



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

XISMENIA SOARES DA SILVA GASPARINI

Efeitos da radiação e da temperatura em cinco acessos de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.): crescimento, fluorescência da clorofila *a* e floração.

**VITÓRIA - ES
2015**

XISMENIA SOARES DA SILVA GASPARINI

Efeitos da radiação e da temperatura em cinco acessos de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.): crescimento, fluorescência da clorofila a e floração

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, Área de Concentração: Fisiologia Vegetal.
Orientadora: Prof^a. Diolina Moura Silva

**VITÓRIA – ES
2015**

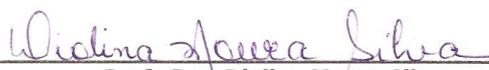
XISMENIA SOARES DA SILVA GASPARINI

**EFEITO DA RADIAÇÃO E DA TEMPERATURA EM CINCO ACESSOS DE
PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.): CRESCIMENTO, FLUORESCÊNCIA DA
CLOROFILA *a* E FLORAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Biologia Vegetal na área de concentração Fisiologia Vegetal.

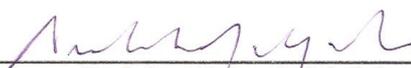
Aprovada em 26 de Fevereiro de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA



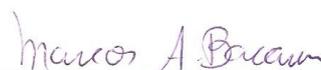
Prof. Dra. Diolina Moura Silva

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Orientadora



Prof. Dr. Atelmo Ralph Falqueto

Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal-UFES
Examinador Interno



Prof. Dr. Marcos Antonio Bacarin

Universidade Federal de Pelotas – UFPel - RS
Examinador Interno

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

G249e Gasparini, Xismenia Soares da Silva, 1986-
Efeitos da radiação e da temperatura em cinco acessos de
pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) : crescimento, fluorescência
da clorofila *a* e floração / Xismenia Soares da Silva Gasparini. –
2015.
68 f. : il.

Orientador: Diolina Moura Silva.
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e
Naturais.

1. Pinhão-manso. 2. Pinhão-manso - Efeito da temperatura.
3. Pinhão-manso - Efeito da radiação. 4. Pinhão-manso –
Floração. 5. Clorofila. 6. Crescimento (Plantas). I. Silva, Diolina
Moura. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de
Ciências Humanas e Naturais. III. Título.

CDU: 57

Aos meus pais, familiares e amigos, que tornaram possível a realização deste trabalho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, tenho muito que agradecer a DEUS pela vida, força, coragem e confiança para finalizar mais uma etapa da minha vida.

À Universidade Federal do Espírito Santo, de maneira especial ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, pela oportunidade e ajuda para a realização deste trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa que me ajudou muito durante o curso.

À Prof^a Diolina Moura Silva que me abriu as portas de um novo mundo e conhecimento, tenho certeza que levarei esse aprendizado. Exemplo de profissional, mulher, força e confiança, obrigado.

A todos os alunos da minha turma de mestrado que, de alguma forma, contribuíram para a finalização dessa etapa.

A todos os integrantes do Núcleo de Estudos da Fotossíntese, pela ajuda em todos os momentos, durante a realização deste trabalho. Em especial, agradeço a amiga Thais, sempre presente, sempre disposta, sempre paciente e para sempre amiga.

A minha família linda que me apoia sempre. Minha mãe por estar sempre presente, me apoiando e incentivando. Meu pai por toda a alegria e disposição. A minha querida e amada avó, por sempre me ouvir e acreditar. Ao meu marido por entender os momentos que eu precisava me ausentar e me apoiar sempre.

Tenho muito a agradecer a todos que, direta ou indiretamente, ajudaram na realização desse sonho.

“Para cultivar a sabedoria, é preciso força interior. Sem crescimento interno, é difícil conquistar a autoconfiança e a coragem necessárias. Sem elas, nossa vida se complica. O impossível torna-se possível com a força de vontade.”

Dalai Lama

RESUMO

Jatropha curcas é uma planta promissora para produção de óleo utilizado como biocombustível. Atualmente, diversos estudos estão direcionados para o melhor entendimento da tolerância dessa espécie frente às mudanças climáticas. Tendo sido retratada como uma planta tolerante à alta radiação, temperatura e melhor produtividade quando em ambientes ricos em CO₂. O presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento ecofisiológico de plantas de cinco acessos de pinhão manso, obtidas por estaquia, cultivadas sob diferentes condições de radiação e temperatura. Três acessos (aqui denominados de NEF 01, NEF 04 e NEF 05) foram obtidos na Área Experimental da Empresa NOVABRA Bioenergia situada em São Gabriel da Palha, região norte do estado do Espírito Santo e dois acessos, identificados como NEF 06 e NEF 08, são híbridos resultantes de melhoramento genético da Embrapa Bioenergia, propagados por semente e encontram-se cultivados no Campo Experimental do IFES - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Campus de Santa Teresa, ES). Em um primeiro experimento, os efeitos da variação diária da alta radiação e alta temperatura foram analisados usando-se a fluorescência transiente da clorofila *a*. Em um segundo experimento, as plantas dos cinco acessos estiveram expostas, durante duas semanas, a duas condições de Radiação Fotossinteticamente Ativa (100% e 20% de RFA) e seus efeitos foram analisados usando-se parâmetros do crescimento, da fluorescência transiente da clorofila *a* e da fenologia reprodutiva. Os resultados obtidos mostraram que as plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 foram as mais sensíveis às variações diárias de RFA e temperatura apresentando sintomas de uma fotoinibição crônica. Houve baixa eficiência na captura e transporte de elétrons para além da Quinona A (Q_A), provocado, principalmente, pela inativação do centro de evolução do O₂ (CEO) e desconectividade das subunidades do FSII (banda K e L positivas, respectivamente). Um aumento na fluorescência inicial (F₀), no tempo máximo para atingir a fluorescência máxima (T_{f_{max}}), e no fluxo de energia dissipada por RC ativo (DI₀/RC), seguido de uma redução da fluorescência máxima (F_m) foram observados à medida que a radiação e temperatura aumentavam ao longo do dia. O fotossistema II (FSII) exibiu menor rendimento fotoquímico (φP₀) e o FSI também sofreu danos. Houve queda na eficiência com que um elétron pode se mover desde os aceptores de elétrons do intersistema até os aceptores finais do FSI (δR₀) e no

rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fótons absorvidos (ϕR_0). Assim, o índice de desempenho total (PI_{total}) das plantas desses dois acessos foi pequeno e não foi observada recuperação ao final da tarde. Quando submetido a 20% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), NEF01 apresentou maior crescimento do broto, maior expansão foliar e maiores teores de pigmentos fotossintéticos, contudo o PI_{total} foi menor entre os acessos avaliados. As plantas dos acessos NEF 04 e NEF 08 também apresentaram diminuição nos parâmetros indicativos de danos no FSII e FSI, porém apresentaram uma tendência à recuperação fotossintética ao final da tarde, fato que remete a uma fotoinibição dinâmica. Quando submetidas a 20% de RFA, observou-se que todas as plantas permaneceram no estágio vegetativo, não sendo registrada iniciação floral em nenhuma planta dos cinco acessos. As plantas dos acessos NEF 04 e NEF 08 apresentaram o maior índice de desempenho fotoquímico total (PI_{total}) em ambas as condições de luz, porém NEF 08 não apresentou formação de flores femininas. As plantas do acesso NEF 06 foram as que mostraram o melhor desempenho fotoquímico tanto ao longo do dia quanto durante a exposição a duas condições de RFA. Não houve inibição do CEO, nem do FSII. Por consequência, foi o acesso com maior produtividade quando sob condição de pleno sol. Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que as plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 foram as mais sensíveis às altas temperaturas e à alta radiação, enquanto que as plantas do acesso NEF 06 seriam mais recomendáveis para o cultivo em regiões com alta radiação e temperatura visto que, apresentaram mecanismos capazes de tolerar as variações climáticas mostrando maior tolerância fotoquímica e maior produção de frutos.

Palavras-chave: Pinhão manso, fluorescência da clorofila *a*, estresse, fotoinibição, floração.

ABSTRACT

Jatropha curcas is a promising plant for the production of oil used as biofuel. Currently, several studies point to the better understanding of the tolerance of this species to climate change front. Having been portrayed as a tolerant plant to high radiation, temperature and better productivity when in environments rich in CO₂. This study aimed to analyze the ecophysiological behavior of plants gotten by cutting, five accesses of physic nut under different conditions of temperature and radiation and to relate the results with the flowering and fruiting of these different accesses. Three accesses (here called NEF01, NEF04 and NEF05) were obtained at the Experimental Area of NOVABRA Bioenergy Company, located in São Gabriel da Palha, Espírito Santo, and two accesses, identified as NEF06 and NEF 08, are hybrids resulting from genetic improvement of Bioenergy Embrapa, propagated by seed and are grown in the experimental field of the IFES - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Campus of Santa Teresa, ES). In a first experiment, the effect of the daily variation of high radiation and high temperature were analyzed using transient chlorophyll *a* fluorescence. In a second experiment the plants were exposed for two weeks, the two conditions of photosynthetically active radiation (100% PAR and 20%PAR) and its effects were analyzed using growth parameters, the transient fluorescence chlorophyll *a* and reproductive phenology. The results showed that plants of NEF01 and NEF 05 accesses were the most sensitive to daily variations of PAR and temperature showing all the symptoms of a chronic photoinhibition. There was low efficiency in electron trapped and transport beyond primary quinone acceptor (Q_A) caused mainly to inactivation of the oxygen evolving complex (OEC) of PSII and of the energetic connectivity (grouping) of the PS II units (positive band K and L, respectively). An increase in initial fluorescence (F₀), time (in ms) to reach the maximal fluorescence intensity (Tf_{max}), and the flow of energy dissipated by RC active (DI₀/RC) followed by a reduction of the maximum fluorescence (F_m) were observed when radiation and increased temperatures over the day. Photosystem II (PSII) exhibited lower photochemical efficiency (φP₀) and the PSI also suffered damage indicated by the lower probability with which an electron from the intersystem electron carriers is transferred to reduce end electron acceptors at the PSI acceptor side (δR₀) and the

lowest quantum yield for reduction of end electron acceptors at the PSI acceptor side (ϕR_0). Thus, the total performance index (PI_{total}) of the plants of these two accesses showed a great decrease and did not return in the evening. When subjected to 20% of photosynthetically active radiation (PAR), NEF01 had higher bud growth, greater leaf expansion and higher levels of photosynthetic pigments, though the PI_{total} was lower in the evaluated accesses. Plants of NEF04 and NEF 08 accesses also showed a reduction in parameters indicative of damage to PSII and PSI but showed a tendency to photosynthetic recovery in the late afternoon, a fact that refers to a dynamic photoinhibition. When subjected to 20% of PAR was observed that in any of the plants of five accesses there was the formation of inflorescences. Plants of NEF 04 and NEF 08 accesses had the highest total photochemical performance index (PI_{total}) in both light conditions, however NEF 08 showed no formation of female flowers. Plants NEF 06 access were those that showed the best photochemical performance both throughout the day and during the exposure to two PAR conditions. There was no inhibition of the CEO or the PSII. Consequently, it has access to higher productivity when under condition of full sun. The results of this work has shown that plants of NEF01 and NEF05 accesses were the most sensitive to high temperatures and high radiation while the plants NEF06 access would be recommended for cultivation in areas with high radiation and temperature as presented mechanisms to tolerate climatic change showing higher photochemical tolerance and increased productivity.

Keywords: physic nut, chlorophyll a fluorescence, stress, photoinhibition, flowering.

SUMÁRIO

	página
1. Introdução	13
2. Hipótese	17
3. Objetivo	17
3.1 Objetivo geral	17
3.2 Objetivo específico	17
4. Referências	17
5. Capítulo 1: “Curso diário da atividade fotoquímica de cinco acessos de <i>Jatropha curcas</i> L.”	
Resumo	22
Abstrat	23
5.1 Introdução	24
5.2 Material e Métodos	25
5.2.1 Material Vegetal e Condições de Cultivo	25
5.2.2 Cinética de emissão da fluorescência transiente ou polifásica (OJIP)	27
5.2.3 Índice de clorofila	28
5.2.4 Análise Estatística	28
5.3 Resultados	28
5.4 Discussão	37
5.5 Referências	40
6. Capítulo 2: “Fluorescência da clorofila <i>a</i> e fenologia reprodutiva de cinco acessos de <i>Jatropha curcas</i> L. sob diferentes condições de radiação solar”	
Resumo	44
Abstrat	
6.1 Introdução	48
6.2 Material e Métodos	50

6.2.1	Material Vegetal e Condições de Cultivo	50
6.2.2	Fenologia vegetativa e reprodutiva	52
6.2.3	Cinética de emissão da fluorescência transiente ou polifásica (OJIP)	52
6.2.4	Pigmentos fotossintéticos	54
6.2.5	Análise Estatística	54
6.3	Resultados	55
6.4	Discussão	60
6.5	Referências	64
7.	Considerações Finais	68

1. INTRODUÇÃO

A problemática das mudanças climáticas envolve complexas interações entre processos climáticos, ambientais, econômicos, políticos, institucionais, sociais e tecnológicos. A Convenção do Clima foi aprovada em 1992 (Rio 92) com o objetivo de “estabilizar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que previna uma interferência antropogênica perigosa sobre o sistema climático”. Entretanto, em 2012, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) atingiram o equivalente a 50 bilhões de toneladas de CO₂. Cerca de 70% desse total é CO₂ propriamente dito e o restante são os demais gases, em especial metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (KAHN et al., 2013).

Alterações nas condições climáticas provocam diversos impactos socioambientais. Podem-se destacar as alterações na biodiversidade, o aumento no nível do mar (derretimento das geleiras e calotas polares), impactos na saúde, na geração de energia hidrelétrica e na agricultura (períodos de floração) (MORENGO, 2006). A agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores climáticos como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar. Pesquisadores da Embrapa acreditam que, em 2020, o Brasil vai ter um prejuízo acumulado de R\$ 7,4 bilhões, pela redução da produtividade causada por alterações climáticas (ASSAD e PINTO, 2008).

O biocombustível é uma fonte de energia renovável que pode ser produzido a partir de uma ampla variedade de materiais e resíduos vegetais, além de oferecer muitas vantagens em relação a combustíveis fósseis. As plantas absorvem CO₂ atmosférico para realização da fotossíntese e podem aumentar o estoque de carbono orgânico do solo. Além disso, a emissão de gases poluentes por veículos com biodiesel é menor que a de veículos abastecidos com derivados de petróleo (TILMAN et al., 2006; MCCORNICK et al., 2007).

No Brasil, o incentivo por tecnologias renováveis se deu a partir de 1975 com o programa Proálcool, decreto nº 76.593, com o qual o governo tentava contornar a crise mundial do petróleo que se instalou na época (Petrobras, 2007). O incentivo se deu para diminuir a dependência externa de petróleo, visto que a crise de 1973 alavancou o preço do barril, e minimizar o efeito das emissões de gases veiculares, visando controlar a concentração de gases de efeito estufa (LEITE et al., 2007).

Em 1981, o governo desenvolveu o Programa Nacional de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, antigo Proóleo, através do decreto 17758/81, cujo objetivo era incentivar e promover a substituição do óleo diesel por óleos vegetais (soja, amendoim e girassol). No entanto, a estabilização do preço do petróleo, o alto custo da produção de óleo proveniente de oleaginosas e a consolidação do Proálcool impediram a expansão do programa Proóleo (TÁVORA, 2011).

O MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia) lançou, em 2002, o PROBIODIESEL (Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel) com o objetivo de desenvolver novas tecnologias para produção de biocombustível e estabelecer uma Rede Brasileira de Biodiesel entre especialistas e entidades responsáveis pelo desenvolvimento do setor (LIMA, 2005).

Em 2005, foi lançado um projeto para a implementação do uso do biodiesel através de pesquisas e cultivo de plantas geradoras de óleo (PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel). Através da lei nº 11.097/2005 torna-se obrigatória “adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional...”. Inicialmente, adicionou-se 2% de biocombustível no diesel comercial, o chamado B2. Em 2008 foi utilizado o B5, o que provocou um aumento de 189% na produção de biocombustível em relação a 2007. Em 2014, uma medida provisória aprovada pelo Congresso Nacional torna obrigatória a mistura de 7% de biocombustível ao diesel comercial (GUERRA, 2014). A proposta é introduzir o B20 (20% de biocombustível) e assim ampliar o consumo de biodiesel e reduzir a emissão de poluentes (TÁVORA, 2011).

O Brasil vem se destacando na produção de biocombustível devido ao amplo território, clima tropical e subtropical favorável ao cultivo de uma vasta variedade de matéria prima potencial e um setor de pesquisa avançado. Dentre os estados produtores de matéria prima o Nordeste apresenta-se com forte potencial para o desenvolvimento de biocombustível.

Das espécies conhecidas, produtoras de biocombustíveis, o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) produz um óleo relativamente simples de se converter em biodiesel, a partir de produtos químicos ou por reações biológicas de transesterificação. Seu óleo bruto também atende aos padrões de qualidade dos combustíveis no Brasil, EUA e Europa (BHERING et al., 2013).

O pinhão manso pertence à mesma família da mamona, Euphorbiaceae. Trata-se de um arbusto de crescimento rápido, com altura de 2 a 8 metros, dependendo das condições, e raízes curtas com pouca ramificação (ARRUDA et al., 2004; DIVAKARA et al., 2010). O centro de origem dessa espécie ainda é controverso, porém trabalhos mais recentes creditam que sua origem se deu na América Central (DIAS et al., 2012; QUINTERO et al., 2014). Algumas pesquisas sugerem que a região costeira ao longo do Golfo do México seja o mais provável centro de origem do pinhão manso. As evidências encontradas no país propõem que o conhecimento e uso da *Jatropha* vêm do povo Olmeca (1500-3000 a.c), civilização anterior aos Maias e Astecas (DIAS et al., 2012). Apesar de ser originário do México, o país não faz melhoramento genético das variedades e o grau de diversidade genética entre e dentro de populações naturais é pouco estudado. O estudo e o desenvolvimento de cultivares melhoradas têm sido liderados pela Índia, China e Brasil (SORREL et al., 2010; QUINTERO et al. 2014).

Programas de melhoramentos genéticos demandam incentivos financeiros. Porém programas de pesquisas envolvendo pinhão manso são atrasados quando se compara com outras espécies produtoras de óleo (FREITAS et al., 2011). No Brasil, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e a EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) já trabalham na criação de um banco de germoplasma auxiliando e investindo em estudos na área.

Apesar dos investimentos em pesquisas, *Jatropha curcas* ainda é considerada uma planta selvagem. A espécie possui grande tolerância às variações climáticas, mas não tolera condições extremas de estresses. Trata-se de uma planta que não suporta fortes geadas, mas sobrevive a tais fatores menos consideráveis perdendo as folhas e conseqüentemente reduzindo a produção (JINGURA et al., 2011).

A produção de *J. curcas* é determinada pelo florescimento, principal estágio fenológico para a produção de óleo, uma vez que o número de flores femininas fecundadas determina a quantidade de frutos e sementes que serão desenvolvidos (JUHÁSZ et al., 2009). Em algumas regiões tropicais, o florescimento (e a produção de sementes) de *Jatropha curcas* L. durante a época de chuvas é limitado pela baixa irradiância (AKER, 2011). Alguns autores sugerem que as baixas taxas fotossintéticas limitam tanto o crescimento vegetativo quanto à floração (ZAMARRIPA, 2011). No Brasil, o pinhão manso floresce uma vez por ano em

condições naturais de plantio, distribuindo sua produção no período de novembro a abril, quando após esse período, o pinhão manso entra em repouso vegetativo até que se iniciem as chuvas (UNGARO e NETO, 2007).

O estado do Espírito Santo foi o primeiro a criar oficialmente um programa de apoio ao cultivo de pinhão manso. No ano de 2003/04, o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) implantou o cultivo e pesquisa de pinhão manso em suas fazendas experimentais. Um zoneamento agroclimático para a cultura foi definido por Toledo et al. (2009). Galvêas et al. (2011) indicaram os municípios de Linhares, São Mateus, Colatina e Conceição da Barra como as áreas que tiveram maior aceitação e expansão do cultivo dessa cultura, Pezzopane et al. (2012) e Collares (2012) mostraram que aproximadamente 78% do território capixaba apresentam características necessárias para o cultivo dessa espécie, ou seja, possui terras quentes, secas e estação chuvosa bem definida.

Ora, é fato bem comprovado que a luz e a temperatura são dois fatores que exercem grande influência nos processos de desenvolvimento, produção e crescimento dos vegetais (ATROCHET, 2001). A taxa de crescimento das plantas reflete a habilidade de adaptação às condições de radiação em que estão se desenvolvendo e as características de crescimento podem ser utilizadas para identificar o grau de tolerância das espécies à disponibilidade de luz (ALMEIDA et al., 2005), favorecendo os trabalhos de melhoramento na busca por materiais mais produtivos. Desse modo, o sucesso de uma espécie a ambientes com baixa ou alta radiação é baseado na eficiência e rapidez com que o comportamento fisiológico é ajustado para maximizar a aquisição de recursos (DIAS-FILHO, 1997; VALLADARES et al., 2006).

A fotossíntese é um dos eventos fisiológicos mais influenciados pelas condições ambientais (DENG et al., 2003). Yusuf et al. (2010) e Zhang et al. (2010) descrevem que o aparato fotossintético é muito sensível a alterações ambientais e sofre mudanças estruturais mantendo a sua funcionalidade em ambientes continuamente variáveis. Dessa forma, a fluorescência da clorofila a, torna-se uma ferramenta rápida e não destrutiva capaz de fornecer informações sobre o estado do aparato fotossintético, principalmente sobre as funções e atividades do FSII (MATHUR et al., 2013).

2. HIPÓTESE

Diferentes acessos de pinhão manso apresentam diferentes mecanismos de tolerância à variação de radiação e temperatura.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

- Avaliar os efeitos da variação da temperatura e da radiação em cinco acessos de *Jatropha curcas* L..

3.2. Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos da radiação/temperatura sobre o crescimento das plantas de cinco acessos de *Jatropha curcas* L.;
- Identificar as alterações no desempenho fotoquímico em cinco acessos de *Jatropha curcas* L. provocados pelas altas temperaturas;
- Identificar as alterações no desempenho fotoquímico em cinco acessos de *Jatropha curcas* L. provocados pela alta radiação;
- Analisar os mecanismos de proteção à alta radiação e temperatura em cinco acessos de *Jatropha curcas* L. provocados pela alta radiação;
- Avaliar os efeitos da radiação/temperatura na biosíntese de pigmentos fotossintéticos em cinco acessos de *Jatropha curcas* L. provocados pela alta radiação;
- Relacionar os níveis de radiação/temperatura com a floração dos cinco acessos de *Jatropha curcas* L.

4. Referências

- AKER, C.L. **Floración sincrónica en *Jatropha curcas***. Taller Asincronía Floral en *Jatropha*. Seminário Internacional *Jatropha*. Colombia:Villavicencio, 2011.
- ALMEIDA, S.M.Z.; SOARES, A.M.; CASTRO, E.M.; VIEIRA, C.V.; GAJEGO, E.B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Ciência Rural**, v.35, n.1, p.62-68, 2005.
- ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; P., W. E.; SEVERINO, L. S.. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de oleaginosas e Fibrosas**, v.8, n.1, p.789-799, 2004.
- ASSAD, E.; PINTO, H.S. **Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil**. EMBRAPA, 2008. Disponível em:<http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRA_SIL_300908_FINAL.pdf> Acesso em: 15 jan. 2015.
- ATROCH, E.M.A.C.; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forticata* Link submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.4, p.853-862, 2001.
- BHERING, L.L.; BARRERA, C.F.; ORTEGA, D.; LAVIOLA, B.G.; ALVES, A.A.; ROSADO, T.B.; CRUZ, C.D. Differential response of *Jatropha* accessions to diferente selection methods indicates that combined selection is more suited than other methods for rapid improvement of the species. **Industrial Crops and Products**,v.41, p.260-265, 2013.
- COLLARES, D.G. **Incentivos para pinhão-manso apresentados em Fórum no Espírito Santo**. EMBRAPA, 2012. Disponível em:<http://www.cnpa.embrapa.br/noticias/2012/noticia_20120718_1.html> Acesso em: 20 jan. 2015.
- CARDOSO, G.L; LOMÔNACO, C. Variações fenotípicas de potencial plástico de *Eugenia calycina* Cambess. (Myrtaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.1, p.131-140, 2003.
- DIAS, L.A.S.; MISSIO, R.F.; DIAS, D.C.F.S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**. v. 11, n.3, p. 2719-2728, 2012.
- DIAS-FILHO, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light enviroments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.8, p.789-796, 1997.
- DIVAKARA, B.N.; UPADHYAYA, H.D.; WANI, S.P.; GOWDA, C.L.L. Biology and genetic improvement of *Jatropha curcas* L.: A review. **Applied Energy**, v. 87, n.3, p. 732-742, 2010.
- FREITAS, J.P.X.; OLIVEIRA, E.J.; CRUZ NETO, A.J.; SANTOS, L.R. Avaliação de recursos genéticos de maracujazeiro-amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.9, p.1013-1020, 2011.

GALVÊAS, P.A.O.; ROCHA, M.A.M.; SILVA, A.E.S.; VENTURIM, J.B.; VENTURA, J.A.; POSSE, S.C.P.; TAQUES, R.C.; NETO, A.M.; PAGUNG, L.R.; FANTON, C.J.; BENASSI, A.C.; FILHO, J. A.M.; LIMA, I.M.; SANTANA, E.N.; BALBINO, J.M.S.; LANI, J.A.; JULIATTI, J.C.; GROBÉRIO, J.C.; TEIXEIRA, C.L.; SCARDINI, C.J.S.R.; FERRÃO, L.M.V.F.; RODRIGUES, L.; CÓ, S.M.; SANSON, D.; MARRÉ, M.; MUZZI, E.M.; BARBOSA, N.A.; CHEQUETTO, E.; SPERANDIO, A.L.; PACHECO, E.; TEIXEIRA, A.C.B.; TOSO, J.A.; BONATTOO, A.; CARVALHO, C.S.; DIAS, E.R.; MARRÉ, W.B.; HATUM, L.C.; NASCIMENTO, V.; COMÉRIO, A.; CORDEIRO, W.L.; SOUZA, J.V.; MOURA, A.G.P.; TOREZANI, A.C.; BURNIER, P.C.; LOSS JUNIOR, J.C.; BERTAZO, C.L.; PIEDADE, A.L.; FRIGINI, J.M.N. **Polo de pinhão manso do estado do Espírito Santo**. INCAPER, 2001. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/sistemas/servicos/images/folder_polo_pinhao.pd> Acesso em: 29 jan. 2015.

GONÇALVES, M.F.; EVANGELISTA, F.R. Os descompassos do programa nacional de produção e uso de biodiesel (PNPB) no Nordeste. **Anais... XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural-SOBER**, 2008, Rio Branco.

GUERRA, Rodrigo. **Medida provisória eleva percentual de biodiesel no óleo diesel**. MCTI, 2014. Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/noticias/-/asset_publisher/lqV53KMvD5rY/content/medida-provisoria-eleva-percentual-de-biodiesel-no-oleo-diesel;jsessionId=26A4D918B25CF8282FAAF8C67C805080> Acesso em: 03 mai. 2015.

JINGURA, R. M.; MATENGAIFA, R.; MUSADEMBA, D.; MUSIYIWA, K. Characterisation of land types and agro-ecological conditions for production of *Jatropha* as a feedstock for biofuels in Zimbabwe. **Biomass and Bioenergy**, v.35, n.5, p.2080-2086, 2011.

JUHÁSZ, A.C.P.; PIMENTA, S.; SOARES, B.O.; MORAIS, D.L.B.; RABELL, H.O. Biologia floral e polinização artificial de pinhão-manso no norte de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.9, p.1073-1077, 2009.

KAHN, Suzana, AZEVEDO, Tasso. **A nova realidade da mudança climática**. 2013. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/pdf/nova-realidade-mudanca-climatica.pdf>> Acesso em: 20 jan. 2015.

KALAJI, H.M.; GOLTSEV, V.; BOSA, K.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; STRASSER, R.J.; Govindjee. Experimental in vivo measurements of light emission in plants: a perspective dedicated to David Walker. **Photosynthesis Research**, v.114, n.2, p. 69-96, 2012.

KIILL, L. H. P.; COSTA, J. G. Biologia floral e sistema de reprodução de *Annona squamosa* L. (Annonaceae) na região de Petrolina-PE. **Ciência Rural**, v.33, n.5, p.851-85, 2003.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.

LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L.; MENDONÇA, S.; ROSADO, T. B.; ALBRECHT, J. C. Caracterização morfo-agronômica do banco de germoplasma de pinhão manso na fase jovem. **Bioscience Journal**, v.27, n.3, p.371-379, 2011.

LEITE, R.C.C.; LEAL, M.R.L.V. **O biocombustível no Brasil**. Novos Estudos, n.78, p.15-21, 2007.

- LIMA, P.C.R. **Biodiesel: um novo combustível para o Brasil**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, 2005. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1141>> Acesso em: 15 jan. 2015.
- MACHADO, E. C.; SCHIMDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.
- MCCORNICK, R.L. The impact of biodiesel on pollutant emissions and public health. **Inhalation toxicology**, v.19, p.1033-1039, 2007.
- PETROBRAS. **Biocombustíveis: 50 Perguntas e Respostas sobre este novo mercado**. Ministério das Minas e Energia. 2007.
- MORENGO, José A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Ministério do meio ambiente, Brasília, 2006.
- PEZZOPANE, J.E.M.; CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J.R.M.; CECÍLIO, R.A. **Agrometeorologia**: aplicações para o Espírito Santo. Alegre, ES: CAUFES, 2012.
- QUINTERO, V.P.; LÓPEZ, J.L.A.; COLMENERO, A.Z.; COLÍN, C.A.N.; GARCÍA, N.M.; BONILLA, J.L.S.; BECERRIL, M.F.J. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. **Biomass and Bioenergy**. v.60, p.147-155, 2014.
- SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão –manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v.26, n.229, p.44-78, 2005.
- SCHOCK, A.A.; RAMM, A.; MARTINAZZO, E.G.; SILVA, D.M.; BACARIN, M.A. Crescimento e fotossíntese de plantas de pinhão-manso cultivadas em diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.1, p.3-9, 2014.
- SEVERINO, L.S.; BELTRÃO, N.E.M.; JUNQUEIRA, N.; FIDELIS, M.; VELOSO, J.F.; GONÇALVES, N.P.; SATURNINO, H.M.; ROSCOE, R.; GAZZONI, D.; DUARTE, J.O.; DRUMMOND, M. **Pinhão manso: verdades e mentiras**. EMBRAPA, 2007.
- Shaw, R. Linking various aspects of atmospheric change through a systems analysis of food. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.46, p.113-133, 1997.
- SORRELL, S.; MILLER, R.; BENTLEY, R.; SPEIRS, J. Oil futures: a comparison of global supply forecasts. **Energy Policy**, v.38, n.9, p.4990-5003, 2010.
- TÁVORA, Fernando Lagares. **História e Economia dos Biocombustíveis no Brasil**. Centro de Estudos da Consultoria do Senado, 2011.
- TILMAN, D.; COLINA, J.; LEHMAN, C. Carbon-Negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. **Science**, v.314, p.1598-1600, 2006.
- TOLEDO, J.V.; MARTINS, L.D.; KLIPPEL, V.H.; PEZZOPANE, J.E.M.; TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e da mamona (*Ricinus communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v.5, p.41-51, 2009.

UNGARO, M. R. G.; NETO, A. R. Métodos de propagação e germinação de sementes de *Jatropha curcas* L. In: 4^o CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2007, Varginha. **Anais...** - Varginha, 2007, p. 721-725.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v.94, p.1103-1116, 2006.

ZAMARRIPA, A.. **Diversidad genética y potencial agroenergético de *Jatropha curcas* L. en México para la producción de biocombustibles**. Seminario Internacional *Jatropha* Colombia, 19-21 de octubre, Villavicencio, Colombia. 2011.

Capítulo 1

Curso diário da atividade fotoquímica de cinco acessos de *Jatropha curcas* L. cultivadas sob alta radiação e alta temperatura

RESUMO

O pinhão manso é conhecido por ser uma planta tolerante a diferentes estresses e com um alto potencial produtor de óleo para biocombustível. Neste trabalho foram utilizados cinco diferentes acessos de *Jatropha curcas* L. cultivados sob alta radiação e alta temperatura, em pleno verão em Vitória/ES e seus efeitos analisados pela cinética da emissão da fluorescência da clorofila *a*. Todos os acessos apresentaram curva OJIP típica e bandas K e L positivas, isto é, indicativos de danos no Complexo de Evolução de O₂ (CEO) e quebra de conectividade energética nas subunidades do fotossistema II (FSII) em diferentes horários do dia. As plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 foram as únicas que não apresentaram recuperação do CEO e da conectividade das sub-unidades do fotossistema II ao final da tarde. Nessas plantas, ao longo do experimento, foi possível observar um aumento na fluorescência inicial, no tempo máximo para atingir a fluorescência máxima, no rendimento quântico máximo fotoquímico do FSII e no fluxo de energia dissipada por centro de reação ativo, seguido de uma redução da fluorescência máxima em ambos os acessos. A não recuperação desses parâmetros confirma a ocorrência de fotoinibição crônica. Já os acessos NEF 04 e NEF 08 apresentaram uma tendência à recuperação fotossintética ao final da tarde. A recuperação da eficiência fotoquímica, à medida que a radiação e temperatura tornam-se mais amenas, remete a uma fotoinibição dinâmica. O único acesso que não apresentou variação na etapa fotoquímica, apesar da exposição à alta luminosidade, foi NEF 06. Ao observar estes resultados, pode-se concluir que o acesso NEF 06 é o mais propício para regiões de alta radiação solar e altas temperaturas, enquanto que NEF 01 e NEF 05 são mais susceptíveis a fotoinibição.

Palavras chave: Fluorescência da clorofila *a*; pinhão manso; fotoinibição; luminosidade.

Daily course of photochemical activity five *Jatropha curcas* L. accessions grown under high radiation.

ABSTRACT

The *Jatropha* is known to be a tolerant plant to different stresses and with a high potential producer of oil for biofuel. In this work we used five different *Jatropha curcas* L. accession grown under high radiation and high temperature, in midsummer in Vitória / ES and their effects analyzed by the emission kinetics of chlorophyll a fluorescence. All accessions OJIP typical curve and bands K and L positive, that is indicative of damage to the O₂ Evolution Complex (CEO) and the breaking energy connectivity subunits of photosystem II (PSII) at different times of the day. The plants of accession NEF01 and NEF 05 were the ones that did not show recovery of the CEO and connectivity of the subunits of photosystem II in the late afternoon. In these plants, throughout the experiment, we observed an increase in initial fluorescence, the maximum time to peak fluorescence maximum photochemical quantum yield of PSII and flow energy dissipated by RC active, followed by a reduction of maximum fluorescence in both accession. Failure retrieving that data confirms the occurrence of chronic photoinhibition. Have accesses NEF 04 and NEF 08 tended to the photosynthetic recovery in the late afternoon. The recovery of photochemical efficiency as radiation and temperatures become milder, refers to a dynamic photoinhibition. The only access that did not change in the photochemical step, despite exposure to high luminance, was NEF 06. When observing these results, we can conclude that access NEF 06 is more conducive to high solar radiation and high temperature regions, while NEF 01 and NEF 05 are more susceptible to photoinhibition.

Keywords: chlorophyllfluorescence; *Jatropha curcas*; photoinhibition; luminosity.

5.1 INTRODUÇÃO

Estresses abióticos resultam em efeitos negativos sobre o crescimento e desenvolvimento da planta. Tipos diferentes de estresses abióticos tais como: disponibilidade de água (FINI et al., 2013), temperaturas extremas (MATHUR et al. 2014) e alta irradiância (ESSEMINE et al. 2012) são amplamente estudados. Os fatores ambientais que mais afetam o crescimento de uma planta são água e luz, contudo, as condições e alterações da intensidade luminosa a qual uma espécie está condicionada torna-se fundamental nos processos de desenvolvimento e produção (ATROCH et al., 2001).

Fotoinibição pode ser definida como um declínio, induzido por luz, na atividade fotoquímica (OHAD et al., 2011). A fotoinibição ocorre, principalmente, no fotossistema II (FSII), muito embora a fotoinibição do fotossistema I (FSI) também tenha sido relatada em algumas espécies (ORT, 2001; ESSEMINE et al., 2012; TIKKANEN et al., 2014).

O rendimento quântico máximo fotoquímico potencial do FSII ($F_v/F_M = \phi P_0$), a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_M), o tempo máximo para atingir a fluorescência máxima ($T_{f_{max}}$), o fluxo de energia dissipada por RC ativo (DI_0/RC), os índices de desempenho (PI_{abs} e PI_{total}) e os coeficientes de extinção (fotoquímicos e não fotoquímicos) são os parâmetros mais sensíveis e por isso mais usados na identificação da fotoinibição (HAN et al., 2009; OHADA et al., 2011; ESSEMINE et al, 2012; SCHANSKER et al, 2014).

A fotoinibição pode ser classificada como dinâmica ou crônica (LONG et al, 1994; RANJAN et al. 2014). A fotoinibição dinâmica ocorre no horário de maior radiação e temperatura provocando uma redução na eficiência fotoquímica e um desvio do excesso de energia para a dissipação de calor. A redução da radiação e temperatura ao longo do dia permite uma recuperação da atividade fotoquímica (DOS SANTOS et al., 2013 e GUIDI et al., 2014). As alterações causadas por esse tipo de fotoinibição não podem ser caracterizadas como dano e sim como um mecanismo de proteção que permite a dissipação do excesso de energia.

Na fotoinibição crônica a redução da eficiência fotoquímica dá-se pela degeneração da proteína D1 do FSII, sendo causada pela exposição prolongada à alta radiação e temperatura (DOS SANTOS et al., 2013). Kalaji et al. (2014) descrevem que a recuperação desse processo se dá por exposição prolongada à

baixa radiação e temperatura uma vez que, a ausência de luz impossibilita a síntese de ATP necessária para a regeneração da proteína D1.

Jatropha curcas L. é uma planta lenhosa tropical, oleaginosa, pertencente à família Euphorbiaceae, originária da região costeira mexicana (DIAS et al., 2012). Encontrada ao longo dos trópicos e subtropicais das Américas, Ásia e África, ela é considerada um modelo de planta produtora de biodiesel por causa da sua elevada capacidade de armazenar óleo nas sementes (ABDULLA et al., 2011). Devido ao seu potencial produtivo, *J. curcas* tem demandado ampliação das áreas de cultivo e melhoramento de cultivares sendo, a Índia, a líder de cultivo e domesticação dessa espécie (QUINTERO et al., 2014). Dos Santos et al. (2013) identificaram a ocorrência de fotoinibição dinâmica em pinhão manso durante estação seca e fotoinibição crônica em déficit hídrico severo. Porém, Ranjan et al. (2014) não identificaram fotoinibição em plantas de *J. curcas* quando compararam a eficiência fotossintética de folhas jovens (vermelhas) e folhas maduras (verdes).

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo identificar a ocorrência de fotoinibição e alterações no aparelho fotossintético causado pela alta radiação e temperatura. Com isso, espera-se obter melhor entendimento da variabilidade de resposta dos diferentes acessos da espécie *Jatropha curcas* L.

5.2 MATERIAL e MÉTODOS

5.2.1 – Material vegetal e condições de cultivo

O experimento foi conduzido no Campus Universitário de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, E.S(20°18'52"S e 40°19'06"W). Foram analisados cinco acessos de *Jatropha curcas* L., obtidos por estaquia. Dois acessos, identificados como NEF 06 e NEF 08, são resultantes de melhoramento genético do Banco de Germoplasma da Embrapa Bioenergia, cultivados no Campo Experimental do Instituto Federal do Espírito Santo (Campus de Santa Teresa, ES) e, três acessos identificados como NEF 01, NEF 04 e NEF 05 foram obtidos na Área Experimental da Empresa NOVABRA Bioenergia situada em São Gabriel da Palha, região norte do Espírito Santo.

As estacas foram plantadas em vasos plásticos com capacidade para 8 litros, contendo substrato constituído de uma mistura de solo e areia na proporção 3:1 (v/v). As plantas foram mantidas em condição ambiente por seis meses e regadas sempre que necessário para manter o solo em sua capacidade de campo (Figura 1).

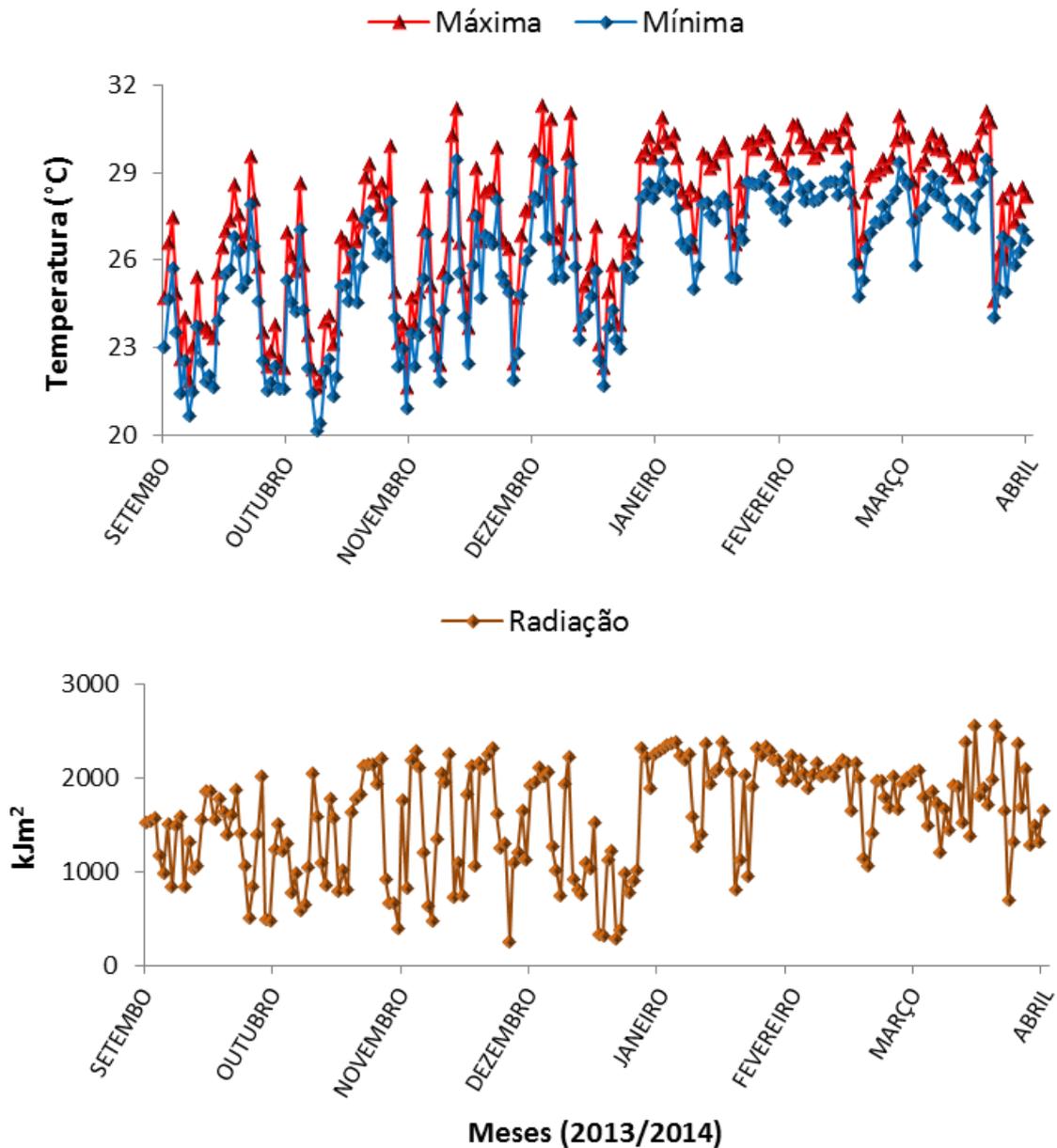


Figura 1- Radiação e temperatura do período experimental. As plantas foram mantidas em condições ambientes na área experimental da UFES (Vitória/E.S) - Fonte: INCAPER (base localizada na Ilha de Santa Maria a 30Km da área experimental) - Lat: 20°31'56 S Long: 40°31'72W.

5.2.2 - Cinética de emissão da fluorescência transiente ou polifásica (OJIP)

Tabela 1 – Parâmetros do teste JIP e sua descrição com base em STRASSER et al. (2000 e 2004); ZIVCAK et al. (2014).

Parâmetros da fluorescência	Descrição
$F_0 = F_{20\mu s}$	Fluorescência inicial (quando todos os centros de reações do FSII estão abertos)
$F_M = F_P$	Fluorescência máxima (quando todos os centros de reações do FSII estão fechados)
Tf_{Max}	Tempo (em ms) para atingir a intensidade máxima de F_M
$F_V = F_M - F_0$	Fluorescência variável
F_V/F_0	Eficiência das reações fotoquímicas do FSII
$\phi P_0 = TR_0/ABS = F_V/F_M$	Rendimento quântico máximo fotoquímico do FSII ($t = 0$)
$\phi E_0 = ET_0/ABS$	Rendimento quântico do transporte de elétrons de QA^- para os aceptores de elétrons do intersistema.
$\Psi E_0 = ET_0/TR_0 = 1 - V_J = \Psi_{ET20}$	Probabilidade (no tempo 0) que um éxciton capturado tem em mover um elétron na cadeia de transporte de elétrons de QA^- para QB .
$\Psi RE_0 = 1 - V_I = \rho R_0 = RE_0/TR_0$	Probabilidade de um éxciton capturado mover-se a partir do FSII reduzido até o FSI.
$\delta R_0 = RE_0/ET_0$	Eficiência com que um elétron pode se mover desde os aceptores de elétrons do intersistema até os aceptores finais do FSI.
$\phi R_0 = RE_0/ABS$	Rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fótons absorvidos.
$ABS/RC = (dV/dt_0/V_J) \times (1/\phi P_0)$	Fluxo de energia absorvida por RC ativo ou tamanho aparente da antena de um centro de reação ativo do FSII
$DI_0/RC = [dV/dt_0/V_J] \times [1/(F_0/F_M)]$	Fluxo de energia dissipada por RC ativo
$ET_0/RC = (dV/dt_0/V_J) \times (1 - V_J)$	Fluxo de transporte de elétrons de QA^- para QB por RC ativo
$TR_0/RC = (dV/dt_0)/V_J$	Fluxo de captura de energia (levando à redução de QA^-) por RC em $t=0$
$PI_{ABS} = (RC/ABS) \times (\phi P_0/(1-\phi P_0)) \times (\Psi E_0/(1-\Psi E_0))$	Índice de performance do FSII
$PI_{total} = PI_{abs} \times (\delta R_0/(1-\delta R_0))$	Índice de performance total (até os aceptores finais de elétrons do FSI)

Os parâmetros da fluorescência transiente da clorofila *a* foram determinados em folhas do segundo/terceiro nó, completamente desenvolvidas através de um fluorômetro portátil (Modelo Handy PEA, Hansatech Instruments, King's Lynn, Norfolk, UK). As medidas foram realizadas entre 7 horas e 17 horas, com intervalo de duas horas. As folhas foram mantidas no escuro por 60 minutos, tempo suficiente para a oxidação completa do sistema fotossintético de transporte de elétrons. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha

pela exposição da amostra a um pulso de luz vermelha (pico 650 nm) numa intensidade de cerca de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As intensidades de fluorescência foram medidas entre 20 μs e 1 s, onde: 20 μs (F_0) e F_M (fluorescência máxima - cerca de 300 ms) foram utilizadas para calcular os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER E STRASSER, 1995; STRASSER et al., 2000) que se baseiam na Teoria de Fluxo de Energia em Biomembranas (STRASSER et al., 2004) (Tabela 1). Após a normalização dos dados, foi possível representar o transporte de elétrons na etapa fotoquímica.

5.2.3– Índices de Clorofila

Os teores de clorofila foram mensurados, nas mesmas folhas utilizadas para medir a fluorescência da clorofila *a*, utilizando-se um medidor portátil (SPAD 502, Minolta Camera Co., Osaka, Japão). As leituras foram feitas em duas folhas por planta, e o resultado expresso como a média de 10 medições na mesma folha, descritos como índice de clorofila, unidades SPAD (PLOSCHUK et al. 2014).

5.2.4 – Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado. O horário de 07 horas foi utilizado como referência para normalização dos dados, visto que, no início da manhã a temperatura (min. 21,3^o e max. 22,9^o) e radiação (81,9 kJm^{-2}) foram mais amenas em relação aos demais horários. Todo o experimento foi conduzido com quatro repetições biológicas independentes. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando os valores de F foram significativos, uma comparação de médias foi realizada usando-se o teste de Tukey, em nível de 5%, utilizando o programa para análises estatísticas Assistat 7.7 beta (2008).

5.3 RESULTADOS

Durante as análises foi possível verificar que a temperatura e radiação (Figura 2) no início da manhã foram as mais amenas (23^oC e 81,04 kJm^{-2}). A partir de 8 horas foi possível verificar que uma curva ascendente esta sendo apresentada, sendo às 13 horas o maior valor registrado (3.817 kJm^{-2}). Entretanto, a partir de 14

horas a radiação apresentou uma redução. O mesmo não foi observado para a temperatura que, entre 9 e 18 horas, se manteve elevada (28°C á 33°C) (Figura 2).

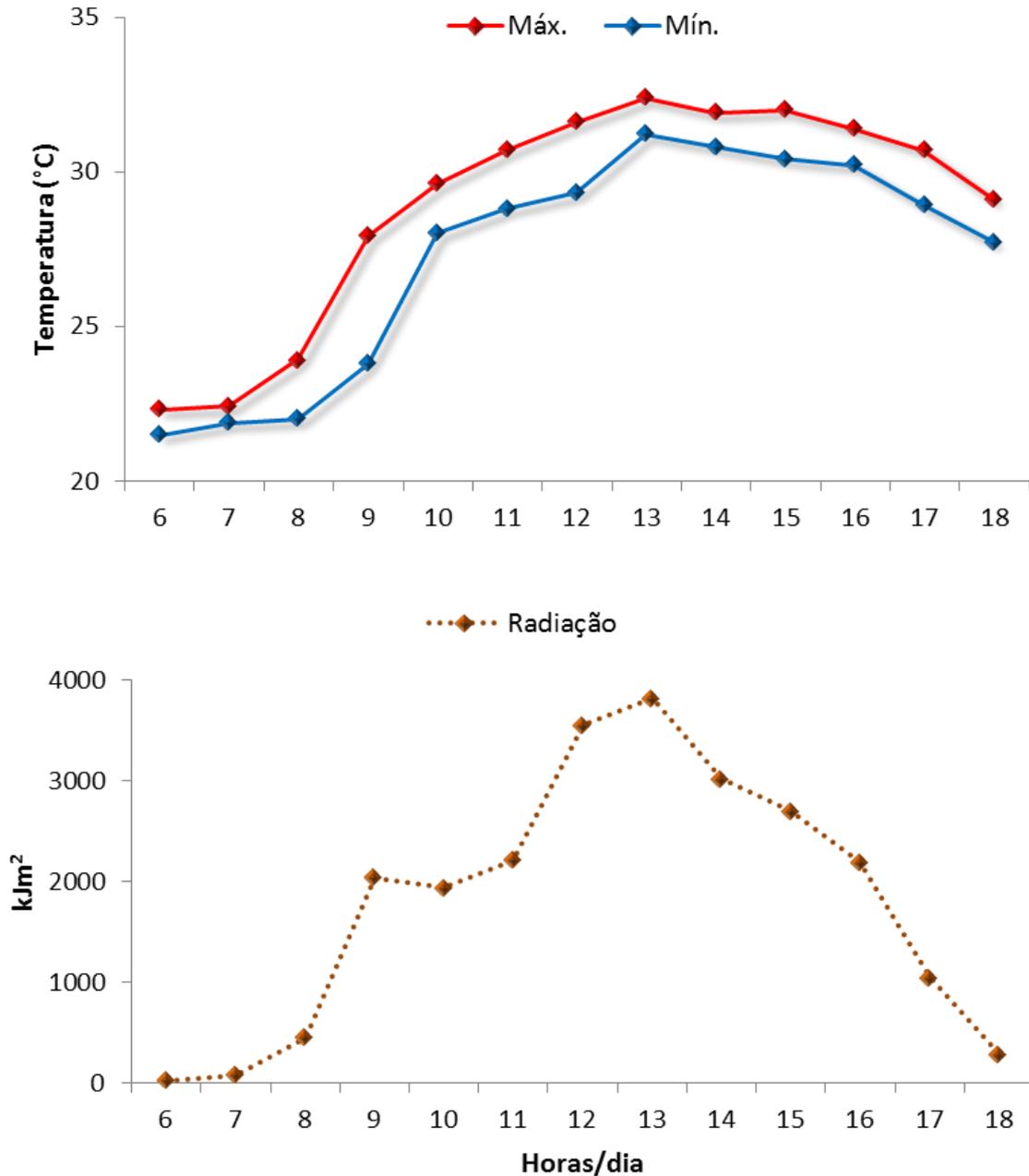


Figura 2- Curva diária de radiação e temperatura registrada em Vitória/E.S no período experimental. Fonte: INCAPER (base localizada na Ilha de Santa Maria a 30Km da área experimental) - Lat: 20°31'56 S Long: 40°31'72W.

A análise dos dados de clorofila indicou diferenças significativas entre os acessos de pinhão manso utilizados neste experimento (Figura 3). As plantas do acesso NEF 06 apresentavam o maior índice de clorofila (39,59 unid. SPAD) enquanto as plantas do acesso NEF 05 apresentaram o menor índice (31,91 unid. SPAD).

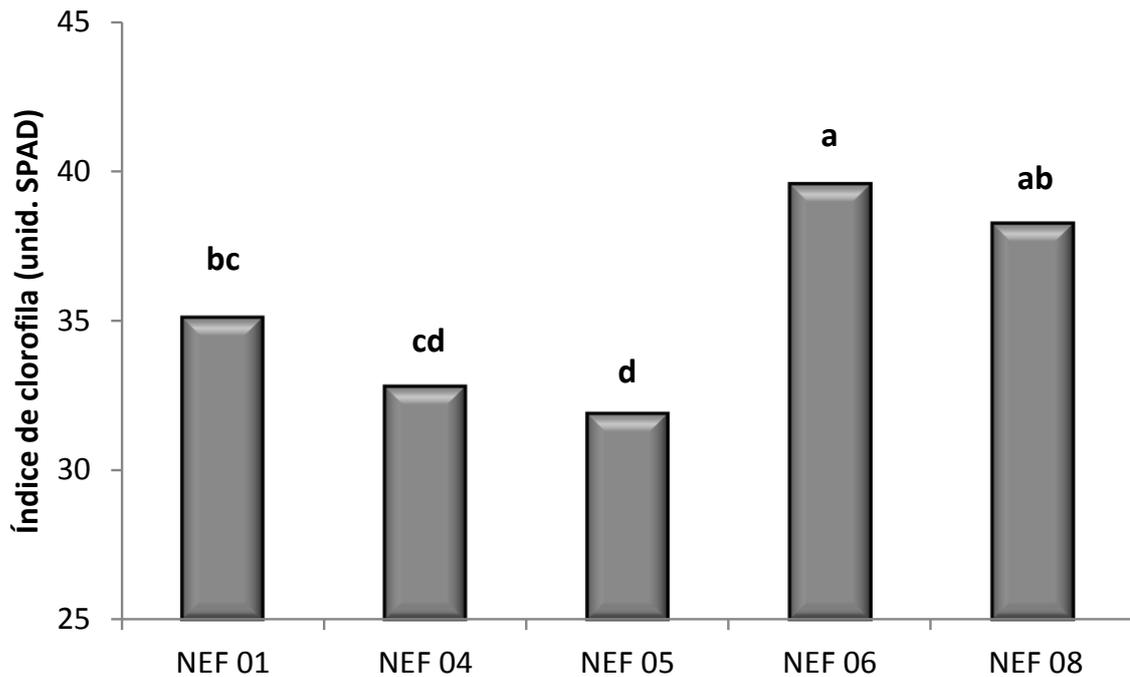


Figura 3- Índice de clorofila (unid. SPAD), de folhas jovens totalmente expandidas de cinco acessos de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivados no campo experimental da Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória, ES. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. (n=10)

O aumento da radiação e da temperatura ao longo do dia afetou a fluorescência transiente OJIP dos acessos analisados (Figura 4). Foi possível verificar que a curva polifásica apresenta alterações na sua homogeneidade (Figura 4A-E). Através da fluorescência variável relativa (ΔV_{OP}) observou-se que em todos os acessos houve diferenças positivas à medida que a radiação solar e a temperatura aumentaram (de 9 às 15h) (Figura 4F-J).

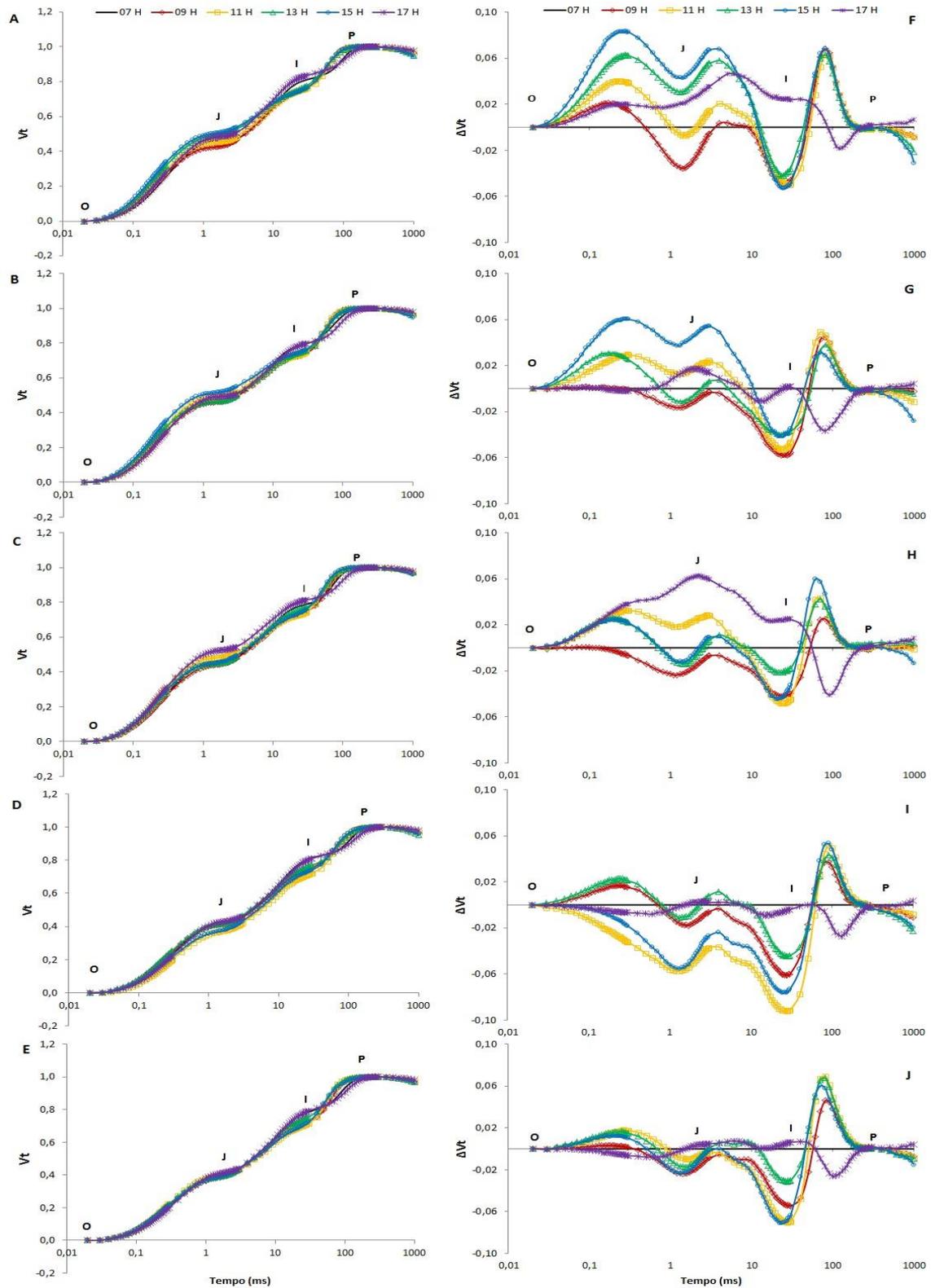


Figura 4- Fluorescência variável relativa obtida como $V_{OP}=[F_t-F_0]/[F_M-F_0]$ (A-E) e a diferença cinética da fluorescência variável (F-J) obtida como $\Delta V_{OP}=V_{OP[\text{horário}]} - V_{OP[\text{referência}]}$ das plantas de cinco acessos de *Jatropha curcas* L. NEF 01- A e F; NEF 04- B e G ;NEF 05- C e H; NEF 06- D e I; NEF 08- E e J.O horário de 07h foi usado como referência (= 1). O tempo de um segundo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8)

Na figura 5 é possível verificar que a combinação do aumento da radiação e da temperatura também induziu o aparecimento significativo de bandas K (Figura 5A e C) e L (Figura 5F e H) nos acessos NEF 01 e NEF 05 em todos os horários. Em NEF 04 (Figura 5B e G) e NEF 08 (Figura 5E e J) as bandas foram positivas entre 7 e 15 horas. Contudo o acesso NEF 06 não apresentou diferença significativa para a banda K (Figura 5D) e L (Figura 5J).

As variações dos parâmetros do teste JIP são apresentadas nas figuras 6. O valor de cada parâmetro foi normalizado tomando-se como referência o horário de 7 horas da manhã visto que, neste horário, os acessos apresentaram os menores valores absolutos de F_0 e os maiores valores absolutos de F_m , F_v/F_m e F_v/F_0 .

A fluorescência inicial (F_0) nas plantas do acesso NEF 01 aumentou 15% às 9h chegando a 36% às 15h (Figura 6A). As plantas do acesso NEF 04 e NEF 05 tiveram um aumento de F_0 em torno de 23% às 11h chegando a 35% às 15h (Figura 6 B-C). A exceção aconteceu nas plantas do acesso NEF 06 onde ocorreram pequenas variações, porém em nenhum dos horários houve diferenças significativas quando comparadas com o horário tomado como referência (Figura 6D).

A partir das 9 h da manhã houve uma queda gradativa de F_m em todos os acessos. Nas plantas do acesso NEF 08 (Figura 6E) essa redução se deu em todos os horários (9 às 17h), em NEF 04 de 9 às 15h (Figura 6B), em NEF 06 (9-13h) (Figura 6D), em NEF 05 a queda em F_m ocorreu às 9 e às 15h (Figura 6E) e em NEF 01 (Figura 6A) somente nos horários de maior radiação e temperatura (13 e 15h). O aumento de F_0 em conjunto com a queda de F_m pode ser facilmente visualizado nos valores da fluorescência variável (F_v) onde as menores diferenças foram encontradas em NEF 08 (9-17h), seguindo por NEF 01, NEF 04 e NEF 05 (9 -15h) e em NEF 06 somente das 9h às 13h.

Ao longo do dia o rendimento quântico máximo potencial do FSII ($F_v/F_M = \phi P_0$) caiu gradativamente desde as 9h até a última medida (17h) em NEF 04 e 05, no horário de maior estresse de luz e temperatura em NEF 01 (13-15h), somente as 13h em NEF 06 e às 15h em NEF 8. A eficiência das reações de óxido-redução (F_v/F_0) foram similares aos resultados de F_v/F_M para NEF 06 (Figura 6D).

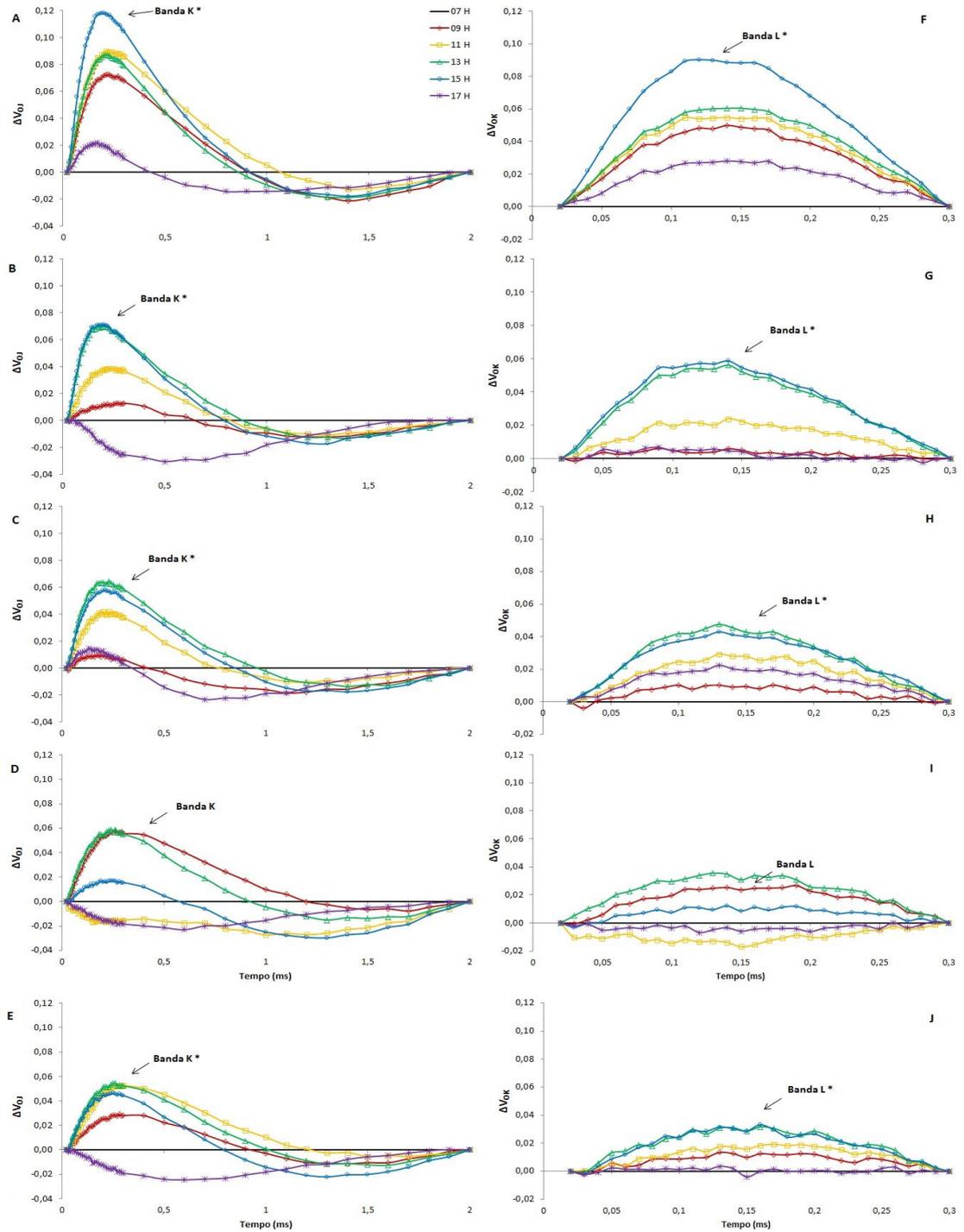


Figura 5- Diferenças cinéticas da fluorescência variável relativa (ΔV_t) evidenciando o aparecimento da banda K ($\Delta V_{OJ}=(\Delta V_{OJ}(\text{tratamento}))-(\Delta V_{OJ}(\text{referência}))$) – A (NEF 01); B (NEF 04); C (NEF 05); D (NEF 06) e E (NEF 08), banda L ($\Delta V_{OK}=(\Delta V_{OK}(\text{tratamento}))-(\Delta V_{OK}(\text{referência}))$) – F (NEF 01); G (NEF 04); H (NEF 05); I (NEF 06) e J (NEF 08) e banda G - K (NEF 01); L (NEF 04); M (NEF 05); N (NEF 06) e O (NEF 08) durante as análises realizadas em plantas de cinco acessos de *J. curcas*. A medidas realizada às 7 horas foi considerada como referência (= 0) e as seguintes como tratamentos. * diferença estatística entre os horários avaliados pelo teste de Tukey à 5%. O tempo está representado em escala logarítmica (ms). (n=8)

O tempo para atingir F_m ($T_{f_{max}}$), que é um parâmetro descritivo usado para estimar o tempo para atingir o máximo de fluorescência, foi alcançado em cerca de 250 ms às 7h da manhã, mas mostrou uma tendência interessante ao longo do dia. Durante a segunda medição (9h), sofreu uma redução em NEF 01, NEF 04 e NEF 05 de cerca de 20%. Às 13 horas, quando a radiação solar atingiu 3.817 kJ m^{-2} , todos os acessos apresentaram redução significativa de $T_{f_{max}}$. Ao final da tarde (17 h), as plantas dos acessos NEF 04 e NEF 08 apresentaram os valores de $T_{f_{max}}$ próximo aos valores das 07 h da manhã e em NEF 01 e NEF 05 estes valores foram cerca de 30% maiores do que o valor referência.

As alterações nos parâmetros funcionais também apresentaram diferenças significativas entre os acessos. O fluxo de absorção (pelas clorofilas das antenas) por centro de reação ativo (ABS/RC) aumentou 31% nas plantas de NEF 01 e 20% em NEF 04, a taxa de dissipação por centro de reação ativo (DI_0/RC) chegou a 107% em NEF 01, 76% em NEF 04 e cerca de 40% em NEF 05 e 08 às 15 horas.

A eficiência do transporte de elétrons na cadeia de transporte ($\psi E_0 = ET_0/TR_0$) reduziu-se em todos os acessos, com exceção de NEF 06 onde não houve variação ao longo do dia.

O índice de desempenho do FSII (PI_{abs}) sofreu uma queda pronunciada em todos os acessos, porém merecem destaque as plantas dos acessos NEF 01 e NEF 04 com uma redução de cerca de 61% e 46%, respectivamente, às 13h. Observa-se também que houve uma tendência de recuperação às 17h nas plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 enquanto que em NEF 04 e NEF 08 os valores alcançaram os níveis iniciais, isto é, valores muito semelhantes àqueles das 7h da manhã.

Para NEF 06, às 17 horas, o rendimento no transporte de elétrons de Q_A para os aceptores do intersistema (ϕE_0), o rendimento e a eficiência no transporte de elétrons para o FSI (ϕR_0 e δR_0) foram os mesmos que o horário de referência (Figura 6D).

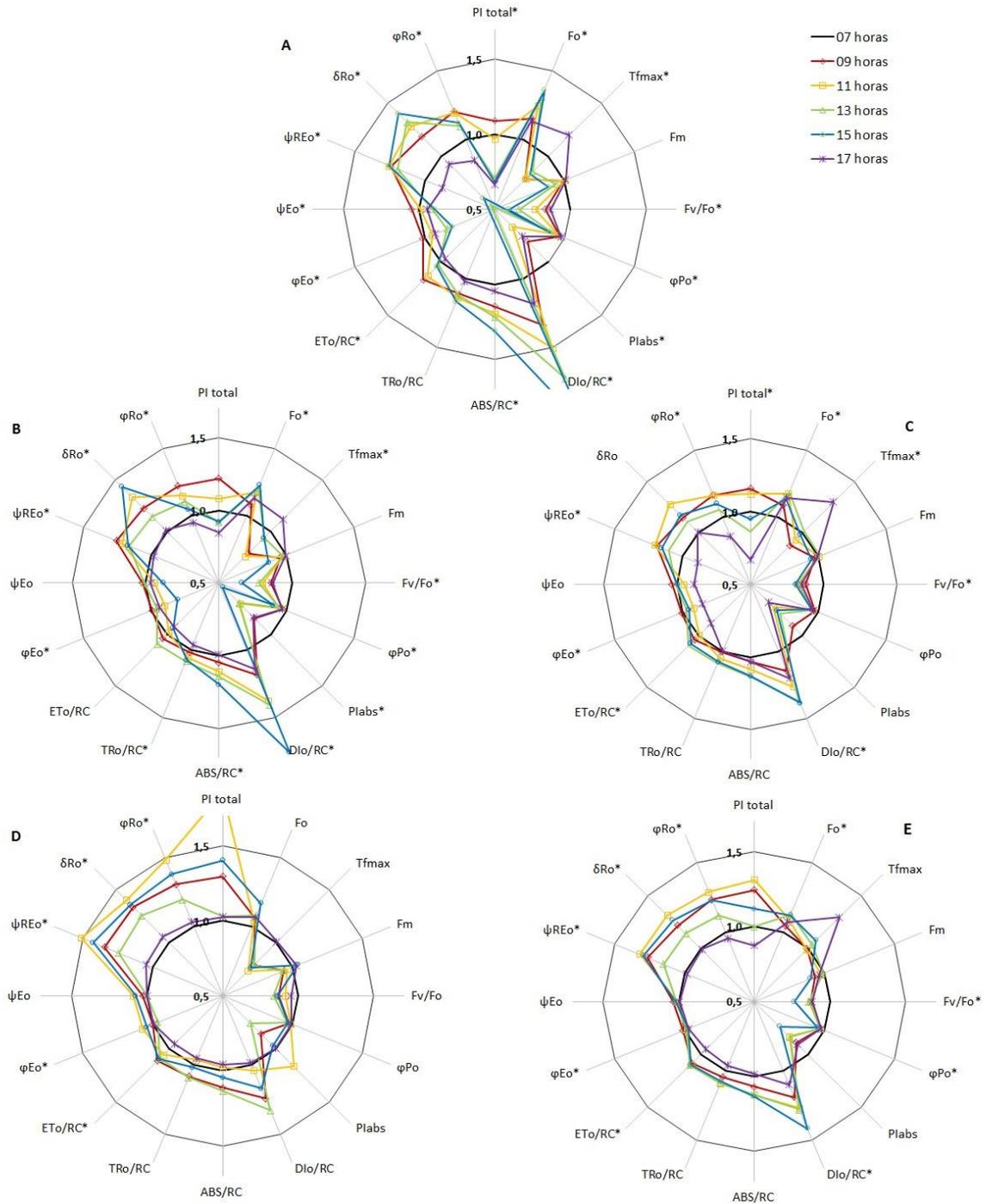


Figura 7- Parâmetros derivados do Teste JIP dos transientes de fluorescência mostrados na figura 3, para quantificar o desempenho fotoquímico de plantas de cinco acessos de pinhão manso. A = NEF 01; B = NEF 04; C = NEF 05; D = NEF 06 E = NEF 08. Os valores foram normalizados usando como referência (igual à unidade) os resultados obtidos às 7 horas da manhã. * diferença estatística entre os horários de cada acesso pelo Teste de Tukey, $p < 0,05$. (n=8)

De modo bem similar, o índice de desempenho total (PI_{total}) também teve uma queda ao longo do dia porém nota-se que inicialmente houve um melhor desempenho às 9h em NEF 01, continuou aumentando em NEF 04 e NEF 05 às 11h e nas plantas dos acessos NEF 08 houve aumento e quedas ao longo do dia porém com tendência de aumento ao longo da manhã e queda somente após às 15h (Figura 8). Para NEF 06 foi possível verificar um aumento às 11 horas, seguida de uma queda acentuada, porém o seu desempenho, ao fim da tarde, foi equivalente ao horário de referência.

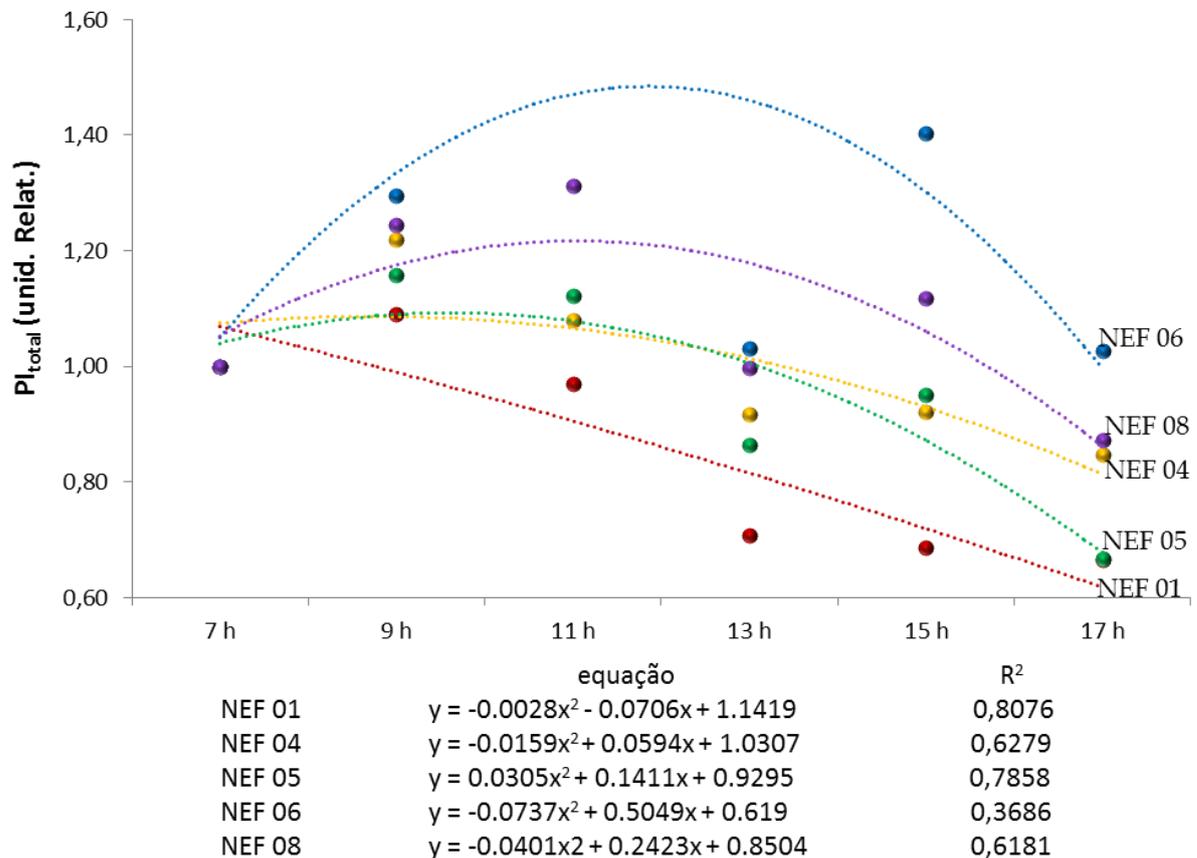


Figura 8 - Curva diária do Índice de desempenho total (PI_{total}) dos cinco acessos de *Jatropha curcas* L. cultivadas sob alta radiação e temperatura. (n=8)

5.4 DISCUSSÃO

A variação diurna dos transientes OJIP evidenciou as diferenças de sensibilidade à radiação/temperatura entre os cinco acessos da espécie *Jatropha curcas*. Um aumento rápido do passo J nas curvas OJIP da fluorescência da clorofila a foi observada quando os acessos NEF 01, NEF 04 e NEF 05 foram expostos à alta luminosidade e altas temperaturas, enquanto nenhuma mudança notável na fluorescência transiente OJIP foi detectada no acesso NEF 06.

Um aumento no nível do passo J é geralmente interpretado como indicativo de uma desaceleração do transporte de elétrons para além Q_A . De fato, o fluxo de transporte de elétrons (para além de Q_A^-) por $RC(ET_0/RC)$ aumentou em todos os acessos até às 15h e caiu somente nas plantas do acesso NEF 05 ao final da tarde, quando então a luminosidade e a temperatura eram mais amenas. No entanto, é bem conhecido que, em condições de alta luminosidade, sob exposição ao sol, por exemplo, as plantas têm geralmente menores dimensões da antena do FSII (LICHTENTHALER, 1985). Por outro lado, em condições de pouca luz, em um ambiente sombreado, as plantas têm maior tamanho da antena do FSII. Nossos resultados são semelhantes ao encontrados por Zivcak et al. (2014) em seu trabalho com proteínas. Os autores observaram alterações na quantidade de proteínas das antenas periféricas do FSII (as principais proteínas das antenas periféricas) em resposta às condições de alta luminosidade.

É fato comprovado que na fotossíntese, os pigmentos localizados nos cloroplastos da folha absorvem a radiação solar e, através da transferência energética, a excitação resultante é canalizada para os centros de reação. Estes, então ativados, liberam os elétrons para iniciar o processo fotoquímico (CURRAN et al., 1990; RICHARDSON et al., 2002; HALLIK et al., 2012). As plantas do acesso NEF 06 apresentaram os maiores índices de clorofila quando comparadas com as plantas dos outros quatro acessos deste experimento e, realmente as plantas desse acesso foram as que apresentaram melhor desempenho do FSII e do FSI. Porém esses teores de clorofila na planta não podem ser relacionados ao seu desempenho fotoquímico, uma vez que, o tamanho da antena (ABS/RC) é uma determinante mais importante da intensidade de fluorescência máxima do que o conteúdo clorofila na folha (DINÇ et al., 2012).

Somam-se a esses resultados os valores de F_0 . A fluorescência inicial é considerada como referência para a distribuição inicial de energia e a eficiência de

excitação capturada no FSII. O valor de F_0 aumenta quando o número de clorofilas funcionais, não ligadas aos RCs do FSII, aumenta. Assim, um aumento de F_0 pode ser interpretado como uma dissociação do núcleo dos complexos coletores de luz (LHCII) do FSII gerando um dano ao FSII (ČAJÁNEK et al., 1998).

Os acessos NEF 01 e NEF 05 apresentaram banda K positiva em todos os horários analisados. Mathur et al. (2014) e Fisher et al. (2006) descrevem a banda K como uma resposta à alta temperatura podendo também estar associada à alta luminosidade, causando a inibição do centro de evolução do oxigênio (CEO) e a ocorrência de uma mudança na estrutura do complexo antena do FSII. Ora, o FSII é reconhecido por ser um sistema com elevada susceptibilidade a danos provocados pela alta radiação, fato comprovado pelo aumento de F_0 , $T_{f_{max}}$ e uma redução F_v/F_0 em ambos os acessos.

O declínio do valor F_v/F_M também é um bom parâmetro para acompanhar a inativação dos RC do FSII, pois está ligado à perda da capacidade de evolução do oxigênio, sendo provocado, também, pela fotoinibição (SCHANSKER et al., 2014).

A alta luminosidade e temperatura ao longo do dia alteraram a eficiência do FSII, isto é, houve um rompimento de conectividade energética das subunidades do FSII nos acessos NEF01, NEF 04, NEF 05 e NEF 08 que apresentaram banda L positiva em todos os horários analisados. Porém, mesmo com a elevação de DI_0/RC , indicando a eficiência na dissipação do excesso de energia durante todos os horários analisados o transporte de elétrons foi bloqueado. Houve queda de ET_0/ABS , da eficiência no transporte (δR_0) e eficiência quântica (ϕR_0) do FSI. Resultado semelhante foi encontrados por Adamski et al. (2011) em seu trabalho com estresse de ferro. Para os autores a dose de 9,00 mM de Fe provocou a diminuição da conectividade energética das subunidades do FSII em plantas de *Ipomoea batatas* L.. Considerando que as unidades do FSII estão ligadas ao centro de reação e ao complexo antena do FSII, é fácil compreender que a quebra dessas conexões diminuiu a eficiência das reações de óxido-redução nas etapas iniciais das reações fotoquímicas comprometendo inclusive as reações finais no FSI (STIRBET, 2013).

Os acessos NEF 04 e NEF 08 apresentaram banda K positiva no período de 7 às 15 h., contudo, às 17 horas essa banda tornou-se negativa, confirmando uma tendência de recuperação da atividade do CEO. Resultados similares foram obtidos por Marengo et al. (2007), em plantas de *Coussapoa orthoneura* e *Protium opacum*

ao se recuperarem ao final do dia, quando a irradiância diminuiu. Os autores identificaram esse comportamento como uma fotoinibição dinâmica. A ocorrência de fotoinibição dinâmica em plantas de *J. curcas* quando cultivadas sob alta radiação também foi registrada por Dos Santos et al. (2013). Essa recuperação é sustentada pela observação do aumento de F_M , ϕP_0 , F_V/F_0 para ambos os acessos e o Tf_{max} e PI_{abs} .

Em contraste com os resultados sobre o tamanho aparente da antena, a cadeia de transporte de elétrons foi fortemente afetada pelos níveis de luz no decorrer do dia. Os dados sobre a análise da indução da fluorescência rápida (STRASSER et al., 2000, 2004) mostram que os parâmetros atribuídos para a probabilidade de transferência de elétrons a partir de Q_A reduzida para Q_B (ψE_0) e a probabilidade de transferência de elétrons a partir de Q_A para o FSI ($ET_0/TR_0 = \rho R_0$) variaram mais nos horários de maior radiação do que no início e final do dia.

As plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 apresentaram banda K e L, baixa eficiência na captura e transferência de elétrons para além de Q_A (TR_0/RC e ET_0/RC) e baixo PI_{ABS} . O aparecimento destes danos, sem recuperação ao final do dia, evidencia a ocorrência de fotoinibição crônica. Resultados semelhantes já haviam sido encontrados por Dos Santos et al. (2013) em plantas de *J. curcas* cultivadas sob estresse de hídrico severo, em que as plantas tiveram uma queda em F_V/F_M (ϕP_0), sem haver recuperação após o estresse.

As plantas do acesso NEF 06 também apresentaram bandas positivas e um decréscimo de F_M e Tf_{max} . Porém essas variações ocorreram em diferentes horários sem uma linearidade. A banda L e banda K foram positivas às 7, 9, 13 e 15 horas. Às 11 e às 17 horas essa banda foi negativa, mostrando que houve atividade moderada no complexo de evolução de O_2 (CEO) e uma total recuperação no fim da tarde, assim como uma melhor estabilidade do fotossistema II (STRASSER et al., 2004; YUSUF et al., 2010). Além disso foi possível verificar que mesmo com uma redução de F_M e Tf_{max} , os valores PI_{ABS} e PI_{total} não tiveram variações significativas ao longo do dia.

A alta radiação associada às altas temperaturas ao longo do dia influenciou negativamente a atividade FSII nas plantas de pinhão manso provenientes de diferentes regiões geográficas. Esses efeitos foram dependentes do acesso testado uma vez que houve alterações nas variáveis da fluorescência transiente da clorofila a que caracterizam a atividade do FSII e FSI.

Os resultados relatados aqui nos permitiram determinar as variáveis de fluorescência da clorofila a relacionadas ao fluxo de energia dentro de FSII e sugerir PI_{ABS} como um indicador dos efeitos das variações de luz e temperatura, comuns nas regiões de cultivo do pinhão manso. Sendo assim, entre os cinco acessos analisados, NEF 06 é o mais propício para ambientes de alta radiação e temperatura, não apresentando processos fotoinibitórios e com mecanismos de proteção altamente especializados. As plantas dos acessos NEF 01 e NEF 05 são mais sensíveis a ambientes quentes e com alta luminosidade, apresentando fotoinibição crônica quando expostos a essas condições.

5.5 REFERÊNCIAS

- ABDULLA, R.; CHAN, E. S.; RAVINDRA, P. Biodiesel production from *Jatropha curcas*: a critical review. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.31, n.1, p.53-64, 2011.
- ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v.168, n.17, p.2056-2062, 2011.
- ATROCH, E. M. A. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M. *Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de Bauhinia forticata Link submetidas a diferentes condições de sombreamento*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.4, p.853-862, 2001.
- CAJÁNEK, M.; ŠTROCH, M.; LACHETOVÁ, I.; KALINA, J.; SPUNDA, V.. Characterization of the photosystem II inactivation of heat-stressed barley leaves as monitored by the various parameters of chlorophyll a fluorescence and delayed fluorescence. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v.47, p.39-45, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134498001973>> Acesso em 15 jan. 2015.
- CHEN, I.-S.; CHEN, L. Photosystem 2 is more tolerant to high temperature in apple (*Malus domestica* Borkh.) leaves than in fruit peel. **Photosynthetica**, v.47, n.1, p.112-120, 2014.
- CURRAN, P.J.; DUNGAN, J.L.; GHOLZ, H.L. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. **Tree Physiology**, v.7, p.22-48, 1990.
- DIAS, L.A.S.; MISSIO, R.F.; DIAS, D.C.F.S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**. v.11, n.3, p.2719-2728, 2012.

- DINÇ, E.; CEPPI, M.G.; TÓTH, S.Z.; BOTTKA, S.; SCHANSKER, G. The chl a fluorescence intensity is remarkably insensitive to changes in the chlorophyll content of the leaf as long as the chl a/b ratio remains unaffected. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1817, n.5, p.770-779, 2012.
- DOS SANTOS, C.M.; VERISSIMO, V.; FILHO, H.C.L.W.; FERREIRA, V.M.; CAVALCANTE, P.G.S.; ROLIM, E.V.; ENDRES, L. Seasonal variations of photosynthesis, gas exchange, quantum efficiency of photosystem II and biochemical responses of *Jatropha curcas* L. grown in semi-humid and semi-arid areas subject to water stress. **Industrial Crops and Products**. v.41, p.203-213, 2013.
- ESSEMINE, J.; GOVINDACHARY, S.; JOLY, D.; AMMAR, S.; BOUZID, S.; CARPENTIER, R. Effect of moderate and high light on photosystem II function in *Arabidopsis thaliana* depleted in digalactosyl-diacylglycerol. **Biochimica et Biophysica Acta**. v.1817, n.8, p.1367-1373, 2012.
- FINI, A.; BELLASIO, C.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M.; FERRINI, F. Water relations, growth, and leaf gas exchange as affected by water stress in *Jatropha curcas*. **Journal of Arid Environments**, v.89, p.21-29, 2013.
- FISHER, R.A.; WILLIAMS, M.; DO VALE, R.L.; DA COSTA, A.L.; MEIR, P. Evidence from Amazonian forests is consistent with isohydric control of leaf water potential. **Plant Cell Environment**. V.29, n.2, p.151-165, 2006.
- GUIDI, L.; CALATAYUD, A. Non-invasive tools to estimate stress-induced changes in photosynthetic performance in plants inhabiting Mediterranean areas. **Environmental and Experimental Botany**, v.103, p.42-52, 2014.
- HALLIK, L.; NIINEMETS, U.; KULL, O. Photosynthetic acclimation to light in woody and herbaceous species: a comparison of leaf structure, pigment content and chlorophyll fluorescence characteristics measured in the field. **Plant Biology**, v.14, n.1, p.88-99, 2012.
- HAN, Shuang; TANG, Ning; JIANG, Huan-Xin; YANG, Lin-Tong; LI, Yan; CHEN, Li-Song. CO₂ assimilation, photosystem II photochemistry, carbohydrate metabolism and antioxidant system of citrus leaves in response to boron stress. **Plant Science**, v. 176, p. 143-153, 2009.
- KALAJI, H.M.; SCHANSKER, G.; LADLE, R.J.; GOLTSEV, V.; BOSA, K.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; BRESTIC, M.; BUSSOTTI, F.; CALATAYUD, A.; DA BROWSKI, P.; ELSHEERY, N.I.; FERRONI, L.; GUIDI, L.; HOGEWONING, S.W.; JAJOO, A.; MISRA, A.N.; NEBAUER, S.G.; PANCALDI, S.; PENELLA, C.; POLI, D.B.; POLLASTRINI, M.; ROMANOWSKA-DUDA, Z.B.; RUTKOWSKA, B.; SERÔDIO, J.; SURESH, K.; SZULC, W.; TAMBUSI, E.; YANNICCARI, M.; ZIVACK, M. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. **Photosynthesis Research**, v.122, n.2, p. 121-158, 2014.
- LICHTENTHALER, H. Differences in morphology and chemical composition of leaves grown at different light intensities and qualities. In: Baker NR, Davies WJ, Ong CK (eds) Control of leaf growth. Cambridge University Press, Cambridge, p. 201-221, 1985.
- 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.

- MARENCO, R.A.; NEVES, T.S.; CAMARGO, M.A.B.; DIAS, D.P.; DA COSTA, G.F.; RODRIGUES, J.C. Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.150-152, 2007.
- MATHUR, S.; AGRAWAL, D.; JAJOO, A. Photosynthesis: Response to high temperature stress. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v.137, p.116-126, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1011134414000190>> Acesso em 30 dez. 2014.
- MORALES-FLORES, F.; AGUILAR, M. I.; KING-DÍAZ, B.; LOTINA-HENNSEN, B. Derivatives of diterpen labdane-8a, 15-diol as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts and growth plant inhibitors. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, v.125, p.42-50, 2013.
- OHADA, I., BERG, A., BERKOWICZ, S. M., KAPLAN, A., KEREN, N. Photoinactivation of photosystem II: is there more than one way to skin a cat?. **Physiologia Plantarum**, v.142, n.1, p.79-86, 2011.
- ORT, D.R. When there is too much light. **Plant Physiology**, v.125, n.1, p.29-32, 2001.
- PLOCHUK, E. L.; BADO, L. A.; SALINAS, M.; WASSNER, D. F.; WIDAUER, L. B.; INSAUST, P. Photosynthesis and fluorescence responses of *Jatropha curcas* to chilling and freezing stress during early vegetative stages. **Environmental and Experimental Botany**, v.102, p.18-26, 2014.
- QUINTERO, V.P.; LÓPEZ, J.L.A.; COLMENERO, A.Z.; COLÍN, C.A.N.; GARCÍA, N.M.; BONILLA, J.L.S.; BECERRIL, M.F.J. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. **Biomass and Bioenergy**, v.60, p.147-155, 2014.
- RANJAN, S.; SINGH, R.; SINGH, M.; PATHRE, U.V.; SHIRKE, P.A. Characterizing photoinhibition and photosynthesis in juvenil-red versus mature-green leaves of *Jatropha curcas* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.79, p.48-59, 2014.
- RICHARDSON, A.D.; DUGAN, S.P.; BERLYN, G.P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v.153, p.185-194, 2002.
- SCHANSKER, G.; THÓT, S.Z.; HOLZWARTH, A.R.; GARAB, G. Chlorophyll a fluorescence: beyond the limits of the QA model. **Photosynthesis Research**, v.120, p.43-58, 2014.
- STIRBET, A. Excitonic connectivity between photosystem II units: what is it, and how to measure it?. **Photosynthesis Research**, v.116, p.189-214, 2013.
- STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. *Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test*. In: P. Mathis, (ed.) **Photosynthesis: from Light to Biosphere**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 1995. pp. 977– 980.
- STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. *The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples*. In: M. Yunus, U. Pathre, and P. Mohanty, eds. (Eds.), **Probing Photosynthesis: Mechanism, Regulation and Adaptation**. London: Taylor & Francis. v. 25, pp. 443–480. 2000.

STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient **In:** Papageorgiou, G. C.; Govindjee (eds.), **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis**. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321-362, 2004.

TIKKANEN, M.; MEKALA, N. R.; ARO, E-M. Photosystem II photoinhibition-repair cycle protects Photosystem I from irreversible damage. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1837, n.1, p.210–215, 2014.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R.J. The energy flux theory 35 years later: formulations and applications. **Photosynthesis Research**, v.117, p.289-320, 2013.

YUSUF, M. A., KUMAR, D., RAJWANSHI, R., STRASSER, R. J., TSIMILLI-MICHAEL, M., & SARIN, N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic Brassica juncea plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, v.1797, n.8, p.1428-1438, 2010.

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M.; KALAJI, H.M.; GOVINDJEE. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown barley leaves to high light: is the lower PSII connectivity in shade leaves associated with protection against excess of light?. **Photosynthesis Reserch**, v.119, n.3, p.339-354, 2014.

CAPÍTULO 2

Fluorescência da clorofila *a* e fenologia reprodutiva de cinco genótipos de *Jatropha curcas* L. sob diferentes condições de radiação solar

RESUMO

A produtividade da cultura do pinhão manso é limitada pela falta de sincronismo na floração. Luz e temperatura são dois dos mais importantes fatores ambientais que afetam a produtividade de uma espécie. Ambos interferem nas taxas fotossintéticas, na eficiência de captura da energia luminosa e no crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Para verificar o efeito da alta radiação e elevadas temperatura sobre a fenologia vegetativa e reprodutiva de cinco acessos de pinhão manso (NEF 01, NEF 04, NEF 05, NEF 06 e NEF 08) neste trabalho, foram utilizadas duas condições de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), 20% e 100%, em condições ambientais de temperatura elevada. Os resultados obtidos mostraram que plantas submetidas a 20% de RFA apresentaram maior investimento no crescimento da parte aérea e na expansão da área foliar. Todos os acessos tiveram baixo desempenho fotoquímico (PI_{total}) e todos eles permaneceram no estágio vegetativo. As plantas do acesso NEF 01 foram as mais sensíveis nessas condições. Houve danos na cadeia transportadora de elétrons, sendo o fotossistema I (FSI) mais afetado. A queda no rendimento e na eficiência do transporte de elétrons do intersistema até os aceptores finais de elétrons do FSI e nas reações de oxi-redução do FSI produziram um menor PI_{total} . Quando submetidas a 100% de RFA, as plantas dos acessos NEF 04, NEF 06 e NEF 08 apresentaram menor crescimento da parte aérea e menor expansão foliar, porém apresentaram maior PI_{total} . O fluxo de energia absorvida, a captura e o transporte de elétrons por centro de reação ativo foram maiores. Houve menor dissipação de energia e maior rendimento e eficiência do FSI. NEF 01 foi o acesso mais sensível às variações de RFA e temperatura elevada, apresentando maior fluorescência inicial, menor eficiência nas reações de óxido-redução do fotossistema II (FSII) e menor rendimento quântico máximo do FSII. Mesmo apresentando 40% do total de flores femininas foi o acesso com menor formação de frutos (17%). As plantas do acesso NEF 08 tiveram somente flores masculinas, não sendo observada a presença de

flores femininas. As plantas dos acessos NEF 05 e NEF 06 tiveram a mesma porcentagem de flores femininas (20%), de frutos por planta (33%), mas NEF 06 foi o que apresentou maior índice de clorofila, menores danos no FSI e FSII e maior eficiência fotoquímica em ambas as condições de RFA. Esses resultados permitem sugerir que o acesso NEF 06 demonstrou ser o mais tolerante as condições de estresse luminoso e térmico e melhor propensão ao cultivo em regiões quentes e com alta radiação.

Palavras-chave: Pinhão manso, luz, teste JIP, floração e produtividade.

Fluorescence of chlorophyll a and reproductive phenology of five genotypes of *Jatropha curcas* L. under different conditions of solar radiation.

ABSTRACT

The productivity of *Jatropha curcas* cultivation is limited by lack of synchronism at flowering. Light and temperature are two of the most important environmental factors affecting the productivity of a species. Both interfere with photosynthetic rates, collection efficiency of light energy and the vegetative and reproductive growth of plants. To check the effect of high radiation and high temperature on vegetative and reproductive phenology five *Jatropha* accessions (NEF01, NEF04, NEF05, NEF06 and NEF08) in this study were used two photosynthetically active radiation conditions (PAR), 20% and 100% under environmental conditions of high temperature. The results showed that plants submitted to 20% of PAR had higher investment in the growth of shoots and the expansion of leaf area. All access had low photochemical performance (PI_{total}) and all of them remained in the vegetative stage. Plants access NEF 01 were the most sensitive in these conditions. There was damage to the electron transport chain, and photosystem I (PSI) most affected. The fall on yield and transport efficiency of intersystem electron to the final electron acceptors of the FSI and the redox reactions of FSI produced a lower PI_{total} . When subjected to 100% of PAR, the plants from access NEF04, NEF06 and NEF08 showed lower growth of shoots and lower leaf expansion, but had higher PI_{total} . The absorbed energy flow, the capture and transport of electrons per active reaction center were higher. There was a lower power dissipation and higher yield and FSI efficiency. NEF 01 was the most sensitive to variations in access PAR and high temperature, with higher initial fluorescence, lower efficiency in the reactions of oxidation-reduction of photosystem II (PSII) and lower maximum quantum yield of PSII. Even showing 40% of female flowers was access with less formation of fruits (17%). Plants access NEF08 had only male flowers, was not observed the presence of female flowers. Plants of access NEF05 and NEF06 had the same percentage of female flowers (20%) of fruits per plant (33%), but NEF 06 showed the highest chlorophyll content, minor damage to the FSI and FSII and higher PI_{total} in both conditions PAR. These results

suggest that access NEF06 proved to be the most tolerant conditions of light and heat stress and better propensity for growing in hot regions with high radiation.

Keywords: pinhão manso, light, JIP Test, flowering and productivity.

6.1 INTRODUÇÃO

Processos de adaptação e plasticidade fenotípica são fatores que contribuem, de forma geral, para a tolerância das plantas a condições adversas do meio biótico e abiótico (VALLADARES et al., 2006). As plantas desenvolveram, ao longo do processo evolutivo, inúmeros mecanismos de respostas morfológicas e fisiológicas para tolerância aos diferentes tipos de estresses.

Luz e temperatura são dois dos mais importantes fatores ambientais que afetam o crescimento e a produtividade de uma espécie; contudo as condições e alterações da intensidade luminosa a qual uma espécie esta condicionada tornam-se fundamentais nos processos de desenvolvimento, crescimento e produção dos vegetais (ATROCHET et al., 2001). A luz é também um sinalizador do relógio biológico. Isso permite que as plantas modifiquem sua fisiologia e metabolismos como resposta a mudança na radiação e temperatura (MICHAEL et al., 2008)

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) pertence à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona e da mandioca. As características do óleo produzido pelas suas sementes tornam a espécie promissora para a produção de biodiesel, além de não apresentar competição com o setor alimentício. O cultivo de pinhão manso é considerado propício em regiões semiáridas (clima tropical e seco), pois trata-se de uma planta originaria da costa mexicana (Dias et al., 2012). Devido a essas características, o pinhão manso é conhecido por apresentar grande tolerância a seca e a alta radiação solar (POMPELLI et al., 2011).

Segundo Quintero et al. (2014) a ampliação do cultivo de *J. curcas* vem demandando o melhoramento genético, sendo a Índia pioneira nos estudos tecnológicos dessa cultura. Acessos provenientes do melhoramento genético vêm sendo desenvolvidas no Brasil, porém existem poucas informações ecofisiológicas concretas a respeito da potencialidade desses acessos (LAVIOLA et al., 2010).

A maior limitação na produtividade da cultura do pinhão manso é a falta de sincronismo da floração. Estudos em *Arabidopsis thaliana* apontam a existência de um “caminho fotoperiódico da floração”, que é a interação entre as mudanças de fotoperíodo e os ritmos circadianos da planta que conduzem ao sincronismo sazonal da floração (SUAREZ-LOPEZ et al., 2001; YANOVSKY E KAY, 2002).

Friend (1984) sugeriu que taxas mais baixa de fotossíntese poderiam limitar tanto o crescimento vegetativo quanto a floração de *J. curcas*, pois a fotossíntese e

o fotoperiodismo interagem no processo de indução floral. Aker (2011) relata que no sul do estado de Chiapas, México, região de Orinoquia e Colômbia, o florescimento (e a produção de sementes) de *Jatropha* é limitado pela baixa irradiância, porque na época de chuvas as plantas permanecem em estágio vegetativo enquanto que na região tropical seca da Nicarágua, as plantas crescem e florescem em toda a estação chuvosa. Estas evidências poderiam explicar a falta de sincronismo na abertura das flores femininas e masculinas e posteriormente, no amadurecimento dos frutos.

A queda da taxa fotossintética em diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa pode estar relacionada com a eficiência fotoquímica do aparato fotossintético e a produção de diferentes açúcares. Alta intensidade luminosa, acima da capacidade de utilização pela fotossíntese, pode causar inibição do fotossistema II e redução da fixação de CO₂, resultando em um estresse por fotoinibição (ARAÚJO E DEMINICIS, 2009). Segundo Kozlowskiet al. (1991) a exposição direta ao sol eleva a temperatura das folhas intensificando a taxa respiratória e transpiratória o que induziria o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a queda da fotossíntese, produção de metabolitos e produtividade. Tal comportamento pode ocorrer momentaneamente, nas horas mais quentes do dia, por exemplo, sendo denominada fotoinibição dinâmica ou pode ocorrer sob condições extremas de luz ou calor, sendo denominada fotoinibição crônica (VASS, 2011; HAKALA-YATKIN et al., 2011).

Diversos experimentos mostram que o aumento do nível de radiação induz a floração precoce em diferentes espécies (KING e BEN-TAL, 2001; KING et al., 2008). Yang et al. (2011) e Yang et al. (2013) sugerem que alguns genes são regulados pelo ciclo circadiano e podem estar envolvidos na cascata de sinalização do "fotoperíodo da floração". A expressão de diferentes genes de "via autônoma" de floração em *Arabidopsis* pode ser ativada por diferentes níveis endógenos de açúcares (BAENA-GONZÁLEZ et al. 2007, AKER, 2011).

Considerando a relação entre luz, fotossíntese, indução de genes envolvidos na floração e, conseqüentemente, produtividade, esta proposta pretende fornecer subsídios que levem à solução dos problemas gerados pela falta de sincronismo na floração do pinhão manso. Foi investigado o comportamento fotoquímico de cinco acessos de *Jatropha curcas* L., durante um período de temperaturas/radiação elevadas.

6.2 MATERIAL e MÉTODOS

6.2.1 Material vegetal e condições de cultivo

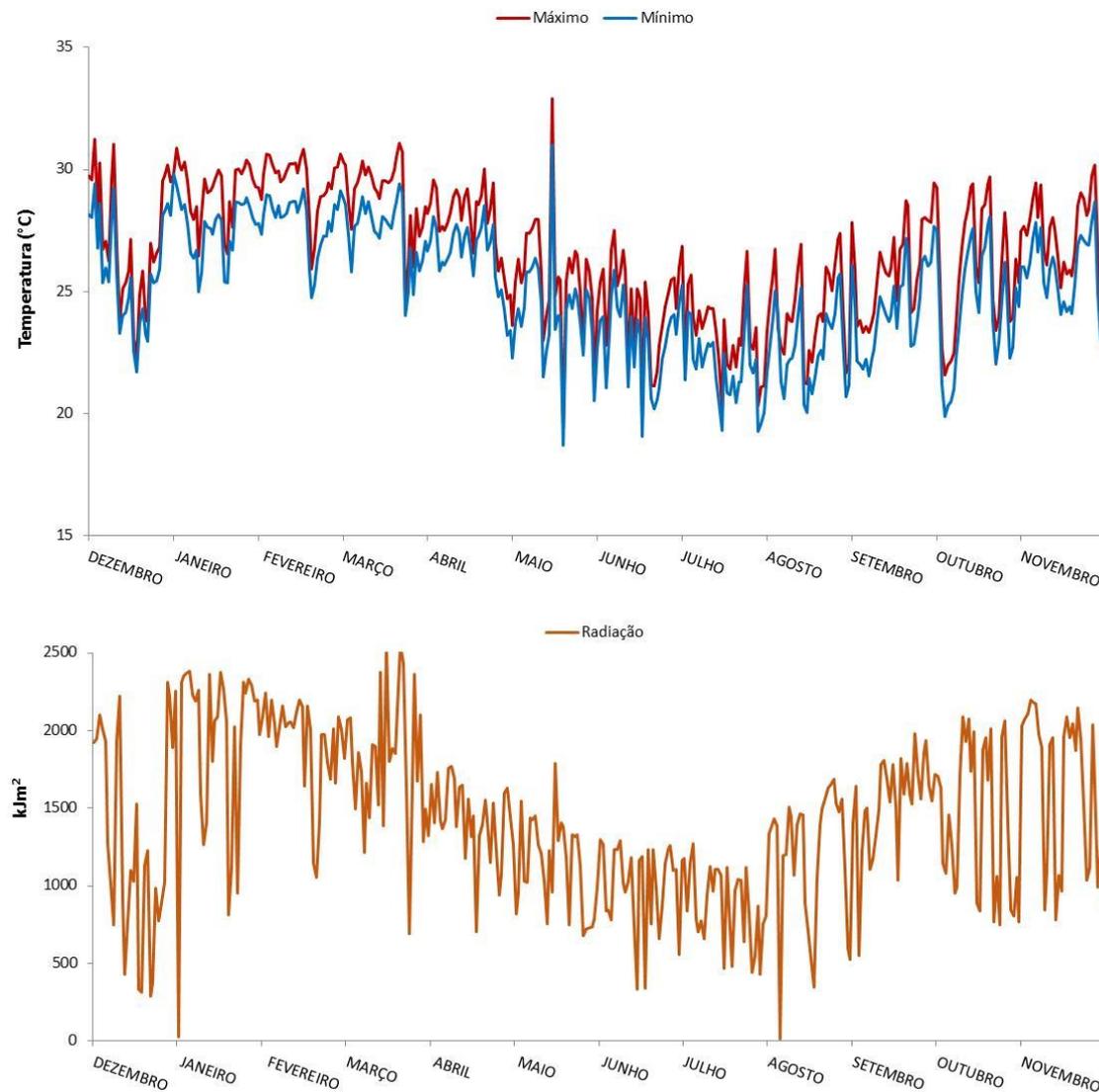


Figura 1- Temperaturas máxima e mínima (°C) e radiação solar (kJ m²) medidos durante o período experimental (dez/2013 a nov/2014) aos quais foram submetidos os cinco acessos de *Jatropha curcas* L.. Fonte: INCAPER (base localizada na Ilha de Santa Maria a 30Km da área experimental) - Lat: 20°31'56 S Long: 40°31'72W.

O experimento foi desenvolvido na Área Experimental do setor de Botânica, Campus Universitário de Goiabeiras, Vitória, ES, da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, (20°18'52''S e 40°19'06''W). Foram utilizados cinco acessos da espécie *Jatropha curcas* L. sendo dois (NEF 06 e NEF 08) provenientes de

plantas cultivadas na área experimental do IFES (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo), campus de Santa Teresa e três (NEF 01, NEF 04, e NEF 05) provenientes de plantas cultivadas na área experimental da Empresa NOVABRA Bioenergia situada em São Gabriel da Palha, região norte do Espírito Santo.

Os ramos de cada acesso foram colhidos nas primeiras horas da manhã e segmentados em estacas da porção mediana com 20 ± 5 cm de comprimento. As estacas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 8 litros, contendo substrato constituído de uma mistura de solo, terra vegetal e areia, na proporção 2:1:1 (v/v/v). Oito (8) plantas de cada acesso foram mantidas durante 12 meses a pleno sol, isto é, recebendo 100% de radiação solar e temperatura ambiente (Figura 1).

Após esse período, as plantas foram submetidas a duas condições de luminosidade: 100% de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e 20% de RFA e condições semelhantes de disponibilidade de água (Figura 2). O experimento foi inteiramente casualizado. A unidade experimental foi composta por uma planta por recipiente de cultivo. O nível de redução da luminosidade foi verificado com a utilização do um sensor quântico Mod. LI-190 (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA).



Figura 2- Vista geral das plantas de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) cultivadas na Área Experimental do Setor de Botânica, Campus de Goiabeiras, da Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória, ES, sob duas condições de Radiação Fotossinteticamente Ativa. A - 100% RAF e B - 20% RFA.

6.2.2 Fenologia vegetativa e reprodutiva

Durante o período experimental foram realizadas medidas semanais da fenologia vegetativa (crescimento) e reprodutiva. Para avaliar o crescimento da brotação (CB) foi utilizado um paquímetro analógico (mod. 141-112, COSA), sendo considerado o ramo acima do último nó da estaca (Figura 3A). Para o cálculo de área foliar foi utilizado número de folhas e massa da matéria seca, que foram empregados para o cálculo da Área Foliar Específica (AFE = área foliar / massa foliar seca) e Massa Foliar Específica (MFE = massa foliar seca / área foliar), que é o inverso da AFE, e dá uma estimativa da espessura foliar (Hunt, 1982).

Já as variáveis reprodutivas foram consideradas por planta e avaliadas semanalmente (Figura 3B-D).



Figura 3 – Variáveis fenológicas avaliadas por planta. Sendo A- Crescimento da brotação (CB); B- Flor Feminina (FF); C- Flor Masculina (FM); D- Inflorescência (INF).

6.2.3 Cinética de emissão da fluorescência transiente (OJIP)

A emissão da fluorescência da clorofila foi medida utilizando-se um fluorômetro portátil Handy PEA (Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK). As leituras foram realizadas pela manhã (7-8h, horário solar), após a adaptação das amostras ao escuro por 60 minutos, para que o aceptor primário de elétrons do FS II - a Quinona A (Q_A) – estivesse totalmente oxidada (momento em que todos os CR estavam abertos). A emissão da fluorescência da clorofila foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha, pela exposição da amostra a um pico de luz vermelha

de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, conforme metodologia sugerida por Tsimili-Michael e Strasser (2008). A partir das intensidades de fluorescência foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP (STRASSER; STRASSER, 1995). Todos os parâmetros e suas respectivas siglas e abreviaturas estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros e definição do Teste JIP segundo Strasser et al. (2004) e Zivack et al. (2014).

Parâmetros da fluorescência	Descrição
$t_{f_{\max}}$	Tempo para atingir F_M (ms)
$F_0 = F_{20\mu\text{s}}$	Fluorescência mínima da folha adaptada ao escuro (centro de reação do FSII abertos): F_0 não foi corrigido para a fluorescência do FSI e para a eventual presença de QB reduzida;
$F_m = F_P$	Fluorescência máxima (quando todos os centros de reações do FSII estão fechados)
$F_0/F_m = \phi D_0$	Rendimento quântico de energia dissipada em $t = 0$.
$F_V/F_0 = \phi P_0/(1 - \phi P_0)$	Eficiência das reações fotoquímicas do FSII
$RC/ABS = \gamma RC/(1 - \gamma RC)$	Densidade de centros de reação fotoquimicamente ativos do FSII.
$\phi P_0 = F_V/F_M = TR_0/ABS$	Rendimento quântico máximo fotoquímico do FSII ($t = 0$)
ABS/RC	Fluxo de energia absorvida por RC ativo
DI_0/RC	Fluxo de energia dissipada por RC ativo em $t=0$
TR_0/RC	Fluxo de captura de energia (levando à redução de Q_A^-) por RC em $t=0$
ET_0/RC	Fluxo de transporte de elétrons por RC em $t=0$
RE_0/RC	Fluxo de elétrons reduzindo aceptores finais de elétrons no lado acceptor do FSI, por RC em $t=0$
$\psi E_0 = ET_0/TR_0$	Probabilidade (no tempo 0) que um éxciton capturado tem em mover um elétron na cadeia de transporte de elétrons após Q_A^-
$\phi E_0 = ET_0/ABS$	Rendimento quântico do transporte de elétrons de Q_A^- para os aceptores de elétrons do intersistema.
$\delta R_0 = RE_0/ET_0$	Eficiência com que um elétron pode se mover desde os aceptores de elétrons do intersistema até os aceptores finais do FSI.
$\phi R_0 = RE_0/ABS$	Rendimento quântico de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI por fótons absorvidos.
$\psi E_0/(1 - \psi E_0)$	Eficiência das reações fotoquímicas após a redução de Q_A^- .
$\delta R_0/(1 - \delta R_0)$	Desempenho das reações de oxi-redução do FSI
$PI_{\text{abs}} = (RC/ABS) \times (\phi P_0/(1 - \phi P_0)) \times (\psi E_0/(1 - \psi E_0))$	Índice de desempenho do FSII
$PI_{\text{total}} = PI_{\text{ABS}} \times (\delta R_0/(1 - \delta R_0))$	Índice de desempenho total (até os aceptores finais de elétrons do FSI)

6.2.4 Pigmentos fotossintéticos

O teor de clorofila total, clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides foi determinado após extração com dimetilsulfóxido (DMSO) utilizando-se a metodologia descrita por Wellburn (1994) com modificações. Quatro discos foliares de 0,7 cm de diâmetro, retirados da mesma folha utilizada para a análise da cinética da emissão da fluorescência da clorofila *a* foram transferidos para tubo de ensaio contendo 7 mL de DMSO e imediatamente foi feita a extração em banho-maria a 65°C por 12h, no escuro. As leituras da densidade ótica foram feitas em espectrofotômetro (ThermoScientific®, Genesys10S, EUA), a 470 (A_{470}), 645 (A_{645}) e 663 (A_{663}) nm. As determinações das concentrações de clorofila e carotenóides foram realizadas usando as equações de Hiscox e Israeltam (1979), respectivamente:

$$\text{Chl. } a = [(12,7 \cdot A_{663}) - (2,69 \cdot A_{645})] \cdot V / (1000 \cdot \text{ms})$$

$$\text{Chl. } b = [(22,9 \cdot A_{645}) - (4,68 \cdot A_{663})] \cdot V / (1000 \cdot \text{ms})$$

$$\text{Chl. total} = [(20,2 \cdot A_{663}) - (2,69 \cdot A_{645})] \cdot V / (1000 \cdot \text{ms})$$

$$\text{Car.} = [(1000 \cdot A_{470}) - (1,82 \cdot \text{Clor.} a - 85,02 \cdot \text{Clor.} b)] \cdot V / (198 \cdot 1000 \cdot \text{ms})$$

Para a obtenção da massa seca (ms), os discos foliares foram, após a extração dos pigmentos, secos em estufa a $\pm 60^\circ\text{C}$, até obtenção de massa constante.

6.2.5 Estatística

O experimento foi organizado com delineamento experimental inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2X5 (duas condições de RFA e cinco acessos). Os resultados foram submetidos à análise variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Scott Knott a 5%, usando o programa para análises estatísticas Assistat 7.7 beta (2008).

6.3 RESULTADOS

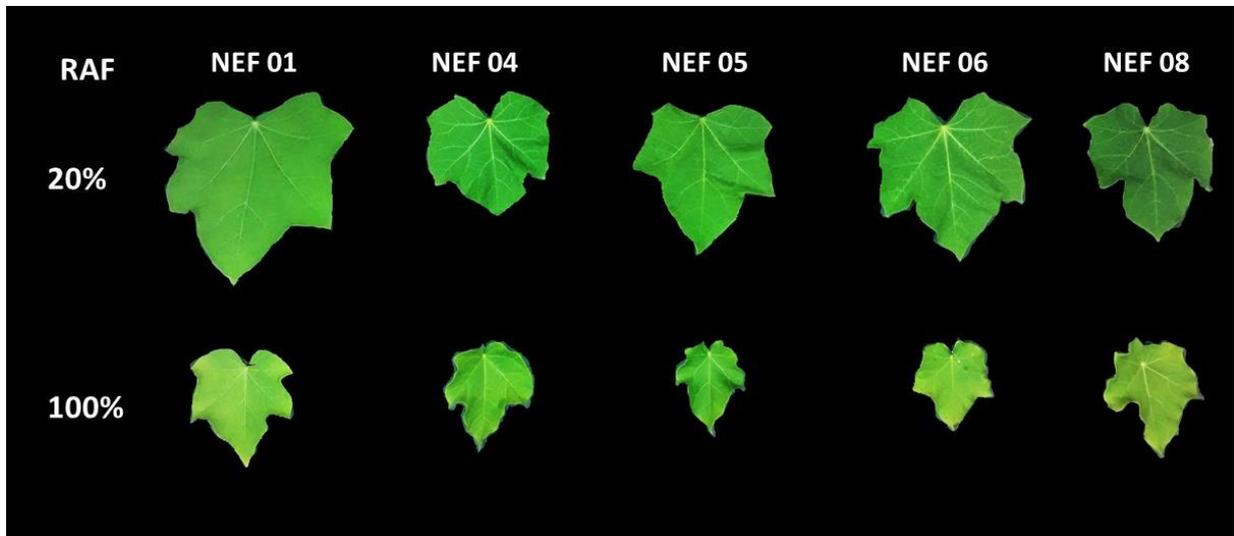


Figura 4 – Folhas das plantas de pinhão manso cultivadas em duas condições de luminosidade: 20% RFA e 100% RFA, na Área Experimental do Setor de Botânica, Campus de Goiabeiras, da Universidade Federal do Espírito Santo em Vitória, ES.

A figura 4 mostra diferenças morfológicas marcantes provocadas pelas duas condições de radiação nos cinco acessos de *J. curcas*. A mensuração destes parâmetros morfológicos confirmou a existência de diferenças significativas ao nível de crescimento da brotação (CB) e de expansão foliar (AFE) nos diferentes acessos (Tabela 2). As plantas do acesso NEF 01 apresentaram maior AFE em ambas as condições de RFA enquanto que as plantas do acesso NEF 04 somente apresentou maior AFE quando em condição de sombreamento. Não houve diferença significativa em AFE das plantas dos acessos NEF 04, NEF 06 e NEF 08 em pleno sol, porém sob sombreamento estes três acessos mostraram diferenças significativas de AFE. Desse modo pode-se sumarizar que sob condições de 20% de RFA as plantas do acesso NEF 01 exibiram maiores AFE e CB enquanto que as plantas do acesso NEF 08 apresentaram menor AFE e CB.

Tabela 2- Área folia específica - AFE (g cm^{-2}), massa foliar específica - MFE ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) e crescimento da brotação - CB (cm) de cinco acessos de *J. curcas* cultivadas em duas condições de luminosidade: 100% e 20% RFA (radiação fotossinteticamente ativa).

RFA	AFE		MFE		CB	
	100%	20%	100%	20%	100%	20%
NEF 01	151,58 Ab	260,27 Aa	0,007 Aa	0,004 Ab	1,33 Bb	12,33 Aa
NEF 04	127,56 ABb	240,51 Aba	0,008 Aa	0,004 Ab	1,83 Bb	3,50 Ca
NEF 05	114,87 Bb	217,46 Ba	0,009 Aa	0,005 Ab	1,17 Bb	10,67 Aba
NEF 06	124,65 ABb	219,02 Ba	0,008 Aa	0,005 Ab	1,33 Bb	9,67 Bba
NEF 08	125,78 ABb	171,15 Ca	0,008 Aa	0,006 Ab	3,67 Aa	3,00 Ca

Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas nas colunas e letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas de cada acesso entre as condições de radiação, pelo Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). (n=4)

Observa-se na Tabela 3 que todos os acessos, quando cultivados em 20% RFA apresentaram maior teor de pigmentos fotossintéticos. Sob condição de baixa radiação (20% RFA) as plantas do acesso NEF 01 apresentaram os maiores valores de Chl *a*, Chl *b* e Car. Ao avaliar as razões de Chl *a/b* percebe-se que, somente, o acesso NEF 05 apresentou menor razão em 20% RFA em relação as plantas cultivadas em 100% RFA. Já a razão Chl/Car não apresentaram diferenças em nenhuma das condições de RFA.

Tabela 3 - Teores de pigmentos fotossintéticos (mg gMS^{-1}) nas folhas de *J. curcas* em função da quantidade de radiação recebida. Chl *a*=clorofila *a*, Chl *b*=clorofila *b*, Chl *a/b*=razão entre clorofila *a* e clorofila *b*, Car=carotenoides, Chl/Car=razão entre clorofilas e carotenóides.

RFA	Chl <i>a</i>		Chl <i>b</i>		Car		Chl <i>a</i> / Chl <i>b</i>		Chl/Car	
	100%	20% *	100%	20% *	100%	20% *	100%	20%	100%	20%
NEF 01	4,46	17,95 **	1,12	4,42 **	2,73	11,91 **	6,672	4,09	2,69	2,62
NEF 04	4,99	13,31	1,19	3,49	2,67	8,04	4,209	3,80	3,05	2,71
NEF 05	4,95	11,82	1,26	3,33	2,83	6,93	4,041	3,59 *	2,88	2,79
NEF 06	5,56	12,57	1,44	3,06	3,05	6,86	3,893	4,08	2,99	2,99
NEF 08	5,77	12,86	1,36	3,29	3,01	7,23	4,158	3,90	3,08	2,92

* diferença significativa entre as condições de RFA (mesma linha); ** diferença significativa entre os acessos (mesma coluna) pelo Teste de Scott Knott em nível de 5% de probabilidade. (n=4)

O teste JIP (Figura 5) representa o fluxo de energia absorvida pelos fotossistemas e transferida na cadeia de transporte de elétrons. Sua aplicação permite visualizar o passo a passo dos danos provocados pelo excesso/falta de energia. Durante o período experimental deste trabalho foi possível verificar que tanto o FSII (fotossistema II) quanto o FSI (fotossistema I) sofreram danos com o excesso/falta de luz e temperatura.

Dentre os acessos submetidos a 100% de RFA, NEF 01 mostrou-se o mais sensível ao excesso de RFA enquanto que NEF 04, NEF 06 e NEF 08 mostraram melhor desempenho (Figura 5A). Tal afirmativa é confirmada pelo alto valor da fluorescência inicial (F_0) e do tempo para atingir a fluorescência máxima ($T_{f_{max}}$) (521 e 289 respectivamente) nas plantas do acesso NEF 01. A eficiência das reações de óxido-redução do FSII (F_v/F_0) e o rendimento quântico máximo do FSII (ΦP_0) foram os menores em NEF 01 (5,41 e 0,44). Esses dois parâmetros influenciaram, diretamente, no baixo índice de desempenho do FSII ($PI_{ABS} = 1,55$) deste acesso. Já NEF 04, NEF 06 e NEF 08 apresentaram menor densidade de centro de reação ativo no FSII (RC/ABS), porém baixo rendimento de dissipação de energia (F_0/F_m) e alta eficiência fotoquímica (F_v/F_0). A junção desses parâmetros permitiu que NEF 04 alcançasse o maior PI_{ABS} (4,38).

Percebe-se que o FSI, das plantas do acesso NEF 01 e NEF 05, também foram afetados pela alta luminosidade e alta temperatura, pois a eficiência e o rendimento no transporte de elétrons desde o intersistema até o FSI (δR_0 e ΦR_0) foram os menores dentre os demais acessos. Já as plantas do acesso NEF 01, NEF 06 e 08 apresentaram os maiores valores de absorção de energia por centro de reação ativo (ABS/RC), captura de energia para redução da Quinona A - Q_A (TR_0/RC) e maior valor para o transporte de elétrons pela cadeia transportadora de elétrons (ET_0/RC). NEF 08 também apresentou maior valor de δR_0 (0,4) e ΦR_0 (0,185) e maior fluxo de elétrons para reduzir os aceptores finais de elétrons do FSI ($RE_0/RC=0,341$). Além disso, o desempenho das reações de oxi-redução do FSI ($\delta R_0/(1-\delta R_0)$) foi menor para NEF 01 (0,47) e maior em NEF 08 (0,67). Todos esses valores produziram o índice de desempenho total (PI_{total}) mais baixo em NEF 01 (1,552) e o mais alto em NEF 04 (2,43), NEF 06 (2,25) e NEF 08 (2,578), demonstrando que os acessos avaliados apresentam diferentes níveis de tolerância ao estresse luminoso (Figura 5A).

Nas plantas cultivadas com somente 20% RFA observou-se que os parâmetros que demonstram o desempenho do FSI foram os mais afetados (Figura 5B). Nesta condição, tal qual na condição de pleno sol (100% RFA), os acessos NEF 01 e NEF 04 e NEF 08 foram os que mais se destacaram. Nas plantas do acesso NEF 01, o δR_0 (0,239), ΦR_0 (0,113), RE_0/RC (0,218) e $\delta R_0/(1-\delta R_0)$ (0,316) alcançaram os menores valores enquanto que em NEF 04 e NEF 08 esses parâmetros foram os maiores. Assim, o produto final desses parâmetros alcançou o menor e o maior valor: PI_{total} de NEF 01 igual a 1,19 e PI_{total} de NEF 04 e 08 igual a 1,59 e 1,58 respectivamente.

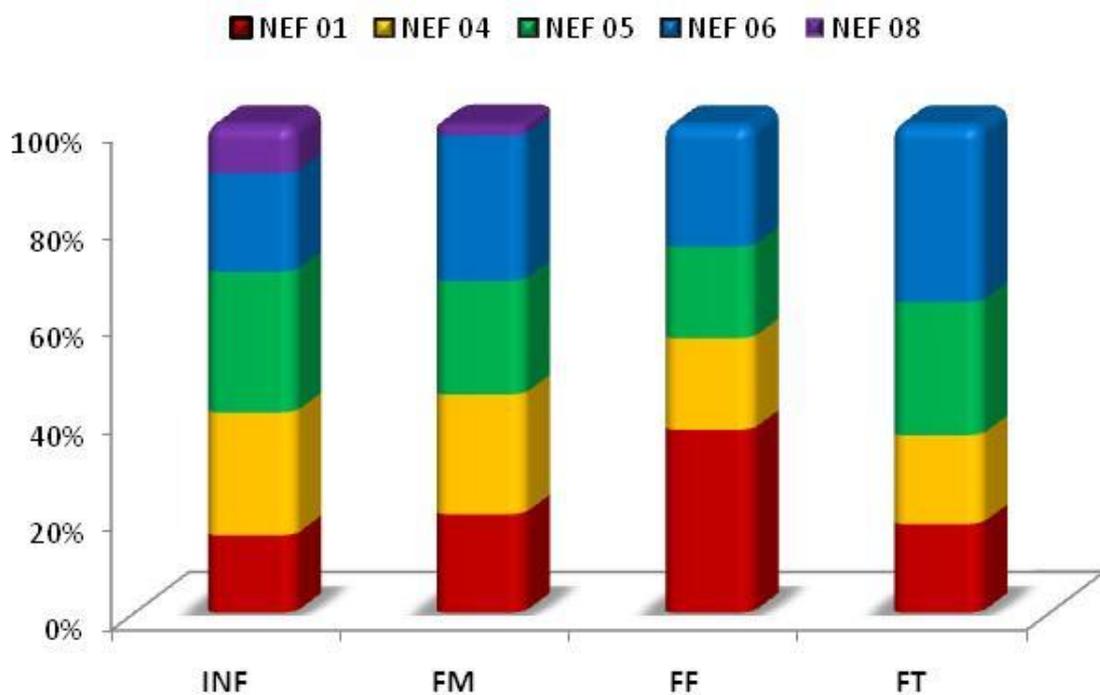


Figura 6 – Fenologia reprodutiva dos diferentes acessos cultivados em 100% RFA representado em porcentagem (%). INF = nº de inflorescências por planta; FM = nº de flores masculinas por planta; FF = nº de flores femininas por planta; FT = nº de frutos por planta.

A figura 6 mostra os resultados da fenologia reprodutiva dos cinco acessos avaliados. O acesso NEF 01 apresentou o maior número de flores femininas (FF) por planta quando estiveram sob 100% RFA, porém mesmo apresentando 40% do total de FF este foi o acesso com menor formação de frutos (17%). Quando comparado a NEF 01, o acesso NEF 04 obteve menor número de FF, entretanto o número de frutos (FT) foi equivalente (17%). NEF 05 e NEF 06 tiveram a mesma porcentagem

de FF (20%) e de fruto por planta (FT) (33%). As plantas do acesso NEF 08 tiveram o menor número de inflorescência e somente flores masculinas não sendo observada a presença de nenhuma flor feminina. Quando cultivados na condição de 20% de RFA as plantas permaneceram no estágio vegetativo e não houve formação de inflorescências em qualquer um dos acessos avaliados.

6.4 DISCUSSÃO

Alterações morfológicas e fisiológicas são influenciadas por vários fatores como intensidade luminosa, qualidade da luz e duração da radiação (BENINCASA, 2004). Villela e Ravetta (2000) descrevem em seu trabalho que plantas adaptadas a alterações na radiação solar dependem do ajuste do aparato fotossintético, convertendo a energia luminosa em carboidratos, e conseqüentemente, promovendo crescimento. Sendo assim, alteração na disponibilidade e qualidade da luz pode ativar ou inibir genes envolvidos na floração (YANG et al., 2013).

Este trabalho permitiu observar que a baixa disponibilidade de luz (20% RFA) fez com que as plantas apresentassem maior AFE e CB, ou seja, folhas maiores, mais finas e caule mais longo com menor acúmulo de biomassa. Ora, a AFE apresenta uma correlação direta com a capacidade de interceptação de luz, sendo amplamente utilizado em estudos envolvendo crescimento (RIANO et al., 2004; SEVERINO et al., 2004). Esses mesmos resultados foram obtidos por Martins et al. (2014) utilizando diferentes genótipos de *J. curcas*, sob baixa radiação ($\pm 330 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Eles obtiveram 83% de aumento de AFE e 33% para o crescimento da parte aérea em relação às plantas cultivadas em pleno sol.

Características que determinam a produção de biomassa são características passíveis de serem utilizadas na comparação de genótipos (FAGERIA et al., 2006). Com efeito, os dados morfológicos e os teores de pigmentos fotossintéticos, são utilizados para identificar a eficiência do aparato fotoquímico (Richardson et al., 2002), visto que a quantidade de radiação absorvida pela folha depende, dentre outras, da morfologia da folha e da concentração de clorofila e carotenóides.

Dinç et al. (2012) afirmam que as medições da fluorescência da clorofila *a* são insensíveis às alterações nos teores de clorofila na folha, desde que a razão Chl *a/b* se mantenha inalterada. Ou seja, menores valores de Chl *a* e Chl *b* não implicam na

interpretação dos dados de fluorescência da clorofila *a*. Os resultados obtidos no presente trabalho contradizem as sugestões dos citados autores, pois as plantas do acesso NEF 01 quando cultivadas sob 20% RFA apresentaram os menores valores de Chl *a* e Chl *b*. Mesmo com a razão Chl *a/b* inalterada, esse acesso foi o que mostrou o menor desempenho fotoquímico. Entretanto, Kalaji et al. (2012) sugerem que os teores de pigmentos não expressam a estrutura do aparelho fotossintético nem informam a capacidade fotoquímica das plantas. Para estes autores a fluorescência da clorofila *a* é a forma mais confiável e simples para determinar a eficiência do transporte de elétrons e, a capacidade da atividade fotoquímica das plantas. Portanto, constata-se pelos resultados obtidos neste trabalho que NEF 01 foi o acesso mais sensível entre os cinco acessos avaliados, apresentando maior F_0 e menor F_v/F_0 , comprometendo a eficiência do FSII (ϕP_0).

Ainda foi possível observar, em NEF 01, que a densidade de centro de reação (CR) ativo (RC/ABS) foi menor, assim como o fluxo e o rendimento quântico de energia dissipada (DI_0/RC e F_0/F_M) por RC ativo. ÖZ et al. (2014), obtiveram resultados semelhantes em plantas de trigo expostas a alta concentração de Boro. Segundo os autores a diminuição de ϕP_0 sugere que o lado doador do FSII é mais sensível do que o lado aceitador de elétrons, fato esse mais agravado pelo aumento da fluorescência inicial (F_0). Segundo Zivcak et al. (2014) o aumento de F_0 está relacionado ao aumento de Chl funcionais não conectadas aos RCs do FSII. Sendo assim é possível afirmar que em NEF 01 o aumento em F_0 pode ser interpretado como uma separação física do complexo LHCII do núcleo do FSII e/ou um dano irreversível ao FSII.

Yamazaki et al. (1999) sugerem a existência de uma correlação positiva entre a razão Chl *a/b* e a razão FSII/FSI. De acordo com os autores um maior de Chl *a/b* é consistente com uma redução de RC/ABS. O que não foi corroborado pelo presente trabalho, uma vez que os acessos avaliados não apresentaram variação da razão Chl *a/b*, mas apresentaram comportamento fotoquímico oposto, pois os acessos NEF04, NEF 06 e NEF 08 tiveram os maiores valores de RC/ABS.

As plantas do acesso NEF 01 apresentaram também evidências da inibição do FSI uma vez que a eficiência e o rendimento no transporte de elétrons do intersistema para os aceptores do FSI (δR_0 e ϕR_0) foram comprometidos bem como a redução dos aceptores finais do FSI e a eficiência de oxido-redução desse fotossistema ($\delta R_0/(1-\delta R_0)$, RE_0/RC) foram menores. O conjunto desses resultados

culminaram em um menor Índice de desempenho fotoquímico total (desde o centro de evolução de O_2 até os aceptores finais de elétrons do FSI), PI_{total} , em ambas as condições de luz.

No caso particular do FSI, é necessário aprofundar-se mais nesta discussão pois, segundo alguns autores, o FSI dificilmente é danificado visto que os seus centros de reação ativos (CR) são eficientemente protegidos, entretanto, quando são atingidos a sua recuperação é extremamente lenta (SONOIKE, 2011; TIKKANEN et al., 2014). De acordo com Suorsa et al. (2012) a alta radiação é danosa para o FSI se a quantidade de energia na cadeia transportadora de elétrons exceder a capacidade de aceptores no lado redutor do FSI. Pode-se concluir que o FSI foi o responsável pela menor eficiência de NEF 01 o que corrobora o resultado encontrado por Tikkanen et al. (2014) em *Arabidopsis* cultivada em alta radiação. Para os autores a fotoinibição do FSII é capaz de proteger o FSI, ou seja, o FSII é o regulador final da cadeia de transferência de elétrons na fotossíntese e fornece um mecanismo de proteção. A dissipação da energia não fotoquímica, a fosforilação do complexo antena do FSII (LHCII) e o controle da “velocidade” da transferência de elétrons pelo intersistema são formas de proteger o FSI (SUORSA et al., 2012; TIKKANEN et al., 2014). As plantas do acesso NEF 01 apresentaram maior AFE em ambas as condições de RFA, apresentaram os maiores valores de Chl *a*, Chl *b* e Car, porém a baixa eficiência das reações de óxido-redução do FSII (F_v/F_0) e o rendimento quântico máximo do FSII (ϕP_0) influenciaram, diretamente, o índice de desempenho do FSII tanto com alta luminosidade e alta temperatura quanto nas condições de sombreamento. A redução da atividade do FSII acompanhada de aumento da irradiância ocasionou efeitos deletérios no FSI, levando a fotoinibição da fotossíntese.

As plantas do acesso NEF 04, NEF 06 e NEF 08 mostraram maior eficiência fotoquímica em ambas as condições de RFA. Todas as evidências indicam o FSI foi o grande responsável por essa eficiência uma vez que a transferência de elétrons do intersistema para a redução dos aceptores de elétrons do FSI (δR_0 e ϕR_0) e a eficiência de oxido-redução ($\delta R_0/(1-\delta R_0)$) foram mais eficientes. Segundo Silva et al. (2011) a maior eficiência na formação de ATP e $NADPH^+$ depende da eficiência de redução dos aceptores finais de elétrons do FSI. Os resultados do presente trabalho confirmam aqueles obtidos por Eichelmann et al. (2005) onde, em plantas sob sombreamento, houve um aumento na densidade de FSI em relação ao FSII.

Mesmo que esta metodologia não tenha sido aplicada aqui, os parâmetros do Teste JIP obtidos indicam este aumento: ABS/RC, DI₀/RC, TR₀/RC, ET₀/RC e RE₀/RC.

A maioria das plantas consegue “monitorar” a intensidade, duração e espectro de luz. O fotoperíodo muda ao longo do ano e, portanto, muitas plantas dependem de sinais fotoperiódicos para controlar as transições de fenofases, incluindo a indução floral (RANTANEN et al., 2014). Regiões específicas do espectro de luz promovem diferentes efeitos sobre a floração. O vermelho “distante” provoca uma floração precoce em muitas espécies e os fitocromos são os fotorreceptores que absorvem na faixa do vermelho (STRASSER et al., 2010).

Quando cultivado em 100% RFA o acesso NEF 06 produziu o maior número de frutos. Kumar et al. (2014) observaram uma melhor frutificação em *J. curcas* cultivadas em concentrações elevadas de CO₂ atmosférico. Segundo os autores o pinhão manso, quando exposto à elevada concentração de CO₂, apresenta um aumento de 50% na taxa de fotossíntese, antecipa o tempo de florescimento e frutificação, melhora a produção e o rendimento de frutos e sementes.

Alguns autores relacionam a expressão gênica e indução floral ao tempo de exposição luminosa. Yang et al., 2011, estudaram a expressão dos genes *Dof* envolvidos na floração de *J. curcas*. De acordo com os autores o gene *JcDof3* responde a sinais do fotoperíodo. O comprimento do dia ativa a expressão do gene e auxilia na floração do pinhão manso. Para Fresnedo-Ramirez (2013) o fotoperíodo não é o único fator a influenciar a floração do pinhão manso. Umidade relativa do ar, temperatura, disponibilidade de nutrientes, produção hormonal e reguladores exógenos de crescimento também devem ser considerados. O presente trabalho fornece subsídio para esta afirmativa considerando que, os cinco acessos avaliados apresentaram comportamentos distintos sob condições semelhantes. As plantas de pinhão manso exibiram elevada plasticidade ao estresse luminoso, entretanto, em condições de sombreamento, 20% RFA, permaneceram no estágio vegetativo.

6.5 REFERÊNCIAS

- AKER, C.L. 2011. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Floración sincrónica em *Jatropha curcas*. In: PRIMER SEMINARIO INTERNACIONAL *JATROPHA* COLOMBIA E PRIMER TALLER INTERNACIONAL ASINCRONÍA FLORAL. Villavicencio, Colombia. 19-21 out 2011.
- ARAUJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v.7, n.4, p.463-472. 2009.
- ATROCH, E.M.A.C.; SOARES, A.M.; ALVARENGA, A.A.; CASTRO, E.M. Crescimento, teor de clorofilas, distribuição de biomassa e características anatômicas de plantas jovens de *Bauhinia forticata* Link submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.4, p.853-862, 2001.
- BAENA-GONZÁLES, E.; ROLLAND, F.; THEVELEIN, J.M.; SHEEN, J. A central integrator of transcription networks in plant stress and energy signaling. **Nature**, v.448, p.938-943, 2007.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2004. 42 p.
- DIAS, L.A.S.; MISSIO, R.F.; DIAS, D.C.F.S. Antiquity, botany, origin and domestication of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae), a plant species with potential for biodiesel production. **Genetics and Molecular Research**, v.11, n.3, p.2719-2728, 2012.
- DINÇ, E.; CEPPI, M.G.; TÓTH, S.Z.; BOTTKA, S.; SCHANSKER, G. The chl a fluorescence intensity is remarkably insensitive to changes in the chlorophyll content of the leaf as long as the chl a/b ratio remains unaffected. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1817, n.5, p. 770-779, 2012.
- EICHELMANN, H.; OJA, V.; RASULOV, B.; PADU, E.; BICHELE, I.; PETTAI, H.; MÄND, P. KULL, O.; LAISK, A. Adjustment of leaf photosynthesis to shade in a natural canopy: reallocation of nitrogen. **Plant, Cell and Environment**, v. 28, p. 389-401, 2005.
- Fageria, N.K.; Baligar, V.C.; Clark, R.B. **Physiology of crop production**. Binghamton: The Haworth Press, 2006. 345p.
- FRESNEDO-RAMÍREZ, J. The Floral Biology of *Jatropha curcas* L.- A Review. **Tropical Plant Biology**, v.6, p.1-15, 2013.
- FRIEND, D. **The interaction of photosynthesis and photoperiodism in induction**. In: D. Vince-Prue., B. Thomas., E. Cockchull. (eds.). Light and Flowering Process. London: Academic Press. 1984
- HAKALA-YATKIN, M.; SARVIKAS, P.; PATURI, P.; MÄNTYSAARI, M.; MATTILA, H.; TYYSTJÄRVI, T.; NEDBAL, L. Magnetic field protects plants against high light by slowing down production of singlet oxygen. **Physiologia Plantarum**, v.142, n.1, p.26-34, 2011.
- HISCOX, J.D.; ISRAELTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. **Canadian Journal of Botany**, v.57, n.12, p.1332-1334, 1979.

HUNT, R. **Plant growth curves**: The functional approach to growth analysis. Ed. Edward Arnold, London, 1982.

KALAJI, H.M.; GOLTSEV, V.; BOSA, K.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; STRASSER, R.J.; Govindjee. Experimental in vivo measurements of light emission in plants: a perspective dedicated to David Walker. **Photosynthesis Research**, v.114, n.2, p.69-96, 2012.

KING, R.W., BEN-TAL, Y. A florigenic effect of sucrose in *Fuchsia hybrida* is blocked by gibberellin-induced assimilate competition. **Plant Physiology**, v.125, n.1, p.488-496, 2001.

KING, R.W.; HISAMATSU, T.; GOLDSCHMIDT, E.E.; BLUNDELL, C. The nature of floral signals in Arabidopsis. I. Photosynthesis and a far-red photoreponse independently regulate flowering by increasing expression of FLOWERING LOCUS T (FT). **Journal Experimental Botany**, v.59, n.4, p.3811-3820, 2008.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657p.

KUMAR, S.; CHAITANYA, B.S.K; GHATTY, S.; REDDY, A.R. Growth, reproductive phenology and yield responses of a potential biofuel plant, *Jatropha curcas* grown under projected 2050 levels of elevated CO₂. **Physiologia Plantarum**, v.152, n.3, p.501-519, 2014.

LAVIOLA, B.G.; ROSADO, T.B.; BHERING, L.L.; KOBAYASHI, A.K.; RESENDE, M.D.V.D. Genetic parameters and variability in physic nut accessions during early developmental stages. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.10, p.1117-1123, 2010.

MARTINS, L.D.; COLODETTI, T.V.; BRINATE, S.B.; RODRIGUES, W.N.; AMARAL, J.F.T.; TOMAZ, M.A.; LOPES, J.C.; LAVIOLA, B.G. Seedling growth of physic nut (*Jatropha curcas* L.) genotypes under different photosynthetic photon flux density. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.9, p.1343-1347, 2014.

MICHAEL, T.P.; MOCKLER, T.C.; BRETON, G.; MCENTEE, C.; BYER, A.; TROUT, J.D.; HAZEN, S.P.; SHEN, R.; PRIEST, H.D.; SULLIVAN, C.M.; YANOVSKY, M.; HONG, F.; KAY, S.A.; CHORY, J. Network discovery pipeline elucidates conserved time-of-day-specific cis-regulatory modules. **PLoS Genetic**, v.4, e.14, 2008.

ÖZ, M.T.; TURAN, Ö.; KAYIHAN, C. EYİDOĞAN, F.; EKMEKÇİ, Y.; YÜCEL, M.; ÖKTEM, H.A. Evaluation of photosynthetic performance of wheat cultivars exposed to boron toxicity by the JIP fluorescence test. **Photosynthetica**, v.52, n.4, p.555-563, 2014.

POMPELLI, M.F., OROZCO, A.J.J.; OLIVEIRA, M.T.; RODRIGUES, B.R.M.; BARBOSA, A.O.; SANTOS, M.G.; OLIVEIRA, A.F.N.; ALMEIDA-CORTEZ, J.S.A. Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. **Agronomía Colombiana**, v.29, n.2, p.231-240, 2011.

QUINTERO, V.P.; LÓPEZ, J.L.A.; COLMENERO, A.Z.; COLÍN, C.A.N.; GARCÍA, N.M.; BONILLA, J.L.S.; BECERRIL, M.F.J. Genetic structure of *Jatropha curcas* L. in Mexico and probable centre of origin. **Biomass and Bioenergy**. v.60, p.147-155, 2014.

- RANTANNEN, M.; KUROKURA, T.; MOUHU, K.; PINHO, P.; TETRI, E.; HALONEN, L.; PALONEN, P.; ELOMAA, P.; HYTÖNEN, T. Light quality regulates flowering in *FvFT1/FvTFL1* dependent manner in the woodland strawberry *Fragaria vesca*. **Frontiers in Plant Science**, v.5, p.1-11, 2014.
- RIANO, H.N.M.; ARCILA, P.J.; JARAMILLO, R.A.; CHAVES, C.B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera central. **Cenicafé**, v.55, n.4, p.265-276, 2004.
- RICHARDSON, A.D.; DUGAN, S.P.; BERLYN, G.P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New Phytologist**, v.153, p.185-194, 2002.
- SEVERINO, L.S.; CARDOSOS, G.D.; VALE, L.S.; SANTOS, J.W. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras**, v.8, n.1, p.753-762, 2004.
- SILVA, D.M.; DOS SANTOS, K.T.; DUARTE, M.M. Eficiência fotoquímica em folhas do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. golden durante o estágio reprodutivo e caracterização da ontogenia dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.4 p.1066-1073, 2011.
- SONOIKE, K. Photoinhibition of Photosystem I. **Physiologia Plantarum**, v.142, n.1, p.56-64, 2011.
- STRASSER, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. **Analysis of the fluorescence transient** In: Papageorgiou, G. C.; Govindjee (eds.), Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer: Dordrecht, p. 321-362, 2004.
- STRASSER, Bárbara; SÁNCHEZ-LAMAS, Maximiliano; YANOVSKY, Marcelo J.; CASAL, Jorge J.; CERDÁN, Pablo D. *Arabidopsis thaliana* life with out phytochromes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, p. 4776-4781, 2010.
- SUAREZ-LOPEZ, P.; WHEATLEY, K.; ROBSON, F.; ONOUCHI, H.; VALVERDE, F.; COUPLAND, G. Constans mediates between the circadian clock and the control of flowering in *Arabidopsis*. **Nature**, v.410, p.1116-1120, 2001.
- SUORSA, M.; JARVI, S.; GRIECO, M.; NURMI, M.; PIETRZYKOWSKA, M.; RANTALA, M.; KANGASJARVI, S.; PAAKKARINEN, V.; TIKKANEN, M.; JANSSON, S.; ARO, E.M. PROTON GRADIENT REGULATION5 is essential for proper acclimation of *Arabidopsis* Photosystem I to naturally and artificially fluctuating light conditions. **The Plant Cell**, v.24, n.7, p.2934-2948, 2012.
- TIKKANEN, M.; MEKALA, N.R.; ARO, E.-M. Photosystem II photoinhibition-repair cycle protects Photosystem I from irreversible damage. **Biochimica et Biophysica Acta**, v.1837, n.1, p.210-215, 2014.
- TSIMILLI-MICHAEL, M.; STRASSER, R.J. In vivo assessment of plants' vitality: applications in detecting and evaluating the impact of Mycorrhization on host plants. In: Varma A, editor. Mycorrhiza: state of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematics. Dordrecht: Springer; p. 679–703, 2008.

- VALLADARES, F.; SANCHES-GOMEZ; D.; ZAVALA, M.A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 1103-1116, 2006.
- VASS, I. Role of charge recombination processes in photodamage and photoprotection of the photosystem II complex. **Physiologia Plantarum**, v.142, p.6-16, 2011.
- VILELA, A.E.; RAVETTA, D.A. The effect of radiation on seedling growth and physiology in four species of *Prosopis* L. (Mimosaceae). **Journal Arid Environmental**, v.44, p.415-423, 2000.
- WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994.
- YAMAZAKI, J.; KAMIMURA, Y.; OKADA, M.; SUGIMURA, Y. Changes in photosynthetic characteristics and photosystem stoichiometries in the lower leaves in rice seedlings. **Plant Science**, v. 148, p. 155-163, 1999.
- YANOVSKY, M.J.; KAY, S.A. Molecular basis of seasonal time measurement in *Arabidopsis*. **Nature**, v.419, p.308–312, 2002.
- YANG, J.; YANG, M.-F.; ZHANGA, W.-P.; CHEN, F.; SHEN, S.-H. A putative flowering-time-related Dof transcription factor gene, JcDof3, is controlled by the circadian clock in *Jatropha curcas*. **Plant Science**, v.181, n.6, p.667-674, 2011.
- YANG, Y.; PENG, Q.; CHEN, G.-X.; LI, X.-H.; WU, C.-Y. OsELF3 is involved in circadian clock regulation for promoting flowering under long-day conditions in rice. **Molecular Plant**, v.6, n.1, p.202-215, 2013.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitos acessos de *Jatropha curcas* L. vêm sendo cultivados sem a devida compreensão ecofisiológica da espécie.

Frente às mudanças climáticas (o aumento da temperatura, da radiação, o déficit de água, a elevação dos teores de gás carbônico e outros gases do efeito estufa) esta espécie tem sido retratada em estudos, como a planta mais promissora na produção de energia renovável, para ser cultivada nesses ambientes.

No presente trabalho foi possível confirmar que, mesmo pertencendo a mesma espécie, planta vindas de diferentes regiões exibiram um desempenho diferente frente às variações ambientais à qual estavam submetidas.

Especificamente, foram confirmadas as hipóteses de que a alta radiação associada às altas temperaturas altera de maneira distinta o desempenho fotoquímico dos acessos de *J. curcas*. A alta radiação associada a temperatura causaram danos nos fotossistemas e alteraram a produção de inflorescências e de frutos das plantas.

Assim, o presente estudo fornece subsídios para sugerir o uso do acesso NEF 06 em áreas com elevadas temperaturas e alta radiação. Os acessos NEF 04 e NEF 08 mostraram maior eficiência fotoquímica em ambas às condições de RFA, porém o sombreamento inibiu o estágio reprodutivo, tal qual em NEF 06. Mais estudos são necessários para avaliar a resposta intra-específica para o estresse luminoso e térmico e detectar a principal causa da sensibilidade dos acessos NEF 01 e NEF 05 faces a estes estresses.

Tomados em conjunto, os resultados deste trabalho demonstram que, entre os acessos de *Jatropha curcas* L. ocorre grande variabilidade no uso da energia luminosa canalizada para o metabolismo do carbono o que explica, em grande parte, as diferenças no acúmulo de biomassa e da eficiência fotoquímica. Compreender os mecanismos e motivos que provocam a diversidade de respostas à variação de luz e temperatura é uma alternativa promissora para que se consiga aumentos na produtividade desta espécie.