em mudas de copaíba e de mogno e concluíram que a investigação de transientes da curva OJIP e parâmetros obtidos da fluorescência da clorofila *a* foram eficazes como índices de desempenho das espécies.

Outra fonte de informações sobre a funcionalidade das plantas são os mecanismos de trocas gasosas. Através desses mecanismos avaliam-se a condutância estomática, a taxa de fotossíntese líquida, taxa transpiratória, diferença de pressão de vapor entre folha e ar, teor de carbono interno e temperatura da folha e do ar; geralmente, correlacionando esses fatores com o ambiente local.

Os estômatos atuam como reguladores da perda de água pela transpiração, respondendo ao déficit hídrico com a alteração da abertura do poro a uma faixa crítica de

valores do potencial hídrico foliar (LARCHER, 2000). Sob seca intensa, o estreitamento do poro estomático com a finalidade de amenizar a perda de água através da transpiração pode limitar, também, a difusão de CO₂ para a câmara subestomática, condicionando menores taxas de fotossíntese líquida e aumento da temperatura foliar (SMITH, 1989; RICKLEFS, 1996; PRADO et al., 2001).

A condutância estomática, em situação de luz saturada, como um parâmetro indicativo de déficit hídrico, mostra que há alta correlação entre o início da inibição da seca induzida em diferentes processos fotossintéticos e a condutância estomática. A redução da condutância estomática diminui a perda de água das folhas e restringe a entrada de CO₂ nestes órgãos, o que diminui a assimilação fotossintética de carbono (ARAUJO e DEMINICIS, 2009). Sob estresse hídrico mais intenso, o controle das trocas gasosas (A e E) é assumido por um fator biótico (Gs). Isso indica que, a planta torna-se mais independente em relação ao ambiente, assumindo o controle do balanço hídrico e o de carbono através dos valores de Gs, o qual pode ser condicionado, parcialmente, através da abertura do poro estomático (PASSOS et al. 2005).

Os indicadores fisiológicos que podem ser traduzidos em respostas das plantas às condições do ambiente local são uma ferramenta imprescindível. Esses métodos de investigação auxiliam no entendimento do funcionamento de uma planta ou de todo ecossistema em termos de vitalidade, sensibilidade e resistência ao stresse das ecodinâmicas de sistemas complexos, como árvores, florestas e ecossistemas inteiros.

2.2 Plantas medicinais - Aspectos gerais

Estudos etnobotânicos são realizados a fim de conhecer a medicina popular de povos tradicionais e/ou contemporâneos e as formas de organização desses conhecimentos, procurando, ainda, plantas que apresentem substâncias biologicamente ativas que possam ser utilizadas na produção de medicamentos (LORENZI e MATOS, 2008). Assim, novas linhas de pesquisa surgem a fim de estabelecer novos produtos naturais e validar cientificamente o uso das plantas medicinais.

Em um levantamento das plantas medicinais mais utilizadas no município de Tenente Ananias-RN, Sarmiento et al. (2001) catalogaram 25 espécies vegetais, distribuídas em 19 famílias, e observaram que 95% da comunidade se utilizava das plantas medicinais, além de que as indicações de uso não eram divergentes das informações existentes na literatura.

De mesmo modo, uma pesquisa em comunidades indígenas do estado do Maranhão demonstrou o amplo conhecimento popular existente e a consciência das pessoas quanto ao uso correto das plantas medicinais. Observou-se também que frequentemente os índios

utilizavam preparações obtidas a partir de 2 ou até 3 espécies vegetais diferentes, indicando o uso de associações de plantas (COUTINHO et al., 2002). Nessa comunidade foram citadas 51 espécies vegetais de uso terapêutico, 40 destas foram catalogadas pelos autores.

Espécies como jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) são tratadas como plantas de uso múltiplo, devido suas inúmeras aptidões. O *S. cumini* além de fornecer frutos e madeira, produz óleo essencial com substâncias que apresentam características antioxidante, antiviral e anticarcinogênica (ONG e KHOO, 2000), anti-inflamatória (BRAGA et al., 2007; LIMA et al., 2007), antibacteriana (OLIVEIRA et al., 2007), antialérgica (BRITO et al., 2007), anti-inflamatória e hipoglicemiante (REYNERTSON et al., 2008). A aroeira, por sua vez, também possui muitas propriedades benéficas já comprovadas, como anticancerígena e antioxidante (BENDAOU et al., 2010), antimicrobiana (CERUKS et al., 2007; LIMA et al., 2006), inseticida (KWEKA et al., 2011), entre outras. As folhas secas podem ser utilizadas como cataplasmas antissépticos sobre úlceras de pele. Em infusão, podem tratar bronquite e outras doenças respiratórias, enquanto o suco de suas raízes maceradas é considerado eficaz no tratamento de tumores ganglionares (BARBOSA et al., 2007).

O jamelão, também conhecido por jambolão, pertence à família *Myrtaceae* e é uma árvore com folhagem abundante, que atinge cerca de 10 m de altura e de classificação secundária. Os frutos de sabor adstringente são carnosos do tipo baga, com pericarpo de coloração roxa escura intensa (MIGLIATO et al., 2006). A aroeira é uma árvore da família *Anacardeaceae*, perenifólia e de copa larga, que atinge 5-10 m de altura. Popularmente também denominada de aroeira-da-praia e pimenta-rosa, apresenta flores masculinas e femininas muito pequenas. As folhas são compostas, imparipinadas e aromáticas. Os frutos do tipo drupa, globóides, são aromáticos e adocicados, de cor vermelha brilhante (LORENZI e MATOS, 2008).

2.3 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são substâncias orgânicas e voláteis muito conhecidas pelo cheiro que caracteriza algumas plantas. Esse aroma é fruto da combinação de suas diversas frações, e podem estar em um só órgão vegetal ou em toda a planta. As plantas produzem essas substâncias voláteis a partir de vias metabólicas secundárias, ou seja, não prioritárias ao metabolismo do vegetal (MARTINS et al., 2000).

A composição do óleo essencial depende da espécie, variedade ou origem da planta. Na mistura, os compostos presentes mostram-se em diferentes concentrações, sendo um deles o composto majoritário. A grande maioria, no entanto, é constituída de derivados

fenilpropanóides ou de terpenóides. Os terpenóides constituem uma grande variedade de substâncias vegetais, sendo esse termo designado a todas as substâncias derivadas de unidades do isopreno. Os compostos terpênicos mais frequentes nos óleos voláteis são os monoterpenos (90 % dos óleos) e os sesquiterpenos (CARDOSO et al., 2001).

Os metabólitos secundários apresentam funções ecológicas como inibidores de germinação, na proteção contra predadores, na atração de polinizadores, na proteção contra a perda de água e aumento de temperatura (CARDOSO et al., 2001). Além de apresentarem as propriedades analgésica, antiespasmódica, cicatrizante, bactericida, vermífuga, relaxante, antivirótica, expectorante, antisséptica etc. De acordo com as propriedades que apresentam, os constituintes do óleo essencial também podem ser chamados de bioativos.

Inseticidas alternativos foram testados por Kweka et al. (2011) para o controle de vetores de malária. Constatou-se que o óleo essencial de frutos e sementes de *S. terebinthifolius* foi eficiente contra mosquitos *Anopheles gambiae*, *Anopheles arabiensis* e *Culex quinquefasciatus*. Assim como, Silva et al. (2010) apontou o uso do óleo de aroeira para o controle do mosquito *Stegomyia aegypti*, como um larvicida natural.

Na aroeira foram identificados 62 constituintes químicos. Em maior quantidade, α -felandreno (34.38%), γ -cadineno (18.04%), β -felandreno (10.61%), *p*-cimeno (7.34%), α -pineno (6.49%) e α -terpineol (5.60%) (BENDAOU et al., 2010). Em jamelão, podem ser isolados de folhas frescas (82% de óleo), hastes, sementes e frutos, os compostos α -pineno, canfeno, β -pineno, mirceno, *cis*-ocimeno, *trans*-ocimeno, γ -terpineno, terpinoleno, bornil acetato, α -copaeno, cariofileno, α -humuleno, γ -cadineno, δ -cadineno, β -mirceno, α -terpineol, dihidrocarvil acetato, geranil butirato, terpinil valerato, β -cariofileno, β -selineno, calacoreno, α -muurolol, α -santalol, *cis*-farnesol e ácidos laurico, mirístico, palmitico, estearico, oleico, linoleico, malvalico, esterculico e vernolico (AYYANAR e SUBASH-BABU, 2012).

As plantas apresentam diversas vias metabólicas secundárias que levam à formação de compostos, cuja distribuição é restrita a algumas famílias, gêneros ou mesmo espécies. O conjunto de compostos secundários nas plantas é resultado do balanço entre a formação e eliminação desses compostos durante o crescimento da planta, sendo que esse equilíbrio é influenciado por fatores genéticos (que são fixos) e ambientais como luz, temperatura, tipo de solo, água, além de outros que são variáveis (CARDOSO et al., 2001).

2.4 Efeitos abióticos na produção de bioativos em plantas

As características edafoclimáticas podem interferir no desenvolvimento das espécies nativas ou introduzidas, mesmo que as condições sejam semelhantes às do local de origem. Portanto, é necessário conhecer o comportamento da espécie em relação aos efeitos dos

fatores abióticos e bióticos que são responsáveis pelo desenvolvimento da planta. A falta de domínio tecnológico pode levar à baixa qualidade da biomassa e redução nos teores dos principais constituintes químicos do óleo essencial, assim como no rendimento (MARCHESE e FIGUEIRA, 2005).

Os monoterpenóides e sesquiterpenóides produzidos por diversos grupos vegetais são metabólitos frequentemente sujeitos a fatores internos (genéticos) e externos como luminosidade, temperatura, tipo de solo, disponibilidade de água e outros (CARDOSO et al., 2001). A baixa intensidade luminosa, geralmente, diminui a produção de monoterpenos. Enquanto pequenas variações diárias de temperaturas estimulam a produção de terpenóides, ao passo que valores extremos causam sua redução (LIMA et al., 2003).

A maior produção de metabólitos secundários sob altos níveis de radiação solar são explicadas devido ao fato de que as reações biossintéticas são dependentes de suprimentos de esqueletos carbônicos, realizados por processos fotossintéticos e de compostos energéticos que participam da regulação dessas reações (TAIZ e ZEIGER, 2004). Os resultados de Maffei et al. (1993) indicaram que a temperatura e umidade aumentaram os hidrocarbonetos e reduziram os ácidos graxos foliares e óleos essenciais em dois quimiotipos de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.).

O favorecimento da produção de hidrocarbonetos sesquiterpênicos não-oxigenados pelas quedas nas temperaturas e aumento na umidade, e de hidrocarbonetos monoterpênicos pelo aumento nas incidências luminosas e temperaturas também foram observados em *Eugenia* sp., *Eugenia uniflora*, *Psidium cattleianum* e *Syzigium cumini* por Graça et al. (2013). Com *S. terebinthifolius* foram realizados estudos por Ibrahim et al. (2004), Singh et al. (1998), Jamal e Augusta (2001). Esses estudos comprovam pequenas variações na composição do óleo dessa espécie em diferentes locais, onde a maioria das amostras de óleo analisadas revelam α -pineno como componente majoritário, especialmente nas amostras originárias da Índia.

Segundo Guenther (1997), outros fatores podem influenciar a emissão de terpenos como idade da folha, eventos fenológicos, acúmulo de nitrogênio foliar, herbivoria, injúria física e outras formas de estresse. Akrouit et al. (2003) avaliou a variação sazonal do óleo essencial de partes aéreas de tomilho (*Artemisia campestris* L.) em três períodos do ano (abril, agosto e novembro). Os autores encontraram o rendimento de óleo maior em agosto (1,2%) e o menor em novembro (0,65%). O estudo de Gouinguéné e Turlings (2002) mostrou que no escuro não ocorreu emissão de substâncias voláteis induzidas no milho (*Zea mays* L.), enquanto na presença de luz, houve um aumento acentuado. Adicionalmente, temperaturas

entre 22 °C e 27 °C provocaram maior liberação dos componentes voláteis que em temperaturas inferiores ou mais elevadas.

Andrade e Gomes (2000) estudaram a influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de eucalipto-cheiroso (*Eucalyptus citriodora* Hook) e registraram que folhas maduras, de indivíduos com 7 anos de idade, coletadas no outono (período de estiagem) proporcionaram maiores rendimentos em óleo essencial, comparadas às aquelas coletadas no verão (período chuvoso).

Os componentes do óleo essencial de funcho (*Foeniculum vulgare* var. *vulgare* Mill.) variaram quantitativamente e qualitativamente de acordo com a fenologia e época do ano em que se coletou a planta. O composto majoritário *transanetol*, aumentou no final da primavera em relação ao teor no óleo das folhas no final do inverno (SOUSA et al., 2005).

O índice pluviométrico ideais para o desenvolvimento da planta e maior produção de metabólitos secundários não segue um padrão, variando entre as espécies. Silva et al. (2004) observaram variações no óleo essencial de erva-cidreira (*Lippia alba* (Mill.) N.E. Br.) em Ilhéus-BA nas diferentes estações do ano. No inverno, a planta rica em neral e geranial, não apresentou α -mirceno, enquanto no verão foi constatada uma menor quantidade de geraniol. |

3. ARTIGO¹

Pretensão de Submissão para: *Revista Árvore*

Relação entre parâmetros ecofisiológicos e a produção de óleo essencial em espécies arbóreas

Relationship between ecophysiological parameters and essential oil production in tree species

[Clarissa Rocha Dias de Carvalho^{1,2}, Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior^{1,3*}]

¹Laboratório de Ecofisiologia e Pós-Colheita, Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE 49100-000, Brasil. E-mail: lfg.ufs@gmail.com. Tel: +557921056935

²Mestranda em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe.

³Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe)

RESUMO

Com os atuais incentivos às práticas agroflorestais cresce o interesse em espécies de uso múltiplo, pois, além de suas aptidões básicas, possibilitam a extração de madeira e de inúmeros subprodutos não madeireiros como óleos essenciais. O jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e a aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) são árvores de grande potencial olerífero, sendo utilizadas para fins medicinais e cosméticos. O objetivo do presente trabalho foi relacionar a avaliação ecofisiológica destas espécies com a produção de óleos essenciais. Para tal, foram avaliados os teores de clorofila *a*, *b* e total, fluorescência da clorofila *a* e o rendimento de óleo. Para os parâmetros ecofisiológicos, as plantas de jamelão apresentaram os maiores valores. Quanto ao óleo essencial produzido pelas duas espécies, a aroeira apresentou o melhor rendimento para folhas secas e frescas (0,42 e 0,27%) em comparação com o jamelão (0,27 e 0,18%). Não há relação direta entre a eficiência do aparato fotossintético e a produção de óleo essencial para as duas espécies.

Palavras-chave: óleo essencial, fluorescência da clorofila *a*, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*

ABSTRACT

With current incentives for agroforestry practices, the interest on multiple use species is growing, as in addition to their basic abilities, it is possible to extract timber and many non-timber byproducts such as essential oils. The jamun fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) and rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) are potential olerifer trees being used for medicinal and cosmetic purposes. Were aimed at evaluating the ecophysiological of these species in order to relate it to the production of essential oils. Therefore, we assessed the levels of chlorophyll *a*, *b* and total, chlorophyll fluorescence *a* and essential oil yield. To ecophysiological parameters, jamun fruit showed higher values, in comparson to rose pepper. As for the essential oil produced by the two species, rose pepper showed the best performance for dried and fresh leaves (0.42 and 0.27%) comparing with jamun fruit (0.27 and 0.18%). There was no direct relationship between the efficiency of the photosynthetic apparatus and essential oil production for both species.

Keywords: essential oil, chlorophyll fluorescence *a*, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*

Introdução

O cultivo de espécies de uso múltiplo torna-se cada vez mais interessante principalmente pelos incentivos à adoção de práticas agroflorestais, pois além de desenvolverem suas funções básicas como conforto térmico e produção de frutos comestíveis, possibilitam a extração de madeira e de múltiplos subprodutos não madeireiros como óleos essenciais, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal (ROSOT, 2007).

Assim, a aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi - *Anacardiaceae*) é uma árvore pioneira com 5-10 m de altura, perenifólia e de copa larga. As folhas são compostas, imparipinadas e aromáticas (Lorenzi e Matos, 2008). Possui óleo essencial com propriedades antifúngica, cicatrizante, inseticida, dentre outras, em suas folhas e frutos (Kweka et al., 2011; Lucena et al., 2006; Santos et al., 2010; Silva et al., 2010). Enquanto que o jambolão ou jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels), pertencente à família *Myrtaceae*, é uma árvore de classificação secundária que atinge cerca de 10 m de altura e com folhagem abundante (Migliato et al., 2006). As partes vegetativas dessa árvore apresentam óleos essenciais com propriedades funcionais antioxidante, antiviral e anticarcinogênica (Ong e Khoo, 2000), anti-inflamatória (Braga et al., 2007; Lima et al., 2007), antibacteriana (Oliveira et al., 2007), antialérgica (Brito et al., 2007), anti-inflamatória e hipoglicemiante (Reynertson et al., 2008).

Em geral, para regiões tropicais, as estações mais quentes e de maior irradiação coincidem com a fase de maior produção de biomassa das plantas. De mesmo modo, a maior produção de óleos essenciais está associada à maior radiação e maior taxa fotossintética das plantas (Marchese e Figueira, 2005). A biossíntese completa de terpenos em plastos, como os cloroplastos, é formada através da via do metil-eritritol-fosfato ou 3-PGA/Piruvato (Chappell, 2002), o que associa diretamente a produção de óleos essenciais com a fotossíntese. Por outro lado, altas irradiâncias em plantas de sombra normalmente causam sintomas de clorose e necrose com a fotodegradação dos cromopigmentos, levando a redução da fotossíntese e da biomassa (Marchese e Figueira, 2005).

A produção de óleo essencial tem merecido destaque na pesquisa científica quando associado a parâmetros fisiológicos. Misra e Srivastava (1991) verificaram que capim-limão (*Cymbopogon flexuosus* Stapf.) tratado com estimulador de crescimento apresentou maiores taxas fotossintética e transpiratória, o que foi positivamente correlacionado com a produção de óleos essenciais. Por sua vez, Pegoraro et al. (2010) verificaram que a alta intensidade de luz altera a densidade estomática em hortelã-pimenta (*Mentha piperita* L.) e que tanto a intensidade de luz como a adubação influenciam na qualidade do óleo essencial. Desta forma, os teores de clorofila e de fluorescência da clorofila *a* podem ser utilizadas como ferramentas

para diagnosticar a integridade do aparato fotossintético frente às adversidades ambientais, tendo em vista que se tratam de técnicas rápidas, precisas e não destrutivas (Torres Netto et al., 2005), de modo a contribuir significativamente com pesquisas agronômicas, biológicas, ecotoxicológicas e ecofisiológicas (Liu e Shi, 2010; Naidoo et al., 2010; Redillas et al., 2011; Yusuf et al., 2010).

A utilização de indicadores fisiológicos e/ou bioquímicos tornou-se uma ferramenta imprescindível na tradução de respostas das plantas às condições do meio físico onde crescem. Pode-se considerar esse tipo de investigação importante para descrever um sistema (planta ou ecossistema) em termos de vitalidade, produtividade, sensibilidade e resistência ao stress, para estudar a relação estrutura-função em plantas, para investigar as ecodinâmicas de sistemas complexos, como árvores, florestas e ecossistemas inteiros (Strasser, 2004). Desta forma, esse trabalho teve como objetivo relacionar parâmetros ecofisiológicos com a produção de óleos essenciais em *S. cumini* e *S. terebinthifolius*.

Metodologia

Três exemplares tanto de *S. cumini* como de *S. terebinthifolius* localizadas no campus da Universidade Federal de Sergipe, no município de São Cristóvão-SE foram selecionadas. As árvores se encontravam em estágio reprodutivo e as avaliações foram realizadas na estação seca do ano. O total de dez folhas/folículos do terço médio da copa, totalmente expandidos e expostos ao sol, foram utilizados para a medição dos sinais de fluorescência da clorofila *a*.

O nível de fluorescência mínima (F_0) com todos os centros de reação PSII abertos foi determinado por meio da medição por uma luz modulada, enquanto o nível máximo de fluorescência (F_m) com todos os centros de reação fechados PSII foi determinado por aplicação de um pulso de saturação nas folhas/folículos aclimatados em escuro por 30 minutos. A aclimação das folhas/folículos foi feita por um clipe, do qual era possível uma abertura de 2 cm de diâmetro. Posteriormente, a folha foi continuamente iluminada por essa abertura com uma luz branca actínica. O valor da fluorescência em estado estacionário (F_s) foi alcançado e um segundo pulso de saturação foi aplicado para determinar o nível máximo de fluorescência no estado de luz adaptada (F_m'). A luz actínica foi então removida e o nível mínimo de fluorescência no estado de luz adaptada (F_0') foi determinado pela iluminação da folha/folículo com luz vermelha distante. A fluorescência da clorofila *a* foi mensurada utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LI-6400XT (LI-COR Inc., Nebraska, EUA), equipado com a câmara modelo LI-6400-40 (Leaf chamber fluorometer, LICOR Inc.).

Às nove horas da manhã, os sinais de fluorescência foram registrados no sistema de aquisição de dados do equipamento, que calculou automaticamente a fluorescência em estado

estável (F_s), fluorescência mínima (F_o), excitada por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ($0,03 \mu\text{mol ftons m}^{-2} \text{s}^{-1}$); máxima (F_m), obtida pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz actínica saturante ($> 800 \mu\text{mol ftons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a máxima eficiência fotoquímica de PSII em estado de adaptação ao escuro, F_v/F_m (Genty et al., 1989); coeficiente fotoquímico, $qP=(F_m'-F_s)/(F_m'-F_o')$ e não-fotoquímico, $qN=1-(F_m'-F_o')/(F_m-F_o)$; rendimento quântico real de PSII adaptado à luz (Bilger et al., 1995; Krall e Edwards, 1992).

As áreas das folhas/folíolos foram medidas com o auxílio de um medidor de área foliar LI-3000 (LI-COR) e valores de clorofila *a*, *b* e total foram calculadas com o aparelho Clorofilog (Falker Automação Agrícola Ltda., Brasil), que funciona medindo a transmissão de luz pelas clorofilas numa área padrão, de valor conhecido.

O rendimento dos óleos essenciais foi obtido pelo sistema de extração por hidrodestilação tipo Clevenger. Para tal, realizou-se uma amostragem composta, sendo que 100g de folhas de cada espécie (frescas e secas a 40°C em estufa de circulação de ar forçada até massa constante) foram destiladas por tempo determinado em ensaio prévio. Para aroeira, 2h30 para folhas secas e 3h30 para folhas frescas; e para jamelão, 1h30 para folhas secas e 3h30 para folhas frescas.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado. Para os parâmetros ecofisiológicos foram analisados dois tratamentos e três repetições, sendo cada repetição composta de dez folhas. Para o rendimento de óleo utilizou-se quatro tratamentos e três repetições. As médias dos parâmetros avaliados foram submetidas à análise da variância e comparadas pelo teste de Tukey ($p<0.05$) utilizando o programa SISVAR® (Ferreira, 2011).

Resultados

A espécie vegetal afetou os teores de clorofila *a*, *b* e total. A aroeira apresentou valores inferiores (33,0; 20,1 e 53,80) em comparação com o jamelão (33,7; 23,9 e 56,9) para Chl *a*, Chl *b* e total (Tabela 1). A relação entre clorofila *a* e *b*, no entanto, foi maior para a aroeira em relação ao jamelão, sendo ambos considerados baixos. A média da área foliar do jamelão foi maior que a média obtida pela aroeira, 78,1 e 13,0 cm², respectivamente.

A maioria dos parâmetros avaliados com o auxílio do fluorímetro também foram influenciados pela espécie vegetal, com exceção de qP e qN . A aroeira, espécie pioneira, apresentou as menores médias, menos para a fluorescência inicial (F_o). A eficiência fotoquímica máxima do PSII foi de 0,81 para o jamelão, enquanto para a aroeira foi de 0,77. Os valores obtidos pela aroeira para os parâmetros de fluorescência F_m e F_v (2703,21 e 2076,01) foram menores que os do jamelão (3149,37 e 2566,26), da mesma forma que o nível de fluorescência em estado estacionário (F_s) do jamelão foi mais alto que da aroeira.

O óleo essencial produzido apresentou diferença tanto entre as duas espécies quanto à forma de preparo do material vegetal. A aroeira apresentou o melhor rendimento de óleo (0,42 e 0,27%) em comparação com o jamelão (0,27 e 0,18%) independente do tipo de preparo da folha (seca ou fresca) (Tabela 3). O rendimento de óleo em folhas secas foi maior que em folhas frescas, porém a quantidade de material fresco despendida para a obtenção de 100g de folhas secas é quatro vezes maior, o que torna o secamento das folhas inviável.

TABELA 1: Valores médios dos teores de clorofila *a* (Chl *a*), clorofila *b* (Chl *b*), teores de clorofila total (Chl *t*) e área foliar de duas espécies arbóreas.

Espécies	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	Chl <i>t</i>	Chl <i>a</i> /Chl <i>b</i>	Área foliar (cm ²)
Aroeira	33,0 b	20,1 b	53,8 b	1,7 a	13,0 b
Jamelão	33,7 a	23,9 a	56,9 a	1,4 b	78,1 a
CV (%)	2,7	8,9	4,8	8,7	21,4

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 2: Valores médios de eficiência fotoquímica máxima do FSII (Fv/Fm), fluorescência inicial (Fo), fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima (Fm), fluorescência estacionária (Fs), quenching fotoquímico (qP) e quenching não-fotoquímico (qN) de duas espécies arbóreas.

Espécies	Fv/Fm	Fo	Fm	Fv	Fs	qP	qN
Aroeira	0,77 b	671,38 a	2703,21 b	2076,01 b	2064,82 b	0,49 a	0,25 a
Jamelão	0,81 a	583,11 b	3149,37 a	2566,26 a	2535,78 a	0,60 a	0,31 a
CV (%)	1,79	7,72	6,68	6,28	12,90	38,08	40,72

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 3: Valores médios dos rendimentos de óleos essenciais de folhas secas e frescas de duas espécies arbóreas.

Espécies	Óleo Essencial (%)	
	Folhas secas	Folhas frescas
Aroeira	0,42 Aa	0,27 Ba
Jamelão	0,27 Ab	0,18 Bb
CV(%)	13,47	12,83

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Discussão

A análise dos teores de clorofila *a*, *b* e total permite uma melhor caracterização da espécie estudada, bem como auxilia a teorizar a respeito da dissipação total de energia emitida por determinada espécie. Todos os teores de clorofila foram menores para a aroeira, provavelmente pela decomposição mais rápida das moléculas de clorofila decorrente da alta

intensidade luminosa incidente, já que a formação da copa da árvore de aroeira permite uma maior penetração da luz solar. Segundo Kramer e Kozlowski (1979), a clorofila é constantemente sintetizada e destruída (foto-oxidação) em presença de luz, mas, sob intensidades luminosas muito altas, a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa. O teor de clorofila *b* correspondeu a pouco mais de 70% da clorofila *a* para o jamelão, a proporção relativa de clorofila *b* tende a aumentar com a redução da intensidade luminosa (Engel e Poggiani, 1991). Assim, pode-se indicar que a folhagem densa apresentada pelo jamelão causou um autosombreamento entre as folhas, diminuindo a absorção de luz, já que a clorofila *b* permite uma maior eficiência na absorção de luz menos intensa (Whatley e Whatley, 1982).

Os valores obtidos da relação entre clorofila *a* e *b* pelas duas espécies são considerados baixos quando comparados a espécies arbóreas de outras famílias, como castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*), andiroba (*Carapa guianensis*), cumaru (*Dipteryx odorata*), que apresentam a relação clorofila *a* e *b* próximas a $\pm 3,0$ (Moraes et al., 2007). Valores similares aos obtidos neste estudo foram encontrados por Freiburger et al. (2010) em angico branco (*Anadenanthera colubrina*) e ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae*) ao final do verão. A diferença de área foliar entre as plantas foi relacionada às características botânicas das folhas compostas, imparipenadas, constituídas de nove a onze folíolos do gênero *Schinus* (Duarte et al., 2006), conseqüentemente menores que as folhas encontradas no gênero *Syzygium*. Podendo-se verificar uma estreita relação entre os maiores teores de clorofilas com a maior área foliar.

A fluorescência da clorofila *a* é um excelente parâmetro para detectar diferenças entre diferentes espécies (Guli'as et al., 2009; Ogaya e Peñuelas, 2003; Ribeiro et al., 2004; Souza et al., 2004). A aroeira, espécie pioneira, apresentou nestas condições menor eficiência fotossintética. A fluorescência inicial (F_o) foi significativamente menor para o jamelão (Tabela 2), ou seja, uma maior capacidade da árvore em transferir a energia das moléculas dos pigmentos para a formação do NADPH redutor, ATP e ferredoxina reduzida (F_{dr}), com conseqüente maior capacidade de assimilação do CO_2 na fase bioquímica da fotossíntese (Baker, 2008). Os valores de F_o encontrados neste trabalho estão ligeiramente altos quando comparados com plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla*) ($F_o=566$) (Gonçalves et al., 2007) e de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*) ($F_o=398$) (Lemos Filho et al., 2004). A fluorescência inicial (F_o) reflete a eficiência com a qual a energia proveniente da absorção de fótons pode alcançar o centro de reação do PSII (Vidaver et al., 1991), o seu valor pode aumentar caso os centros de reação do PSII estejam comprometidos, ou se a transferência da

energia de excitação da antena para os centros de reação esteja prejudicada (Bolhàr-Nordenkamp et al., 1989).

A relação Fv/Fm do jamelão se aproximou do valor consistente para planta em ótimo estado (Tabela 2), que é de $0,83 \pm 0,2$ (Baker, 2008). Gonçalves e Santos Júnior (2005), encontraram valores médios de $0,72 \pm 0,06$ para *Eugenia cumini*, sinônimo científica para o *S. cumini*, em uma área degradada no estado do Amazonas. Esse é considerado baixo, influenciado pela adversidades a que estão sujeitas as condições ambientais mais desfavorecidas (Torres Netto et al., 2005). Apesar de diferirem significativamente, os valores encontrados para a relação Fv/Fm para ambas espécies encontram-se nos padrões de normalidade, variando entre 0.75 e 0.85 (Bolhàr-Nordenkamp et al., 1989), indicando um bom funcionamento do aparato fotossintético. Esse resultado demonstrou que as espécies arbóreas estudadas não apresentaram sinais de fotoinibição, como os encontrados por Falqueto et al. (2008) em duas espécies de manguezal e Ribeiro et al. (2005) em jequitibá-rosa (*Cariniana legalis*), onde a fotoinibição foi resultante da excessiva densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), principal causa da redução Fv/Fm em condições naturais (Long et al., 1994).

Da mesma forma que os parâmetros Fv/Fm e Fm, a fluorescência variável, que representa a diferença entre fluorescência inicial e máxima (Fm), foi maior para o jamelão. A razão entre fluorescência máxima (Fm) (toda QA reduzida) e fluorescência mínima (Fo) (toda QA oxidada) deve ser de aproximadamente 5 a 6 em tecidos fotossintetizantes saudáveis e adaptados (Schreiber et al., 1998). Entretanto, apesar de ter apresentado uma relação Fv/Fm dentro do nível ótimo (0,77), essa razão foi de aproximadamente 4 para a aroeira, abaixo do preconizado por Schreiber et al. (1998), o que sugere que as plantas de aroeira não se encontravam com o aparato fotossintético plenamente saudável, demonstrando a necessidade de se considerar Fo e Fm para uma avaliação mais profunda das espécies.

Os resultados encontrados nesse trabalho se aproximam dos padrões ideais (Tabela 2), ($qP = 1$ e $qN = 0$), indicando uma reduzida perda de energia por dissipação de calor nas plantas. As espécies apresentaram tendências semelhantes, sendo possível inferir que o *S. cumini* foi mais eficiente que *S. terebinthifolius* na conservação de energia. Os valores encontrados corroboram com os relatados por Liu et al. (2007) em schima (*Schima superba* Gardn. e Champ.) e (*Pinus massoniana* Lamb.) e por Souza et al. (2010) em leguminosas arbóreas do bioma caatinga, no qual os valores para qP foram de 0,6 a 0,8 e qN, 0,2 a 0,4. Assim, o quenching fotoquímico $qP = (Fm' - Fs/Fm' - Fo)$ estima a quantidade de energia extinta em processos primários das reações fotoquímicas (Krause e Weis, 1991). E o

quenching não-fotoquímico $qN = (F_m - F_m')/F_m'$ reflete a dissipação de calor no centro de reação PSII (Bilger e Bjorkman, 1990).

Quanto ao óleo essencial produzido pelas duas espécies, a aroeira apresentou o melhor rendimento para folhas secas e frescas (Tabela 3). Os teores de óleo em folhas frescas de aroeira (0,27%) e de jamelão (0,18%) contrastaram com resultados de Barbosa et al. (2007) e Craveiro et al. (1982), com rendimento de 0,44% de óleo essencial extraído de folhas frescas de aroeira e 0,11% de óleo essencial de folhas frescas de jamelão, respectivamente. Provavelmente, essas diferenças foram devidas a fatores abióticos a que estão sujeitas as plantas em locais distintos, além da sazonalidade e do estágio de desenvolvimento (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

Os resultados indicam não haver relação direta entre a maior eficiência fotossintética com a maior produção de óleo essencial, ou seja, as plantas de jamelão que apresentaram maior relação F_v/F_m não apresentaram uma maior produção de óleo essencial. Não existindo, assim, uma relação direta entre metabolismo primário e secundário. Discordando de Marchese e Figueira (2005) que relataram que rendimento de óleo essencial e fotossíntese podem ser correlacionados, pois geralmente, a maior produção de óleo está associada à maior radiação e maior taxa fotossintética das plantas.

Conclusão

A eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II de ambas espécies se enquadram nos padrões de bom funcionamento e normalidade.

Os níveis de fluorescência da clorofila *a* do jamelão comprova um melhor aproveitamento do aparato fotossintético dessa espécie.

A aroeira possui maior rendimento de óleo essencial, independente do tipo de preparo do material, o que comprova uma maior atuação do metabolismo secundário.

O secamento do material vegetal para a obtenção de óleo essencial de aroeira e jamelão não é viável.

As duas espécies não apresentam relação direta entre o metabolismo primário (eficiência do aparato fotossintético) com o metabolismo secundário (produção de óleo essencial).

Referências

BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo*. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89–113, 2008.

BARBOSA, L. C. A. B.; DEMUNER, A. J.; CLEMENTE, A. D.; PAULA, V. F.; ISMAIL, F. M. D. Seasonal variation in the composition of volatile oils from *Schinus terebinthifolius*. **Quimica Nova**, v. 30, p. 1959-1965, 2007.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v. 25, p.173, 1990.

BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, v. 102, p. 425-432, 1995.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.

BRAGA, F. G.; BOUZADA, M. L. M.; FABRI, R. L.; MATOS, M. O.; MOREIRA, F. O.; SCIO, E.; COIMBRA, E. S. Antileishmanial and antifungal activity of plants used in traditional medicine in Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, p. 396-402, 2007.

BRITO, F. A.; LIMA, L. A.; RAMOS, M. F. S.; NAKAMURA, M. J.; MACHADO, S. C. C.; SIANI, A. C.; HENRIQUES, M. G. M. O.; SAMPAIO, A. L. F. Pharmacological study of anti-allergic activity of *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 40, p. 105-115, 2007.

CHAPPELL, J. The genetic and molecular genetics of terpene and sterol origami. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, p. 151-157, 2002.

CRAVEIRO, A. A.; ANDRADE, C. H. S.; MATOS, F. J. A.; ALENCAR, J. W.; MACHADO, M. I. L. Essential oil of *Eugenia jambolana*. **Journal of Natural Products**, v. 46, p. 591-59, 1982.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Study of the concentration of chlorophyll in leaves and its absorption spectrum of light due to shading on seedlings of four native species. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 3, p. 39-45, 1991.

FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M.; FONTES, R. V. Photosynthetic performance of mangroves *Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa* under field conditions. **Tree Magazine** 32: 577-582, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Science and Agrotechnology**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; MARINI, D.; LANG, A.; HERZOG, N. F. M.; MALAVASI, U. C. Seasonal variation of chlorophyll in leaves of *Tabebuia avellanedae* and *Anadenanthera colubrina*. **Semina: Agricultural Sciences**, v. 31, p. 1343-1348, 2010.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica Biophysica Acta**, v. 990, p. 87-92, 1989.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Medicinal plants: factors of influence in the content of secondary metabolites. **Quimica Nova**, v. 30, p. 374-381, 2007.

GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JUNIOR, U. M. 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, 2005.

GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JUNIOR, U. M.; NINA JUNIOR, A. R.; CHEVREUIL, L. R. Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings grown under two irradiance environments. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, p. 171-184, 2007.

GULI'AS, J.; CIFRE, J.; JONASSON, S.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Seasonal and inter-annual variations of gas exchange in thirteen woody species along a climatic gradient in the Mediterranean island of Mallorca. **Flora**, v. 204, p. 169-181, 2009.

KRALL, J. P.; EDWARDS, G. E. Relationship between photosystem II activity and CO₂ fixation in leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 86, p. 180-187, 1992.

KRAMER, T.; KOZLOWSKI, T. **Physiology of woody plants**. New York, Academic Press, 1979. 811p.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.

KWEKA, E. J.; NYINDO, M.; MOSHA F.; SILVA, A. G. Insecticidal activity of the essential oil from fruits and seeds of *Schinus terebinthifolia* Raddi against African malaria vectors. **Parasites and Vectors**, v. 4, p.129, 2011.

LEMOES FILHO, J. P.; GOULART, M. F.; LOVATO, M. B. Chlorophyll fluorescence parameters in populations of two legume trees: *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville (*Mimosoideae*) and *Cassia ferruginea* (Schrad.) Schrad. ex DC. (*Caesalpinoideae*). **Brazilian Journal of Botany**, v. 27, p. 527-532, 2004.

LIMA, L. A.; SIANI, A. C.; BRITO, F. A.; SAMPAIO, A. L. F.; OLIVEIRA, M. G. M.; RIEHL, H. C. A. S. Correlation of antiinflammatory activity with phenolic content in the leaves of *Syzygium cumini* (L.) Skeels (*Myrtaceae*). **Quimica Nova**, São Paulo 30: 860-864, 2007.

LIU, J.; SHI, D. C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt - alkaline mixed stress.

Photosynthetica, v. 48, p. 127-134, 2010.

LIU, J.; ZHOU, G.; YANG, C.; OU, Z.; PENG, C. Responses of chlorophyll fluorescence and xanthophyll cycle in leaves of *Schima superba* Gardn. e Champ. and *Pinus massoniana* Lamb. to simulated acid rain at Dinghushan Biosphere Reserve, China. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 29, p. 33-38, 2007.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 45, p. 633-662, 1994.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Medicinal plants in Brazil: native and exotic**. New Odessa, Plantarum Institut, 2008. 357p.

LUCENA, P. L. H.; RIBAS FILHO, J. M.; MAZZA, M.; CZECHKO, N. G.; DIETZ, U. A.; CORREA NETO, M. A.; HENRIQUES, G. S.; SANTOS, O. J.; CESCHIN, A. P.; THIELE, E. S. Evaluation of the action of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in the healing of surgical wounds in the bladder of rats. **Brazilian Acta Surgical**, p. 21, 2006.

MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. Use of technology pre and post-harvest and good agricultural practices in the production of medicinal and aromatic plants. **Brazilian Journal of Medicinal Plants**, v. 7, p. 86-96, 2005.

MIGLIATO, K. F.; BABY, A. R.; ZAGUE, V.; VELASCO, M. V. R.; CORRÊA, M. A.; SACRAMENTO, L. V. S.; SALGADO, H. R. N. Pharmacological actions of *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 25, p. 310-314, 2006.

MISRA, A.; SRIVASTAVA, N. K. Effect of the triacontanol formulation "Miraculan" on photosynthesis, growth, nutrient uptake, and essential oil yield of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) Steud. Watts {Steud). Watts.} **Plant Growth Regulation**, v. 10, p. 57-63, 1991.

MORAIS, R. R.; GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JÚNIOR, U. M.; DÜNISCH, O.; SANTOS, A. L. W. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll *a* Fluorescence in amazonian tropical three species. **Tree Magazine**, v. 31, p. 959-966, 2007.

NAIDOO, G. N.; NAIDOO, Y.; ACHAR, P. Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorrhiza* to oil contamination. **Flora**, v. 205, p. 357-362, 2010.

OGAYA, R.; PEÑUELAS, J. Comparative seasonal gas exchange and chlorophyll fluorescence of two dominant woody species in a Holy Oak forest. **Flora**, v. 198, p. 132-141, 2003.

OLIVEIRA, G. F.; FURTADO, N. A. J. C.; FILHO, A. A. S.; MARTINS, C. H. G.; BASTOS, J. K.; CUNHA, W. R.; SILVA, M. L. A. Antimicrobial activity of *Syzigium cumini* (Myrtaceae) leaves extract. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 381-384, 2007.

ONG, K. C.; KHOO, H. E. Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats. **Life Sciences**, v. 67, p. 1695-1705, 2000.

PEGORARO, R. L.; FALKENBERG, M. B.; VOLTOLINI, C. H.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Production of essential oils in plants *Mentha piperita* L. var. *piperita* (Lamiaceae) under different light levels and nutrition of the substrate. **Brazilian Journal of Botany**, v. 33, p. 631-637, 2010.

REDILLAS, M. C. F. R.; STRASSER, R. J.; JEONG, J. S.; KIM, Y. S.; KIM, J. K. The use of JIP test to evaluate drought - tolerance of transgenic rice overexpressing OsNAC10. **Plant Biotechnology**, p. 1-7, 2011.

REYNERTSON, K. A.; YANG, H.; JIANG, B.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible *Myrtaceae* fruits. **Food Chemistry**, v. 109, p. 883-890, 2008.

RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, H. L.; OLIVEIRA, R. F. Gas exchange of two species from different successional status under greenhouse condition. **Science Forestalis**, v. 65, p. 30-39, 2004.

RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Brazilian Journal of Botany**, v. 28, p. 149-161, 2005.

ROSOT, M. A. D. Multiple-use forest management: an alternative against extinction with Araucaria Forest? **Brazilian Forestry Research**, v. 55, p. 75-85, 2007.

SANTOS, A. C. A.; ROSSATO, M.; SERAFINI, L. A.; BUENO, M.; CRIPPA, L. B.; SARTORI, V. C.; DELLACASSA, E.; MOYNA, P. Fungicidal effect of the essential oils of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Anacardiaceae*, of Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, p. 154-159, 2010.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. **Chlorophyll fluorescence as a diagnostic tool: The basics**. In: RAGHAVENDRA, A. S. (ed.). Photosynthesis: a comprehensive treatise. Cambridge University Press, Cambridge, 1998. 320p.

SILVA, A. B.; SILVA, T.; FRANCO, E. S.; RABELO, S. A.; LIMA, E. R.; MOTA, R. A.; CÂMARA, C. A. G.; PONTES-FILHO, N. T.; LIMA-FILHO, J. V. Antibacterial activity, chemical composition, and cytotoxicity of leaf's essential oil from brazilian pepper tree

- (*Schinus terebinthifolius*, Raddi). **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, p.158-163, 2010.
- SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; RIBEIRO, H. L.; OLIVEIRA, R. F. Functional groups of forest succession as dissipative structures: an applied study. **Brazilian Journal Biology**, v. 64, p. 707–718, 2004.
- SOUZA, B. D.; MEIADO, M. V.; RODRIGUES, B. M.; SANTOS, M. G. Water relations and chlorophyll fluorescence responses of two leguminous trees from the Caatinga to different watering regimes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, p. 235-244, 2010.
- STRASSER, R. J., TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. **Analysis of the Chlorophyll *a* Fluorescence Transient**. In: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (eds). Chlorophyll *a* Fluorescence: A Signature of Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration, v. 19, Springer, Dordrecht, p. 65-82, 2004.
- TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 199-209, 2005.
- VIDAVER, W. E.; LISTER, G. R.; BROOKE, R. C.; BINDER, W. D. **A Manual for the use of variable chlorophyll fluorescence in the assessment of the ecophysiology of conifer seedlings**. FRDA Report 163 Canada-British Columbia Partnership Agreement on Forest Resource Development: FRDA II, Forestry Canada, and B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C, 1991. 60p.
- WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **The light and plant life**. São Paulo, EPU-EDUSP, 1982. 101p.
- YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N. B. Overexpression of tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll *a* fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

4. ARTIGO 2

Pretensão de Submissão para: *Revista Árvore*

Trocas gasosas e produção de óleo essencial de espécies arbóreas em duas épocas do ano

Gas exchange and essential oil production by tree species in two seasons

Clarissa Rocha Dias de Carvalho^{1,2}, Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior^{1,3*}

¹Laboratório de Ecofisiologia e Pós-Colheita, Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE 49100-000, Brasil. E-mail: lfg.ufs@gmail.com. Tel: +557921056935

²Mestrando em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe.

³Professor Doutor do Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe.

RESUMO

O jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) e a aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) são árvores de grande potencial olerífero, sendo utilizadas para fins medicinais e cosméticos. Compreender a interação das plantas e as variações locais dos recursos disponíveis é fundamental para o entendimento do equilíbrio e dinâmica das comunidades florestais. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi estudar a relação entre as trocas gasosas e a produção de óleo essencial de jamelão e aroeira em duas épocas do ano. A taxa assimilatória de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E), déficit de pressão de vapor ($DPV_{\text{folha-ar}}$), temperaturas do ar (T_{ar}) e da folha (T_{folha}), carbono interno (Ci) e rendimento de óleo essencial de folhas frescas foram avaliados nos períodos seco e chuvoso. Os resultados encontrados apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis, sendo que todas apresentaram influência do horário das medições nas respostas das espécies estudadas, nas duas épocas. No período de chuvas, houve uma tendência diferenciada das espécies avaliadas em relação ao período seco. De modo geral, as maiores taxas de A, Gs e E foram observadas nas primeiras horas da manhã em ambas espécies nos períodos analisados. Para a aroeira, os maiores valores foram observados na estação chuvosa, enquanto que o jamelão apresentou uma redução nessa estação. A produção de óleo essencial na aroeira não apresentou variações devido a sazonalidade nem relação direta com os parâmetros ecofisiológicos. Há uma relação direta entre os fatores ecofisiológicos e a fase fenológica e inversa para a produção de metabólitos secundários no jamelão.

Palavras-chave: óleo essencial, fotossíntese, condutância estomática, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*

ABSTRACT

Jamun fruit (*Syzygium cumini* (L.) Skeels) and rose pepper (*Schinus terebinthifolius* Raddi) are potential oleriferous trees used for medicinal and cosmetic purposes. The interaction of plants and local variations of available resources is fundamental to understanding the balance and dynamics of forest communities. Thus, we aimed to relate gas exchange with essential oil yield of *S. cumini* and *S. terebinthifolius* in two seasons. The net photosynthesis assimilate rate (A), stomatal conductance (Gs), transpiration (E), vapor pressure deficit ($DPV_{\text{leaf-air}}$), air temperatures (T_{ar}) and leaf (T_{leaf}), internal carbon (Ci) and essential oil yield of fresh leaves in dry and rainy season were evaluated. The results show differences in all variables influence of time of evaluation in the studied species, in both seasons. In the rainy season, a different tendency in the species was found. Overall, higher A, E and Gs rates were observed

in the early morning hours in both species. For rose pepper the highest values were observed in the rainy season, while jamun fruit had lower values in this season. The essential oil yield in rose pepper showed no seasonal variations and was not directly related to the parameters. There was a direct relationship between ecophysiological factors and the phenological stage of jamun fruit and reverse for the production of secondary metabolites.

Keywords: essential oil, photosynthesis, stomatal conductance, *Schinus terebinthifolius*, *Syzygium cumini*

Introdução

A aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi - *Anacardiaceae*) é uma árvore pioneira com 5-10 m de altura, perenifolia e de copa larga. As folhas são compostas, imparipinadas e aromáticas. Frutos aromáticos e adocicados, brilhantes e de cor vermelha (Lorenzi e Matos, 2008). Possui óleo essencial com propriedades antifúngica, cicatrizante, inseticida, dentre outras, em suas folhas e frutos (Kweka et al., 2011; Lucena et al., 2006; Santos et al., 2010; Silva et al., 2010). Enquanto o jabolão ou jamelão (*Syzygium cumini* (L.) Skeels), pertencente à família *Myrtaceae*, é uma árvore de classificação secundária, com cerca de 10 m de altura e folhagem abundante (Migliato et al., 2006). As partes vegetativas do jamelão apresentam óleos essenciais que possuem uma gama de ações farmacológicas, tais como antimicrobiana, anti-inflamatória, antiulcerogênica, cardioprotetora, anticancerígena, antialérgica, hepatoprotetora, antidiarreica, hipoglicemiante e antidiabética (Baliga et al., 2011).

A produção de óleos essenciais pelas plantas ocorre através de vias metabólicas secundárias, as quais sofrem interferência de outros processos ligados à fotossíntese. Embora o metabolismo secundário nem sempre seja necessário para que uma planta complete seu ciclo de vida, ele desempenha um papel importante na interação das plantas com o meio ambiente. Contudo, produtos secundários também possuem ação protetora em relação a estresses abióticos, como aqueles associados com mudanças de temperatura, conteúdo de água, níveis de luz, exposição a UV e deficiência de nutrientes minerais (Morais, 2009).

Em geral, as estações mais quentes e de maior irradiação do ano em regiões de clima tropical coincidem com a fase de maior produção de biomassa. De mesmo modo, a maior produção de óleos essenciais está associada à maior radiação e maior taxa fotossintética das plantas (Marchese e Figueira, 2005).

A análise do potencial fotossintético de uma planta e suas relações com o ambiente local permite a ampliação dos conhecimentos sobre sua adaptabilidade às condições de cultivo e à maximização do seu potencial produtivo (Cassol et al., 2007). Assim, avanços no sentido de compreender a influência dos fatores ambientais na regulação de biossíntese de metabólitos secundários, podem contribuir para um aumento na produção de compostos de interesse nestas espécies.

A assimilação de carbono e a condutância estomática podem ser diferenciadas por mudanças sazonais, como por exemplo, o regime de chuva, uma vez que o comportamento fotossintético das plantas, de maneira geral, é diretamente influenciado pelo regime de água no contínuo solo-planta-atmosfera (Franks e Farquhar, 1999; Turnbull et al., 2003). Adicionalmente, altas taxas de trocas gasosas estão associadas a altas concentrações de nitrogênio foliar em muitas espécies (Ellsworth e Reich, 1992).

Em condições de baixa disponibilidade de água, por exemplo, o aparato estomático é um dos primeiros componentes da planta a ser afetado, tendo como consequência a redução das trocas gasosas, pois, os estômatos controlam a entrada de CO₂ e a perda de vapor d'água para o exterior da folha (Buckley et al., 1999; Nilsen e Orcutt, 1996). O controle do movimento estomático, apesar de reagir a várias influências, obedece principalmente a pressão parcial de CO₂ nos espaços intercelulares e ao estresse hídrico da planta (Oliveira et al., 2002; Ainsworth et al., 2007).

Compreender essa capacidade de resposta às variações locais na disponibilidade de recursos é fundamental para o entendimento do equilíbrio e dinâmica das comunidades florestais, além de visar a sua adaptabilidade às condições de cultivo e à maximização do seu potencial produtivo. Desta forma, objetivou-se relacionar as trocas gasosas e a produção de óleo essencial em aroeira e jamelão em duas épocas do ano.

Metodologia

Três exemplares tanto de *S. cumini* como de *S. terebinthifolius* localizados na Universidade Federal de Sergipe em São Cristóvão-SE, foram utilizados para a realização das avaliações. As medições de trocas gasosas foram realizadas nas estações seca e chuvosa durante o dia, no período compreendido entre às 8h00 e às 16h00, com intervalo de duas horas entre as medições.

Folhas/folíolos totalmente expandidos e expostos ao sol, sem sinais de injúrias, herbivoria ou ataque de patógenos e localizadas no terço médio da copa, foram selecionados para a realização das medições. A avaliação de trocas gasosas foi realizada utilizando um sistema portátil de medição da fotossíntese modelo LI-6400 XT (LI-COR, Inc., Lincoln, NE,

USA), medindo-se taxa fotossintética líquida potencial (A), condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E), teor de carbono interno (Ci) e temperatura da folha (T_{folha}) e do ar (T_{ar}). O equipamento foi ajustado para fornecer uma densidade de fluxo fotossinteticamente ativo (PAR) de $800 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

Para determinar os rendimentos dos óleos essenciais, foram realizadas coletas de folhas/folículos nas duas épocas estudadas. Foram destiladas 100g de folhas frescas de cada espécie (amostragem composta), utilizando o sistema de extração por hidrodestilação do tipo Clevenger. As durações foram definidas através de curvas de resposta obtidas em ensaio prévio. Sendo: para aroeira, 3h30 na época seca e 4h30 na época chuvosa; e para jamelão, 4h30 na época seca e 3h30 na época chuvosa. O rendimento foi expresso em mL.100g^{-1} de matéria vegetal.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em fatorial $2 \times 2 \times 5$, sendo duas espécies, duas épocas e cinco horários. Três repetições foram avaliadas, sendo cada repetição composta de dez folhas. Para o rendimento de óleo utilizou-se quatro tratamentos e três repetições, em fatorial 2×2 (duas espécies e duas estações). Os parâmetros avaliados foram submetidas à análise da variância e análise de regressão, utilizando o programa SISVAR® (Ferreira, 2011).

Resultados

Na época seca, os valores médios da taxa fotossintética (A) do jamelão foram superiores aos da aroeira na maioria dos horários, exceto às 10h00 e às 16h00. Para a aroeira, o máximo de assimilação de CO_2 ocorreu às 8h00 e 10h00, com $7,9544$ e $8,1951 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mantendo-se mais baixa no restante do dia. O jamelão teve às 16h00 sua menor taxa, $5,0736 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, atingindo o máximo às 8h00 da manhã, com $10,0156 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Na aroeira, a condutância estomática (Gs) pouco variou durante o dia e a transpiração (E) se apresentou mais elevado nas primeiras horas da manhã (Figura 1). Para o jamelão, a menor Gs ocorreu às 14h00 ($0,0920 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), obtendo-se seu máximo no turno da manhã, às 8h00 e 10h00 ($0,2702$ e $0,2738 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e E máxima ($4,5756 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) às 10h00. O jamelão apresentou os índices mais altos para essas variáveis às 8h00, 10h00 e 16h00 (Figura 1).

Com relação ao déficit de pressão de vapor ($\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$), o jamelão apresentou os menores valores em todos os horários. A aroeira apresentou similaridade entre os $\text{DPV}_{\text{folha-ar}}$ na maior parte do dia, chegando ao fim da tarde (16h00) com o menor valor (1.9931), enquanto o jamelão apresentou déficit inferior no início da manhã (1.4593).

A temperatura do ar (T_{ar}) na estação seca durante o curso do dia variou entre 28° e 32° C, enquanto que na estação chuvosa, os valores foram menores (26° a 28° C). De acordo com valores obtidos das T_{ar} e da T_{folha} , ambas espécies absorveram efetivamente o calor do ar no dia da avaliação para o interior de suas folhas, apresentando valores de T_{folha} similares aos de referência.

Na maior parte do dia, os teores de C_i do jamelão superaram os de aroeira, apresentando valores similares às 12h00 e 14h00, sendo estes os horários de menor teor encontrado para essa espécie, 199.8365 e 193.7744 Pa, respectivamente. Na aroeira, os teores de C_i não variaram durante o dia, numa média de 191 ± 11 Pa (Figura 3).

No período chuvoso foi verificado maior valor da taxa fotossintética (A) na aroeira em relação ao jamelão durante o dia (exceto às 10h00 e 14h00). A maior taxa apresentada pelas duas espécies foi registrada às 10h00, $12.5555 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a aroeira e $12.0133 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o jamelão. A menor taxa foi observada às 16h00 para a última citada e a aroeira não apresentou alterações no restante do dia.

As duas espécies arbóreas apresentaram maior valor de G_s no início da manhã (8h00), $0.5253 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para aroeira e $0.3551 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o jamelão. No decorrer do dia apresentaram variações, tendo, o jamelão se apresentado inferior à outra espécie às 8h00 e 16h00 (Figura 2).

Os maiores valores de E foram observados na *S. terebinthifolius*, sendo que a maior taxa verificada no dia para ambas espécies ocorreu às 8h00 para aroeira ($4.7122 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e para jamelão ($3.9960 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); e as menores às 14h00 e 16h00, para a primeira espécie citada, e às 16h00, para a segunda.

Com relação ao $DPV_{folha-ar}$, o jamelão superou a aroeira na maior parte do dia, tendo às 10h00 e 12h00 como exceção. Para o jamelão, as maiores diferenças foram encontradas durante a tarde, às 14h00 e 16h00 (1.4088 e 1.4442). A aroeira apresentou o maior déficit às 14 horas (1.3601).

As temperaturas registradas no período chuvoso foram mais baixas que as registradas no período seco. E, de mesmo modo que na estação anterior, as T_{folha} refletiram as T_{ar} no dia das avaliações, sendo que as mais altas foram identificadas na aroeira até às 12h00 e às 14h00 quando se igualou à registrada no jamelão.

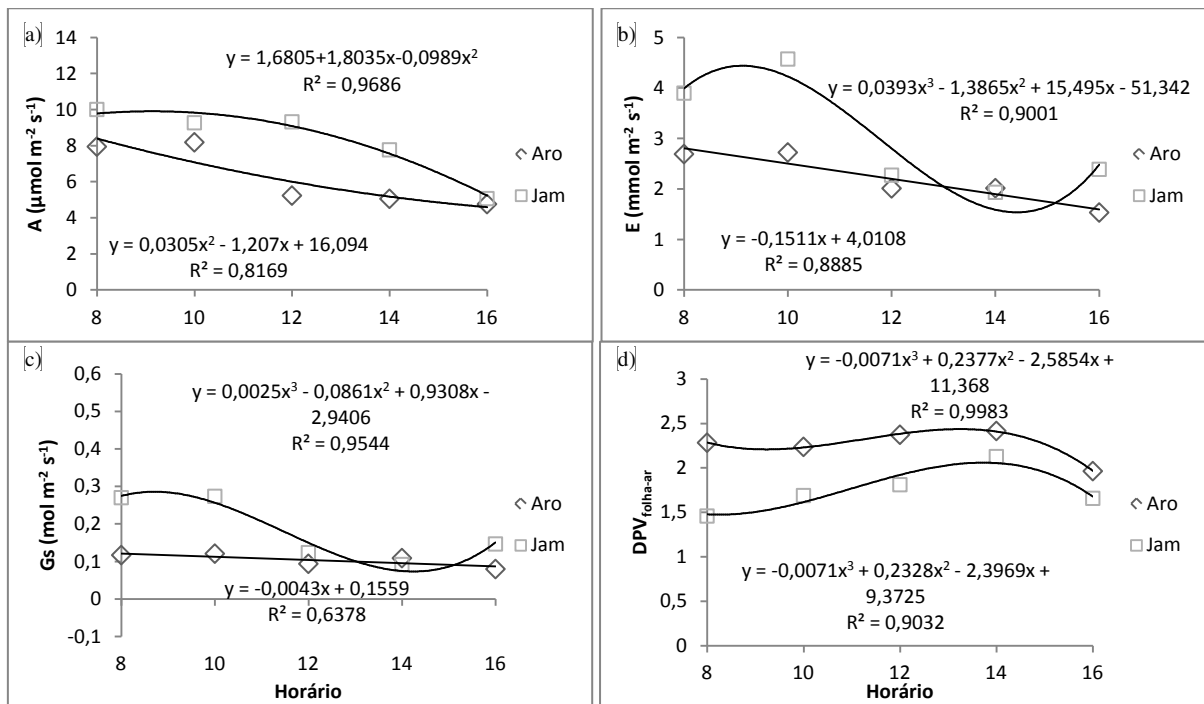


Figura 1. 1-a.Taxa fotossintética (A), 1-b.transpiração (E), 1-c.condutância estomática (Gs) e 1-d.déficit de pressão de vapor entre folha e ar (DPV_{folha-ar}) de jamelão e aroeira na época seca ao longo do dia.

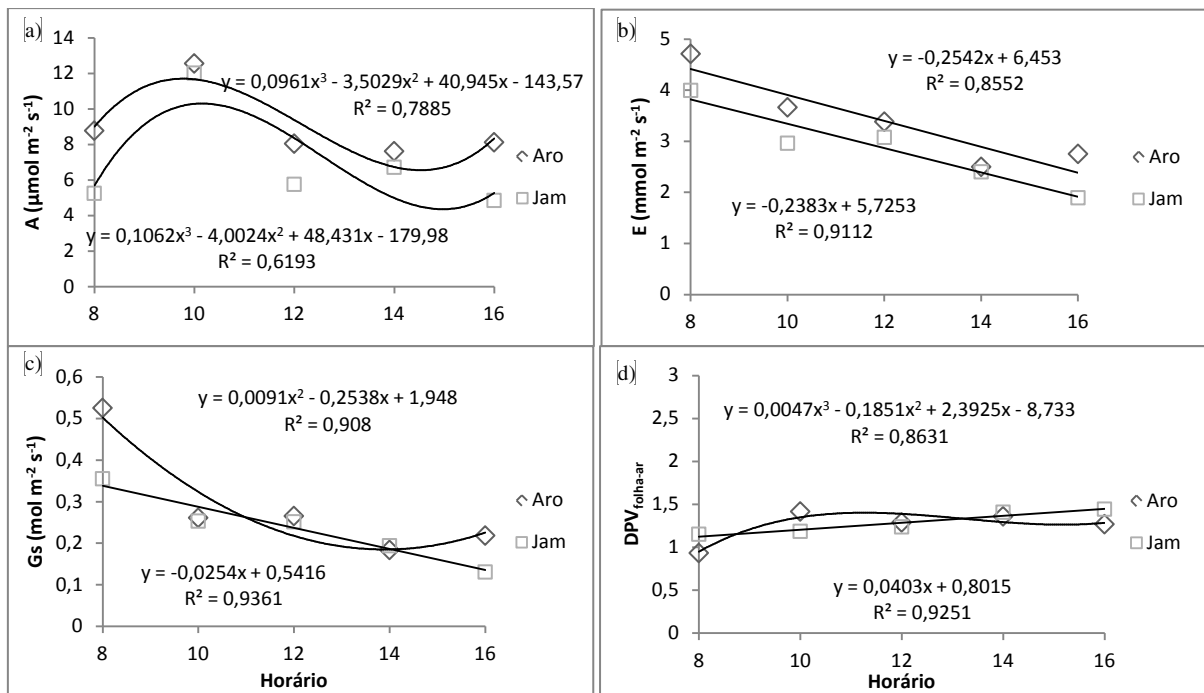


Figura 2. 1-a.Taxa fotossintética (A), 1-b.transpiração (E), 1-c.condutância estomática (Gs) e 1-d.déficit de pressão de vapor entre folha e ar (DPV_{folha-ar}) de jamelão e aroeira na época chuvosa ao longo do dia.

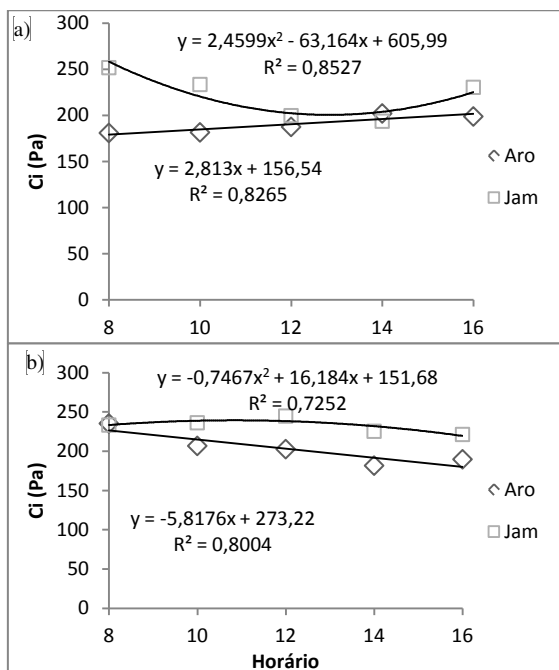


Figura 3. Teor de carbono interno (Ci) de aroeira e jamelão na épocas seca (3-a) e chuvosa (3-b) ao longo do dia.

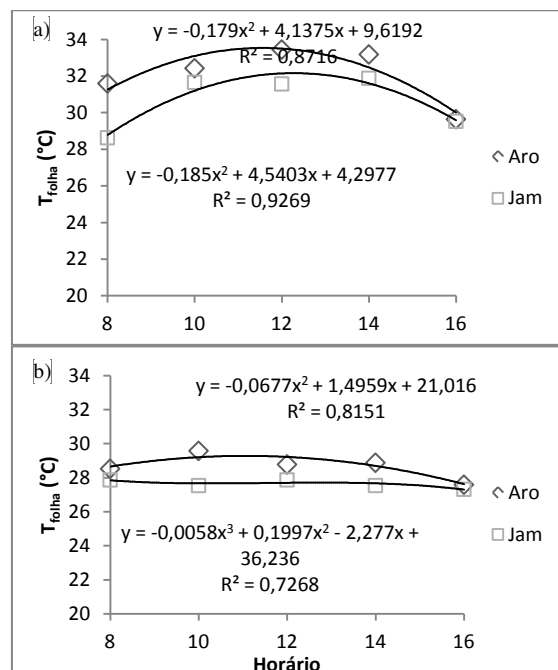


Figura 4. Temperatura das folhas (T_{folha}) de aroeira e jamelão nas épocas seca (4-a) e chuvosa (4-b).

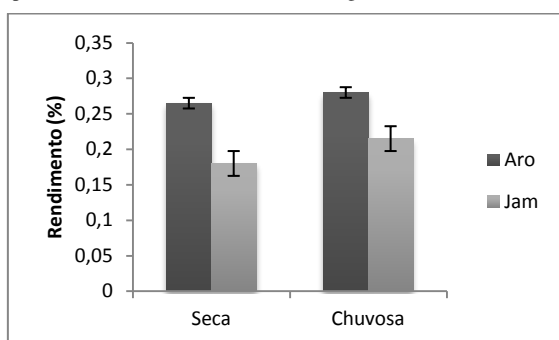


Figura 5. Rendimento de óleo essencial extraído de folhas frescas de aroeira e jamelão nas épocas seca e chuvosa.

No período chuvoso, o jamelão permaneceu com os maiores teores de Ci, igualando-se à aroeira apenas no início da manhã (8h00). Para o jamelão, o maior teor foi quantificado às 12h00 (244.9140) pouco variando no restante do dia. A aroeira apresentou uma maior variação nos teores de carbono, apresentando o maior teor às 8h00 da manhã (235.5164) e uma redução às 14h00 (189.9038).

A produção de óleo essencial, de modo geral, não apresentou grandes variações devido a sazonalidade (Figura 5). O jamelão produziu menor quantidade de óleo nas duas estações em comparação com a aroeira (Figura 5), sendo que, no período chuvoso, apresentou maior rendimento que na estação anterior. A aroeira não apresentou variação em relação à época de coleta.

Discussão

Na época seca, tanto a taxa fotossintética (A) quanto a condutância estomática (Gs) e a transpiração (E) (Figura 1) em ambas espécies declinaram ao longo do dia em contraste com outros trabalhos, que constatarem a influência da temperatura nos horários mais quentes do dia (12h00 a 14h00), reduzindo Gs e A devido ao sobreaquecimento (Filella et al., 1998; Machado et al., 2002; Prieto et al., 2009). Como a temperatura pouco variou ao longo do dia, possivelmente, essa tendência de decréscimo das variáveis seja em função da menor radiação solar. Verificou-se também que o estágio de desenvolvimento pode estar relacionado com os resultados obtidos, pois os maiores valores de A, Gs e E foram apresentados pelo jamelão, e este, na época seca, encontrava-se no período reprodutivo. Segundo Larcher (2000), durante a floração e a frutificação nas plantas cultivadas há um aumento da capacidade fotossintética.

O rendimento do óleo (Figura 6) de aroeira foi superior que o do jamelão nessa época, podendo-se inferir que o *S. cumini*, na fase reprodutiva, priorizou a produção de frutos (metabolismo primário), ao invés da produção de óleo (metabolismo secundário). Estudos realizados com outras espécies, como funcho (*Foeniculum vulgare* Mill.) e cafeeiro (*Coffea arabica* L.), demonstraram que nas fases de floração e frutificação há uma menor atividade do metabolismo secundário, e consequente diminuição nos ductos secretores de óleos essenciais e na produção de fenóis totais (Salgado, 2004; Sousa et al., 2005).

Durante o período chuvoso, ambas espécies não apresentaram linearidade quanto a taxa fotossintética ao longo do dia, sendo que o pico para as variáveis A, Gs e E ocorreram nas primeiras horas da manhã. De modo geral, os maiores valores para essas variáveis foram observados nessa época. Essa tendência está em conformidade com a literatura, que indica que temperaturas mais baixas e alta umidade do ar são preponderantes na regulação estomática e no potencial hídrico foliar (Nogueira et al., 2000).

Da mesma forma que na época anterior, no período chuvoso a aroeira apresentou maior rendimento de óleo essencial que o jamelão (Figura 5). Contudo, pode-se constatar que o rendimento de óleo na aroeira não foi influenciado pela sazonalidade. Essa espécie apresenta duas fases reprodutivas no ano (Lenzi e Orth, 2004) e encontrava-se em floração/frutificação nos períodos em que foram realizadas as avaliações. Pode-se afirmar que o jamelão apresentou uma maior variação sazonal por ter a época reprodutiva definida em apenas uma estação.

As taxas máximas de fotossíntese obtidas pela aroeira e pelo jamelão nas duas estações estão dentro dos limites verificados em plantas lenhosas decíduas ($6,5$ a $16 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e árvores decíduas frutíferas ($6,5$ a $20 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) (Köner et al., 1979). A capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que as trocas gasosas mudam durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso anual

e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc) em torno do vegetal (Larcher, 2000).

Os maiores valores de condutância estomática foram observados no período chuvoso e a transpiração apresentou um decréscimo linear no decorrer do dia (Figura 2). Segundo Brodribb e Holbrook (2003) e Lawlor (2002), o fechamento estomático ocorre rapidamente com o declínio do potencial hídrico, mas, sob condições de elevada umidade atmosférica, este fechamento acontece mais tardiamente. Na época seca, a condutância estomática na aroeira pouco variou e no jamelão apresentou uma queda brusca a partir das 10h00. A mesma tendência foi observada nas espécies para a transpiração (Figura 1).

Com relação às oscilações diurnas da transpiração (A) e da condutância estomática (Gs), as variações estão de acordo com estudos de Passos et al. (2005) e Ribeiro et al. (2005) que verificaram que A foi maior nas primeiras horas da manhã; e Ferreira et al. (1999) que observaram maiores valores de Gs quando a radiação solar é máxima e o potencial hídrico da folha ainda não atingiu os valores mínimos que induzem o fechamento estomático.

Analizando os valores obtidos pelas espécies nas duas estações, constatou-se uma redução de 35.36% de E na aroeira no período sem chuvas com relação ao período anterior. Redução significativa, quando comparada com a variação de apenas 4.98% do jamelão. Isso significa que o *S. cumini* conseguiu manter a regulação estomática com mais eficiência, mesmo em época de restrição hídrica e altas demandas evaporativas.

S. terebinthifolius apresentou incremento de 30.79%, 35.84% e 35.36% para A, E e Gs na estação chuvosa, assim como observado por Cavalcante e Conforto (2006) em cultivares de guaraná (*Hevea brasiliensis*). No período seco, essas cultivares apresentaram um decréscimo de A (32%; 22%), E (44%; 38%) e Gs (29%; 17%). Os valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$ encontrados em aroeira (1.96 a 2.41 kPa) e jamelão (1.45 a 2.1 kPa) no período seco também foram maiores que os da época chuvosa.

A perda de água das folhas é controlada, de maneira geral, pelo déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$). Segundo Reis e Campostrini (2008), os valores de A são elevados em umidades mais altas, e que, na condição de reduzidos valores de $DPV_{\text{folha-ar}}$, os valores de Gs também são elevados. Os resultados obtidos para aroeira e jamelão constatarem que o $DPV_{\text{folha-ar}}$ é inversamente proporcional ao valor de Gs e que os valores observados na época chuvosa foram inferiores aos da época seca.

Observando-se as duas épocas, nota-se que os índices de Ci (Figura 3) em cada espécie estudada comportou-se de maneira inversa ao longo do dia. A redução da Gs na estação seca indica que houve fechamento dos estômatos, causando então uma resistência à difusão do CO₂ nas folhas. Com isso, pôde-se notar que os valores de Ci foram em média

mais altos na estação chuvosa do que na seca. Isso também foi constatado por Dalmagro et al. (2011) ao estudar as trocas gasosas em leiteira (*Brosimum lactescens*), espécie lenhosa na floresta de transição Amazônia-Cerrado.

A maior produção de óleos essenciais está associada à maior radiação e maior taxa fotossintética das plantas, segundo Marchese e Figueira (2005). No entanto, o que se observou neste trabalho, é que os maiores valores de A encontradas (época chuvosa) (Figura 2) não se refletiram na produção de metabólitos secundários tanto para o jamelão quanto para a aroeira (Figura 5). De modo contrário, no período de menor taxa de assimilação de carbono, o jamelão apresentou maior rendimento de óleo. Com base nesses resultados, verifica-se que não há relação direta entre os parâmetros ecofisiológicos avaliados e a produção de óleo essencial nas espécies estudadas.

Conclusões

As espécies apresentam maiores taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração nas primeiras horas da manhã.

O jamelão e a aroeira mostram tendências diferenciadas para as trocas gasosas nas duas estações estudadas.

A aroeira apresenta maior produção de óleo essencial que o jamelão independente da estação do ano.

A fase fenológica influencia diretamente a atuação do metabolismo primário no jamelão e inversamente o metabolismo secundário.

Referências Bibliográficas

- AINSWORTH E, A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO₂]: Mechanisms and environmental interactions. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 258-270, 2007.
- BALIGA, M. S.; BHAT, H. P.; BALIGA, B. R. V.; WILSON, R.; PALATY, P. L. Phytochemistry, traditional uses and pharmacology of *Eugenia jambolana* Lam. (black plum): A review. **Food Research International**, v. 44, p. 1776–1789, 2011.
- BRODRIBB, T. J.; HOLBROOK, N. M. Stomatal closure during leaf dehydration, correlation with other leaf physiological traits. **Plant Physiology**, v. 132, p. 2166-2173, 2003.
- BUCKLEY, T. N.; FARQUHAR, G. D.; MOTT, K. A. Carbon-water balance and patchy stomatal conductance. **Oecologia**, v. 118, p. 132-143, 1999.

CASSOL, D.; FALQUETO, A. R.; BACARIN, M. A. Fotossíntese em *Mentha piperita* e *Melissa officinalis* sob Sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p. 576-578, 2007.

CAVALCANTE, J. R.; CONFORTO, E. C. Fotossíntese e relações hídricas de duas cultivares jovens de seringueira. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, p. 701-708, 2006.

DALMAGRO, H. J.; LOBO, F. A.; ORTÍZ, C. E. R.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J.S.; VOURLITIS, J. L.; PINTO JUNIOR, O. B. Trocas gasosas de uma espécie lenhosa na floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Ciência e Natura**, v. 32, p. 147-165, 2011.

ELLSWORTH, D. S.; REICH, P. B. Leaf mass per area, nitrogen content and photosynthetic carbon gain in *Acer saccharum* seedlings in contrasting forest light environments. **Functional Ecology**, v. 6, p. 423-435, 1992.

FERREIRA, C. A. G.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* Hook., em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. **Cerne**, v. 5, p. 95-104, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Science and Agrotechnology**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FILELLA, I.; LLUSIÀ, J.; PIÑOL, J.; PEÑUELAS, J. Leaf gas exchange and fluorescence of *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus* and *Quercus ilex* saplings in severe drought and high temperature conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 39, p. 213-220, 1998.

FRANKS, P. J.; FARQUHAR, G. D. A relationship between humidity response, growth form and photosynthetic operating point in C3 plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 1337-1349, 1999.

KORNER, C.; SCHEEL, J. A.; BAUER, H. Maximum leaf diffusive conductance in vascular plants. **Photosynthetica**, v. 13, p. 45-82, 1979.

KWEKA, E. J.; NYINDO, M.; MOSHA, F.; SILVA, A. G. Insecticidal activity of the essential oil from fruits and seeds of *Schinus terebinthifolia* Raddi against African malaria vectors. **Parasites e Vectors**, v. 4, p. 129, 2011.

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

LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Annals Botany**, v. 89, p. 871-885, 2002.

LENZI, M.; ORTH, A. I. Fenologia reprodutiva, morfologia e biologia floral de *Schinus terebinthifolius* Raddi (*Anacardiaceae*), em restinga da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, v. 17, p. 67-89, 2004.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Medicinal plants in Brazil: native and exotic**. New Odessa, Plantarum Institut, 2008. 357p

LUCENA, P. L. H.; RIBAS FILHO, J. M.; MAZZA, M.; CZECHKO, N. G.; DIETZ, U. A.; CORREA NETO, M. A.; HENRIQUES, G. S.; SANTOS, O. J.; CESCHIN, A. P.; THIELE, E. S. Evaluation of the action of aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) in the healing of surgical wounds in the bladder of rats. **Brazilian Acta Surgical**, p. 21, 2006.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 53-58, 2002.

MARCHESE, J. A.; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 7, p.86-96, 2005.

MIGLIATO, K. F.; BABY, A. R.; ZAGUE, V.; VELASCO, M. V. R.; CORRÊA, M. A.; SACRAMENTO, L. V. S.; SALGADO, H. R. N. Pharmacological actions of *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 25, p. 310-314, 2006.

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. S4050-S4063, 2009.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress: abiotic factors**. John Wiley, New York, 1996. 230p

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1331-1342, 2000.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 59-63, 2002.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 248-254, 2005.

PRIETO, P.; PEÑUELAS, J.; LLUSIÀ, J.; ASENSIO, D.; ESTIARTE, M. Effects of long-term experimental night-time warming and drought on photosynthesis, Fv/Fm and stomatal conductance in the dominant species of a Mediterranean shrubland. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 729–739, 2009.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro. **Bragantia**, v. 67, p. 815-822, 2008.

RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, p. 149-161, 2005.

SALGADO, P. R. Fenóis totais no cafeeiro em razão das fases de frutificação e do clima. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-26042005-145455/>>. Acesso em: 18-01-2013.

SANTOS, A. C. A.; ROSSATO, M.; SERAFINI, L. A.; BUENO, M.; CRIPPA, L. B.; SARTORI, V. C.; DELLACASSA, E.; MOYNA, P. Fungicidal effect of the essential oils of *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Anacardiaceae*, of Rio Grande do Sul. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 20, p. 154-159, 2010.

SILVA, A. B.; SILVA, T.; FRANCO, E. S.; RABELO, S. A.; LIMA, E. R.; MOTA, R. A.; CÂMARA, C. A. G.; PONTES-FILHO, N. T.; LIMA-FILHO, J. V. Antibacterial activity, chemical composition, and cytotoxicity of leaf's essential oil from brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius*, Raddi). **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 41, p. 158-163, 2010.

SOUSA, L. A.; ALBUQUERQUE, J. C. R.; LEITE, M. N.; STEFANINI, M. B. Sazonalidade dos ductos secretores e óleo essencial de *Foeniculum vulgare* var. *vulgare* Mill. (*Apiaceae*). **Brazilian Journal Pharmacognosia**, v. 15, p. 155-161, 2005.

TURNBULL, M. H.; WHITEHEAD, D.; TISSUE, D. T.; SCHUSTER, W. S. F.; BROWN, K. J.; GRIFFIN, K. L. Scaling foliar respiration in two contrasting forest canopies. **Functional Ecology**, v. 17, p. 101-114, 2003.

|

5. CONCLUSÕES GERAIS

A eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II de aroeira e jamelão se enquadram nos padrões de normalidade e bom funcionamento.

Os níveis de fluorescência da clorofila *a* do jamelão comprova um melhor aproveitamento do aparato fotossintético dessa espécie.

As espécies apresentam maiores taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração nas primeiras horas da manhã.

O jamelão e a aroeira mostram tendências diferenciadas para as trocas gasosas nas duas estações estudadas.

A fase fenológica influencia diretamente a atuação do metabolismo primário e inversamente o metabolismo secundário no jamelão.

O secamento do material vegetal para a obtenção de óleo essencial de aroeira e jamelão não é viável.

A aroeira possui maior rendimento de óleo essencial, independente do tipo de preparo do material e da estação do ano, o que comprova uma maior atuação do metabolismo secundário. |

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKROUT, A. A.; CHEMIL, R.; SIMMONDS, M.; KITE, G.; HAMMANI, M.; CHREIF, I. Seasonal variation of the essential oil of *Artemisia campestris* L. **Journal of Essential Oil Research**, v.15, p.333-336, 2003.
- ALMENARA, M. R. **Definição e ocorrência da fotoinibição**. LEAF, 1998. Disponível em: <http://server2.iq.ufrj.br/~almenara/fotoinibicao.htm>. Acesso em: 15 maio 2012.
- ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JUNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, v.27, n.1, p.53-57, 2003.
- ANDRADE, A. M.; GOMES, S. S. Influência de alguns fatores não genéticos sobre o teor de óleo essencial em folhas de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Floresta e Ambiente**, v.7, n.1, p.181-189, 2000.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- AYYANAR, M.; SUBASH-BABU, P. *Syzygium cumini* (L.) Skeels: A review of its phytochemical constituents and traditional uses. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, p. 240-246, 2012.
- BAKER, N. R. Chlorophyll Fluorescence: a probe of photosynthesis *in vivo*. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 89–113, 2008.
- BARBER, J.; ANDERSSON, B. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. **TIBS**, v. 17, p. 61-66, 1992.
- BARBOSA, L. C. A. B.; DEMUNER, A. J.; CLEMENTE, A. D.; PAULA, V. F.; ISMAIL, F. M. D. Seasonal variation in the composition of volatile oils from *Schinus terebinthifolius*. **Quimica Nova**, v. 30, p. 1959-1965, 2007.
- BENDAOU, H.; ROMDHANE, M.; SOUCHARD, J. P.; CAZAUX, S.; BOUAJILA, J. Chemical composition and anticancer and antioxidant activities of *Schinus Molle* L. and *Schinus Terebinthifolius* Raddi berries. **Essential Oils Journal of Food Science**, v. 75, n. 6, 2010.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMING, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, p. 489-504, 1987.
- BJÖRKMAN, O.; POWLES, S. B. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. **Planta**, v.161, p. 490-504, 1984.

BRAGA, F. G.; BOUZADA, M. L. M.; FABRI, R. L.; MATOS, M. O.; MOREIRA, F. O.; SCIO, E.; COIMBRA, E. S. Antileishmanial and antifungal activity of plants used in traditional medicine in Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, p. 396-402, 2007.

BRITO, F. A.; LIMA, L. A.; RAMOS, M. F. S.; NAKAMURA, M. J.; MACHADO, S. C. C.; SIANI, A. C.; HENRIQUES, M. G. M. O.; SAMPAIO, A. L. F. Pharmacological study of anti-allergic activity of *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 40, p. 105-115, 2007.

CARDOSO, M. G.; SHAN, A. Y. K. V.; PINTO, J. E. B. P.; DELU FILHO, N.; BERTOLUCCI, S. K. V. Metabólitos secundários vegetais: visão geral, química e medicinal. **Texto Acadêmico**. 1. ed. Lavras - MG: Editora UFLA - Lavras - MGerais, v. 01, 2001. 81 p.

CERUKS, M.; ROMOFF, P.; FÁVERO, O. A.; LAGO, J. H. G. Constituintes fenólicos polares de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 597-599, 2007.

COUTINHO, D. F.; TRAVASSOS, L. M. A.; AMARAL, F. M. M. do. Estudo etnobotânico de plantas medicinais utilizadas em comunidades indígenas no estado do Maranhão – Brasil. **Visão Acadêmica**, v. 3, n. 1, p. 7-12, 2002.

GRAÇA, L. M.; FÁVERO, O. A.; ROSSI, L.; LAGO, J. H. G.; ROMOFF, P. Estudo da influência de fatores ambientais microclimáticos na variação circadiana e sazonal da composição bruta de óleos voláteis de *Eugenia* sp. (araçá-piranga), *Eugenia uniflora* L. (pitanga), *Eugenia brasiliensis* Lam. (grumixama), *Psidium cattleianum* Sabine (araçá) e *Syzygium cumini* (L.) Skeels (jambolão), *Myrtaceae*. **Resumos**. Sociedade de Ecologia do Brasil. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/viiceb/resumos/74a.pdf>. Acesso em: 21 jan 2013.

GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JR., U. M.; NINA JR, A. R.; CHEVREUIL, L. R. Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings grown under two irradiance environments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 171-184, 2007.

GOINGUENÉ, S. P.; TURLINGS, T. C. J. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. **Plant Physiology**, v. 129, p. 1296-1307, 2002.

GUENTHER, A. Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emissions. **Ecological Applications**, v. 7, n. 1, p. 34-45, 1997.

IBRAHIM, M. T.; FOBBE, R.; NOLTE, J. Chemical composition and biological studies of Egyptian *Schinus molle* L. and *Schinus terebinthifolius* Raddi oils. **Bulletin of the Faculty of Pharmacy**, v. 42, p. 289-296, 2004.

JAMAL, Y.; AUGUSTA, A. Chemical composition of essential oil *Schinus terebinthifolius* Raddi leaves. **Indonesian Journal Pharmacy**, v.12, p. 135-139, 2001.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.

KWEKA, E. J.; NYINDO, M.; MOSHA, F.; SILVA, A. G. Insecticidal activity of the essential oil from fruits and seeds of *Schinus terebinthifolius* Raddi against African malaria vectors. **Parasites & Vectors**, v. 4, p. 129, 2011.

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

LIMA, H. R. P.; KAPLAN, M. A. C.; CRUZ, A. V. M. Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 71-77, 2003.

LIMA, M. R. F.; LUNAA, J. S.; SANTOS, A. F.; ANDRADE, M. C. C.; SANT'ANA, A. E. G.; GENET, J.; MARQUEZ, B.; NEUVILLE, L.; MOREAU, N. Anti-bacterial activity of some Brazilian medicinal plants. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 105, p. 137-147, 2006.

LIMA, L. A.; SIANI, A. C.; BRITO, F. A.; SAMPAIO, A. L. F.; OLIVEIRA, M. G. M.; RIEHL, H. C. A. S. Correlation of antiinflammatory activity with phenolic content in the leaves of *Syzygium cumini* (L.) Skeels (*Myrtaceae*). **Química Nova**, v. 30, p. 860-864, 2007.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira 'valência'. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 53-58, 2002.

MAFFEI, M.; MUCCIARELLI, M.; SCANNERINI, S. Environmental factors affecting the lipid metabolism in *Rosmarinus officinalis* L. **Biochemical Systematic Ecology**, v.21, n.8, p.765-784, 1993.

MARCHESE, J. A; FIGUEIRA, G. M. O uso de tecnologias pré e pós colheita e boas práticas agrícolas na produção de plantas medicinais e aromáticas. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 7, n. 3, p.86-96, 2005.

MARTINS, E. R.; CASTRO, D. M.; CASTELLANI, D. C.; DIAS, J. E. **Plantas medicinais**. Viçosa: UFV, 2000.

MIGLIATO, K. F.; BABY, A. R.; ZAGUE, V.; VELASCO, M. V. R.; CORRÊA, M. A.; SACRAMENTO, L. V. S.; SALGADO, H. R. N. Pharmacological actions of *Syzygium cumini* (L.) Skeels. **Acta Farmacéutica Bonaerense**, v. 25, p. 310-314, 2006.

MOHAMMED, G. H.; BINDER, W. D.; GILLIES, S. L. Chlorophyll fluorescence: a review of its practical forestry applications and instrumentation. **Scandinavian Journal Forest Research**, v.10, p. 383-410, 1995.

OLIVEIRA, G. F.; FURTADO, N. A. J. C.; FILHO, A. A. S.; MARTINS, C. H. G.; BASTOS, J. K.; CUNHA, W. R.; SILVA, M. L. A. Antimicrobial activity of *Syzygium cumini* (Myrtaceae) leaves extract. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 38, p. 381-384, 2007.

OLIVEIRA, J.; ALVES, P. L. C. A.; MAGALHAES, A. C. The effect of chilling on the photosynthetic activity in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings: The protective action of chloroplastid pigments. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 14, p. 95-104, 2002.

ONG, K. C.; KHOO, H. E. Effects of myricetin on glycemia and glycogen metabolism in diabetic rats. **Life Sciences**, v. 67, p.1695-1705, 2000.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 248-254, 2005.

PRADO, C. H. B. A.; PASSOS, E. E. M.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthesis and water relations of six tall genotypes of *cocus nucifera* in wet and dry seasons. **South African Journal of Botany**, v. 67, p.169-176, 2001.

REYNERTSON, K. A.; YANG, H.; JIANG, B.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible *Myrtaceae* fruits. **Food Chemistry**, v. 109, p. 883-890, 2008.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza**, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470p.

SARMENTO, D. H. A.; MEDEIROS, J. F.; NOGUEIRA, K. D.; ALVES, L. P.; DIAS, N. S.; SILVA, M. C. C. Levantamento das plantas medicinais mais utilizadas e forma de uso catalogadas no município de Tenente Ananias – RN. **Horticultura Brasileira**, v. 19, 2001.

SCHOLLES, J. D.; HORTON, P. **Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements**. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (eds) *Methods in comparative plant ecology: a laboratory manual*, p. 130-135. London: Chapman and Hall, 1993

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. In: *Photosynthesis: a comprehensive treatise*. (ed.) RAGHAVENDRA, A. S. Cambridge University Press, Cambridge, 1998. 320p

SILVA, A. G.; ALMEIDA, D. L.; RONCHI, S. N.; BENTO, A. C.; SCHERER, R.; RAMOS, A. C.; CRUZ, Z. M. A. The essential oil of Brazilian pepper, *Schinus terebinthifolius* Raddi in larval control of *Stegomyia aegypti* (Linnaeus, 1762). **Parasites & Vectors**, v. 3, p.79, 2010.

- SILVA, N. A.; BIZZO, H. R.; OLIVEIRA, F. F.; COSTA, L. C. B.; OLIVEIRA, R. A. Estudo químico do óleo essencial da *Lippia alba*, “a erva cidreira”, de Ilhéus, Bahia. In: 27^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química e XXVI Congresso Latinoamericano de Química. **Resumos**. 2004.
- SINGH, A. K.; SINGH, J.; GUPTA, K. C.; BROPHY, J. J. Essential oil of leaves and inflorescence of *Schinus terebinthifolius*: an exotic plant of India. **Journal of Essential Oil Research**, v. 10, p. 697, 1998.
- SMITH, B. G. The effect of soil water and atmospheric vapour pressure deficit on stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. **Journal of Experimental Botany**, v.40, n. 215, p. 647-651, 1989.
- SOUSA, L. A.; ALBUQUERQUE, J. C. R.; LEITE, M. N.; STEFANINI, M. B. Sazonalidade dos ductos secretores e óleo essencial de *Foeniculum vulgare* var. *vulgare* Mill. (*Apiaceae*). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p.155-161, 2005.
- SOUZA, B. D.; MEIADO, M. V.; RODRIGUES, B. M.; SANTOS, M. G. Water relations and chlorophyll fluorescence responses of two leguminous trees from the Caatinga to different watering regimes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, p. 235-244, 2010.
- STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. **The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples**. In: YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. (eds) Probing Photosynthesis: mechanism, regulation and adaptation, chapter 25, p. 443-480. Taylor and Francis, London, UK, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TSIMILLI-MICHAEL, M.; KRÜGER, G. H. J.; STRASSER, R. J. About the perpetual state changes in plants approaching harmony with their environment. **Archive Science Genève**, v. 49, p. 173–203, 1996.
- WANG, G. G.; BAUERLE, W. L.; MUDDER, B. T. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth, and biomass allocation in American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 173-180, 2006.