

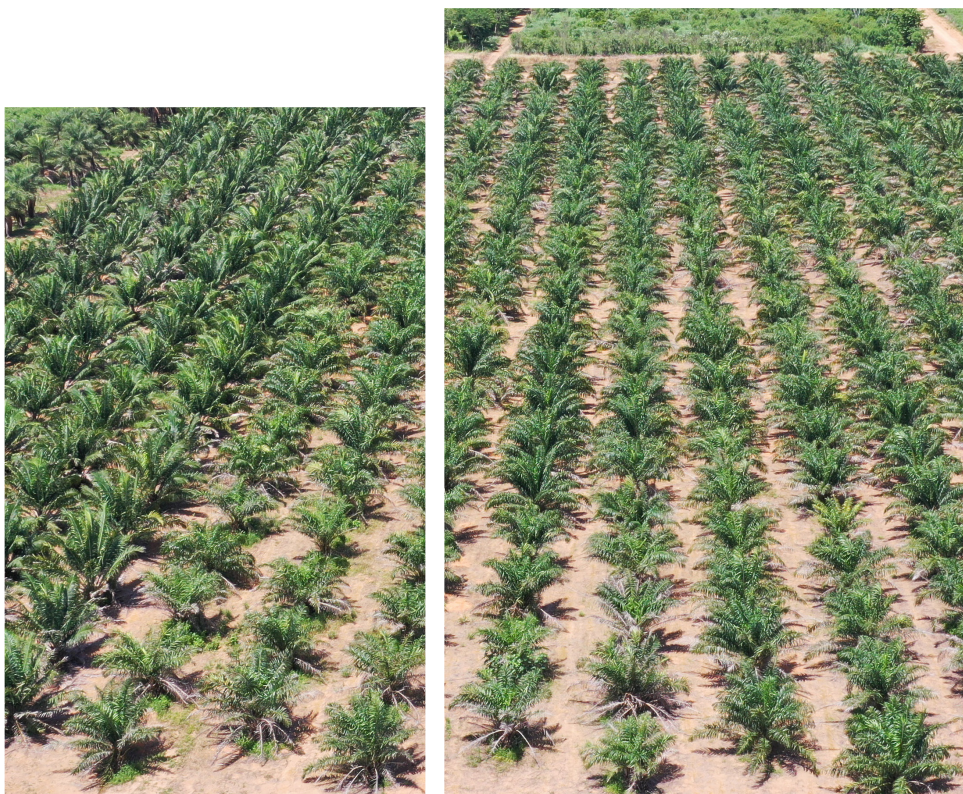
OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Caracteres fisiológicos e qualidade do óleo de Palma sob diferentes condições de estresse hídrico



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agrossilvipastoril
Ministério da Agricultura e Pecuária**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
10**

**Caracteres fisiológicos e qualidade
do óleo de Palma sob diferentes
condições de estresse hídrico**

*Vanessa Quitete Ribeiro da Silva
Bruno Rafael da Silva
Andréa Carvalho da Silva*

**Embrapa Agrossilvipastoril
Sinop, MT
2023**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrossilvipastoril
Rodovia MT-222, Km 2,5, C.P. 343
CEP 78550-970, Sinop, MT
Fone: (66) 3211-4220
Fax: (66) 3211-4221
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Flavio Jesus Wruck

Secretária-Executiva
Dulândula Silva Miguel Wruck

Membros
Aisten Baldan,
Alexandre Ferreira do Nascimento,
Daniel Rabelo Ituassú,
Eulalia Soler Sobreira Hoogerheide,
Fernanda Satie Ikeda,
Jorge Lulu,
Rodrigo Chelegão,
Vanessa Quitete Ribeiro da Silva

Normalização bibliográfica
Aisten Baldan (CRB 1/2757)

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Diagramação
Renato da Cunha Tardin Costa

Foto da capa
Edison Ulisses Ramos Junior

1ª edição
Publicação digitalizada (2023)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agrossilvipastoril

Silva, Vanessa Quitete Ribeiro da

Caracteres fisiológicos e qualidade do óleo de Palma sob diferentes condições
de estresse hídrico / Vanessa Quitete Ribeiro da Silva... [et al.]. – Sinop, MT:
Embrapa, 2023.

PDF (20 p.) : il. color.; 22cm. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento /
Embrapa Agrossilvipastoril, ISSN 2675-0813; 10).

1. Cultivo do Dendê. 2. Palma de Óleo. 3. Dendê. 4. Qualidade do óleo. 5.
Fisiologia. I. Silva, Vanessa Quitete Ribeiro da. II. Silva, Bruno Rafael da. III. Silva,
Andréa Carvalho da. IV. Embrapa Agrossilvipastoril. V. Título. VI. Série

CDD 633.851

Aisten Baldan (CRB 1/2757)

© Embrapa, 2023

Sumário

Resumo	4
Abstract	5
Introdução.....	6
Material e métodos	9
Resultados e discussão.....	11
Análise da qualidade do óleo sob estresse hídrico	11
Caracterização fotossintética de cultivares de palma de óleo.....	12
Conclusões.....	17
Referências	17

Caracteres fisiológicos e qualidade do óleo de Palma sob diferentes condições de estresse hídrico

Vanessa Quitete Ribeiro da Silva¹, Bruno Rafael da Silva²,
Andréa Carvalho da Silva³

Resumo – Nos últimos anos, a produção mundial do óleo da palma ultrapassou a produção de óleos vegetais de outras culturas, como a soja. O Brasil tem áreas com grande potencial para produção da palma de óleo, dentre essas, os plantios podem ser feitos em áreas degradadas, proporcionando condições para aumento da taxa de emprego e renda na zona rural. Para o alcance de elevada produtividade, é essencial conhecer os mecanismos fisiológicos e parâmetros de qualidade do óleo, especialmente em situações de estresse hídrico. Nesse sentido, foram avaliadas características de qualidade do óleo de palma produzido sob as condições de estresse hídrico, bem como a Fluorescência da clorofila A em folíolos que constituem as folhas adultas das plantas de óleo de palma cultivar BRS C2501, durante o período seco da região de transição Cerrado-Amazônia, que se encontravam sob variação do nível de água por meio da irrigação (0%, 20%, 40%, 60% e 80%).

Termos para indexação: fotossíntese, palma de óleo, oleaginosas, biocombustíveis.

¹ Doutora em produção vegetal, pesquisadora, Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT.

² Mestre em química, analista, Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT

³ Doutora agronomia, professora, UFMT, Sinop, MT.

Physiological characters and quality of palm oil under different conditions of water stress

Abstract – In recent years, world production of palm oil has surpassed the production of vegetable oils from other crops, such as soybeans. Brazil has areas with great potential for the production of oil palm, among which, plantations can be made in degraded areas, providing conditions for an increase in the rate of employment and income in the rural area. To achieve high productivity, it is essential to know the physiological mechanisms and oil quality parameters, especially in situations of water stress. In this sense, quality characteristics of palm oil produced under water stress conditions were evaluated, as well as chlorophyll A fluorescence in leaflets that constitute the adult leaves of palm oil plants cultivar BRS C2501, during the dry season in the region. of Cerrado-Amazon transition, which were under water level variation through irrigation (0%, 20%, 40%, 60% and 80%).

Index terms: photosynthesis, palm oil, oilseeds, biofuels.

Introdução

O cenário mundial propõe ao agronegócio novos desafios de caráter social, político, econômico, ambiental e tecnológico. Esses aspectos exigem que o sistema agrícola se adapte para atender às demandas emergentes. Destaca-se o aumento da demanda mundial por óleos vegetais – insumo importante na elaboração de diversos produtos industriais – atribuído, principalmente, às mudanças advindas dos setores alimentício e energético. O consumo de matérias graxas animais foi substituído, nas últimas décadas, pelo uso de óleos vegetais em virtude de fatores relacionados a seguir: saúde, custos de produção, desenvolvimento tecnológico e versatilidade de uso (Deser, 2007). Em relação ao crescimento dessa demanda para alimentação, deve-se considerar ainda o crescimento populacional e a melhoria da renda per capita dos mais pobres, principalmente nos países em desenvolvimento, como China, Brasil e Índia (Martin, 2001). Quanto ao uso de óleos vegetais para fins energéticos, como na produção de óleo substituto de diesel na matriz de transportes, a previsão é de incrementos ainda maiores, pois trata-se de um mercado em ascensão.

O óleo de palma (*Elaeis guineensis* Jacq.), em comparação com outros óleos vegetais, respondeu por 35% da demanda global total de óleo vegetal em 2016 (Chong *et al.*, 2017), sendo o óleo mais consumido no mundo, e com grande possibilidade de aumento de produção, dada a grande pressão ambiental para substituição da matriz energética mundial pautada em combustível fóssil, podendo o óleo da palma ser usado como biodiesel.

Oleaginosa cultivada extensivamente em regiões tropicais como: Indonésia, Malásia, Tailândia e Papua Nova Guiné (Padfield *et al.*, 2019) e com grande apelo para a região central do Brasil, dada a condição de seca e chuva bem definidas e com alinhamento ecofisiológico às necessidades da planta. Os maiores produtores de óleo de palma são a Indonésia e a Malásia, que responderam por 58% e 26%, respectivamente, da produção global total de óleo de palma em 2021 (United..., 2022a,b). No Brasil, as plantações de dendê são predominantemente encontradas na região norte, particularmente no estado do Pará, e em 2021, este estado respondeu por 84% da produção total brasileira de óleo de palma colhida em cerca de 180.000 ha (United..., 2022c).

Sendo uma palmeira perene, seu crescimento e a produção de cachos contínuos são afetados diretamente pela variação estacional das condições

climáticas, segundo Carvalho (2000), as condições adequadas para a obtenção de altas produtividades são: precipitações pluviométricas em torno de 2000 mm, bem distribuídos anualmente, contudo sem a ocorrência de estações secas bem definidas, como é caso da região centro-oeste brasileira. Com no mínimo 5 horas de insolação diárias e temperaturas máxima média de (29 °C a 33 °C) e mínima média (22 °C a 24 °C). Todavia, a maioria dos centros de exploração agrícola da cultura, situam-se em regiões que não apresentam todo esse conjunto de condições ecofisiológicas.

A planta é uma palmeira com grande adaptabilidade climática, sendo produzida desde regiões ditas de sequeiro (Antonini; Malaquias, 2019) a regiões alagadas (Ponte *et al.*, 2019). A maioria das plantações de dendzeiros são conduzidas nas zonas intertropicais, predominantemente irrigadas pelas chuvas. Assim, dependendo da localização, efeitos negativos na produção de frutos são observados quando o déficit hídrico anual é maior que 50-200 mm, com perdas adicionais de produção entre 10% e 20% para cada 100 mm de déficit hídrico do valor limite inerente a cada localização (Lopes Filho, 2021). Portanto, o déficit hídrico é um importante fator de estresse ambiental que limita a produção de frutos de dendê em todo o mundo.

E a deficiência hídrica pode ser agravada pelas altas luminosidades e temperaturas nas regiões produtoras, culminando num conjunto de fatores, que podem levar a planta ao estresse abiótico. Conseqüentemente afetando a sua produção, fato este podendo ser facilmente contornado pela suplementação hídrica das plantas.

O número de horas de insolação também difere entre os locais, tanto no total quanto na distribuição anual. Carvalho (2000) cita que o total de 1800 horas.ano⁻¹ é considerado ideal, enquanto que valores abaixo de 1500 horas.ano⁻¹ são tidos como limitantes. No entanto, o mesmo autor relata que são obtidas produtividades da ordem de 18 toneladas de cachos por hectare/ano em locais como o Equador, com apenas 900 horas.ano⁻¹ de insolação. Essa informação é de extrema importância, pois deixa claro que o dendzeiro é uma planta com alta necessidade lumínica, facilmente encontradas na região norte do Estado de Mato Grosso, onde as médias diárias de insolação variam de 3,5 horas em janeiro a 10,5 horas no mês de agosto (Zamadei *et al.*, 2021).

Tais informações são importantes haja visto, o grande período de tempo para o crescimento e desenvolvimento da planta. A palma de óleo tem uma

arquitetura de broto monoaxial simples que produz fitômeros em sucessão regular. Cada fitômero produz uma única folha e uma inflorescência masculina ou feminina. Sendo os períodos de desenvolvimento de ambos os órgãos longos, até 50 meses para folhas e até 40 meses para inflorescências (Legros *et al.*, 2009). O dendezeiro é caracterizado por longos períodos de defasagem entre uma determinada influência ambiental, seca ou temperaturas extremas, ou abaixo da temperatura basal e seu efeito sobre o dreno reprodutivo, ou seja, o cacho a ser colhido.

Em suma o crescimento vegetal é influenciado por múltiplos fatores do ambiente que os circundam, por exemplo: níveis de radiação solar, disponibilidade hídrica, evapotranspiração da cultura, salinidade, temperatura e umidade relativa do ar, entre outros, imprimem respostas diferenciais no que tange o acúmulo de biomassa vegetal e capacidade de conversão da luz incidente no ambiente em potencial eletroquímico (Jesus *et al.*, 2017; Borella *et al.*, 2020).

O fato é que o aparecimento de frutos em plantas como o dendezeiro dependem da sua capacidade de coordenar os eventos de crescimento e desenvolvimento pautado na emissão da inflorescência, e toda essa coordenação fisiológica advém da sua capacidade de manter altos níveis fotossintéticos no decorrer do tempo, e este é um processo que ocorre nas folhas dos vegetais que depende diretamente da radiação solar bem como da água no solo, para que os estômatos mantenham-se abertos possibilitando a entrada do dióxido de carbono, que conseqüentemente só será reduzido metabolicamente pelos produtos formados pela etapa fotoquímica, totalmente dependente dos fótons de luz solar.

Por mais que se trate de um caminho alternativo para dissipação da energia solar, a fluorescência da clorofila *a* é utilizada como ferramenta de verificação de estresse biótico ou abiótico em plantas mediante a estimativa do rendimento fotoquímico através de fluorômetros portáteis. Essa afirmação baseia-se na integridade e funcionalidade do fotossistema II diante da exposição dos organismos às condições ambientais adversas (Dongsansuk *et al.*, 2013; Oliveira; Marengo, 2019).

Não obstante, a ampla abrangência do óleo de palma justifica a busca constante por uma matéria prima de qualidade, primando por sua produção em condições sustentáveis e com os baixos índices de agressão ao meio ambiente, principalmente por sua proximidade à floresta Amazônica. Sabe-se

que cerca de 80% do óleo de palma produzido é utilizado para fins alimentícios, em margarinas, gorduras para panificação e substituto para a manteiga de cacau. Além disso, o óleo de palma fornece vitamina E e beta-caroteno (pro-vitamina A) e tem algumas substâncias componentes do óleo (tocotrienóis e tocoferóis), tem propriedades anti-oxidantes, podendo representar papel protetor para células humanas.

Neste sentido, verificar-se-á as características de qualidade do óleo de palma produzido sob as condições de estresse hídrico na região de transição Cerrado-Amazônia permitindo decidir e recomendar a maior exploração desta cultura na região. Além disso, objetivou-se avaliar a Fluorescência da clorofila A em folíolos que constituem as folhas adultas das plantas de óleo de palma cultivar BRS C2501, durante o período seco da região de transição Cerrado-Amazônia, que se encontravam sob variação do nível de água por meio da irrigação (0%, 20%, 40%, 60% e 80%).

Material e métodos

O experimento foi realizado no município de Sinop, MT, na área experimental da Embrapa Agrossilvipastoril, localizada nas coordenadas 11°51'51" S e 55°30'09" W e com altitude média de 380 m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw (clima tropical com estação seca), com temperatura e precipitação média anual de 24,7 °C e 1.974 mm ano⁻¹, respectivamente (Souza *et al.*, 2013). O solo do local experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura argilosa (Santos *et al.*, 2013). O experimento foi conduzido em uma área total de 2,94 ha, com duas cultivares de palma de óleo (BRS C2501 e a BRS C2528), implantadas em fevereiro de 2012, em espaçamento no formato de triângulo equilátero com 9,0 m de distância uma das outras (totalizando 384 plantas) (Figura 2). Empregou-se um sistema de irrigação de microaspersão, com emissores autocompensantes do modelo DAN 2002, pressão de serviço de 1,5 bar a 4,0 bar, vazão de 40,0 L h⁻¹ a 49,0 L h⁻¹ e diâmetro de molhamento de 4,2 m. Na avaliação do sistema de irrigação, seguindo a metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), foram obtidos 90%, 81% e 89% de uniformidade de irrigação, eficiência de aplicação e uniformidade de pressão, respectivamente. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, com três repetições, cada bloco contendo cinco parcelas e duas cultivares nas subparcelas. Nas parcelas,

a fonte de variação foi representada pelos tratamentos de 80%, 60%, 40%, 20% e 0% da disponibilidade total de água no solo (DTA). Nas subparcelas, a fonte de variação foi representada duas cultivares avaliadas.

Para a análise dos parâmetros fisiológicos, em 10 folíolos (repetição) nas folhas de duas plantas de cada tratamento (0%; 20%; 40%, 60% e 80% da reposição de Água), a 3 m de altura, sob delineamento inteiramente casualizado, nos meses de junho a setembro (período seco da região) do ano de 2020, determinou-se os parâmetros da fluorescência da clorofila A: rendimento

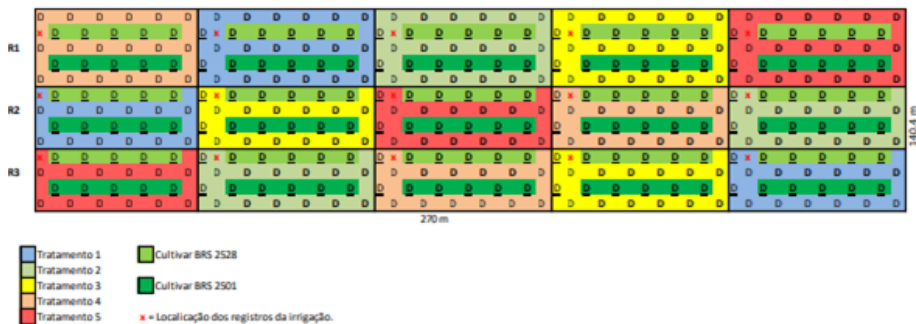


Figura 1. Croqui da área experimental.

Fonte: Elaborado pelo autores (2023).

quântico efetivo do PSII, taxa de transporte de elétrons, dissipação fotoquímica e não fotoquímica e o rendimento quântico máximo do PSII, No protocolo adaptado ao escuro, as folhas permaneceram na completa escuridão por 30 minutos e, após este período, repetiu-se o protocolo Fv/Fm e o rendimento quântico máximo do PSII durante o dia.

Para o Protocolo de Rendimento em “estado adaptado à luz”, as folhas foram expostas ao pulso de luz actínia com fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFF) de aproximadamente $560 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por cinco segundos, para obtenção da fluorescência no estado adaptado à luz (F'); posteriormente, submeteu-se a folha a progressivos pulsos de luz saturante ($5000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $10000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $15000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), estimando assim a fluorescência máxima do estado adaptado à luz (Fm') pelo valor de rendimento quântico efetivo do PSII pela equação $\Phi\text{PSII}=(Fm'-F')/Fm'$, em folíolos das folhas centrais da planta expostas a radiação solar direta no período entre 7 h e 12 h da manhã.

Nestes mesmos 10 folíolos foram aferidos também o Índice Spad da Clorofila com o Clorofilômetro Minolta. As mensurações instantâneas das radiações globais (Hg), fotossinteticamente ativa (PAR) e a luminância (LUX), foram obtidas concomitantemente às leituras com fluorômetro de luz modulada, com dados coletados por meio de sensores da Apogee® para Hg e RFA, e luxímetro digital LD-200 da Instrutherm®, no Ambiente Externo fora da área experimental e no ambiente interno sobre a folha de avaliação.

A análise da composição de ácidos graxos em amostras de óleo de palma foi realizada por cromatografia gasosa. As amostras de óleo foram extraídas das polpas de dendê por prensagem a frio e então esterificados com solução de hidróxido de potássio 0,5 M e ácido clorídrico em metanol (adaptado de Jham *et al.*, 1982). Os ácidos graxos esterificados foram extraídos com heptano e analisados em um cromatógrafo gasoso acoplado a espectrometria de massas, modelo 7890A (Agilent) e os espectros de massas dos compostos comparados às bibliotecas NIST/EPA/NIH/MPW (2011).

Resultados e discussão

Análise da qualidade do óleo sob estresse hídrico

A concentração e composição de ácidos graxos em óleo de palma podem variar de acordo a cultivar e espécie de óleo. Os resultados da análise da composição de ácidos graxos esterificados demonstraram que o nível de irrigação não influenciou no perfil dos ácidos graxos avaliados. Comparados aos valores de referência (Firestone, 2013), a composição de ácido palmítico deveria variar entre 37% e 48% para a espécie *Elaeis guineensis*, entretanto os valores médios encontrados para este ácido foram de 27,8% e 30,0% para as cultivares 2501 e 2508, respectivamente. A pequena diferença encontrada no teor de ácido palmítico nas duas cultivares pode estar relacionada, entre outros fatores, ao estágio de maturação dos frutos e características físico-químicas, como a acidez, que podem contribuir para a rancificação do óleo.

De acordo com a Codex Alimentarius, existe uma categoria de óleo de palma, denominada “palm oil with a higher oleic acid”, para designar os híbridos de óleo de palma com alto teor de ácido oleico. Machado *et al.* (2017) realizou a análise da composição de ácidos graxos de óleo híbrido de palma

(*E. guineensis* x *E. oleifera*). A composição de ácidos graxos encontrada para híbridos de óleo de palma no estudo foram próximos aos encontrados nas cultivares 2501 e 2508, conforme tabela 1.

O híbrido entre *E. guineensis* x *E. oleifera*, possui além do teor mais elevado de ácido oleico (entre 52% e 57%), alta concentração de compostos bioativos, em relação ao óleo de palma convencional. A elevada concentração de ácido oleico confere ao óleo de palma, entre outros fatores, maior fluidez à tempe-

Tabela 1. Composição de ácidos graxos esterificados.

Cultivar	Miristic acid (%)	Palmitic acid (%)	Linoleic acid (%)	Oleic acid (%)	Stearic acid (%)	Arachidonic acid (%)
2501	0,51	27,78	8,95	57,84	4,66	0,26
2508	0,51	30,02	7,46	57,13	4,59	0,28

Fonte: Elaborado pelo autores (2023).

ratura ambiente, devido à menor concentração de ácido graxo saturado (ácido palmítico), conferindo-lhe melhores características do ponto de vista nutricional (relação ácidos graxos insaturados/saturados) e um ponto de fusão menor, entre 22 °C e 26 °C (Olivero, 2019).

A composição de ácidos graxos do óleo, bem como a demais caracterização físico-química, pode contribuir para a obtenção de um padrão de identificação dos óleos produzidos no Brasil, junto à Codex Alimentarius.

Caracterização fotossintética de cultivares de palma de óleo

O índice SPAD é um indicativo do estado de nitrogênio nas folhas em tempo real (Tabela 2), pois, normalmente, existe correlação significativa entre a intensidade da cor verde, teor de clorofila e a concentração de nitrogênio nos órgãos foliares (Gil *et al.*, 2002). Durante o cultivo, valores de nitrogênio inferiores aos esperados para determinado táxon, indicam deficiência deste nutriente, essencial para a estrutura biomolecular de pigmentos e proteínas que compõem a atividade fotossintética das plantas (Pôrto *et al.*, 2011).

As informações expressas na Tabela 2, nos mostram que o valor do Índice Spad nos folíolos das plantas de óleo de palma não foram afetados pelos tratamentos a que as plantas estavam submetidas, haja visto que os maiores

Tabela 2. Índice SPAD em folíolos de plantas de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) nos níveis de 0%, 20%, 40%, 60% e 80% da reposição de água (RA), Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT, 2021.

	18/06/2021	09/07/2021	30/07/2021	20/08/2021	10/09/2021
0	57,31 a	57,31 a	60,34 a	60,04 ns	66,20 a
20	54,85 a	54,85 a	64,42 a	59,73	61,63 a
40	39,26 b	39,26 b	60,84 a	57,03	41,73 c
60	**	50,10 a	58,33 a	64,39	56,39 b
80	26,43 c	26,43 c	56,36 a	58,37	48,98 d

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autores (2023).

valores médios podem ser encontrados nas plantas sem irrigação, o que pode ser efeito do ajuste fisiológico desempenhado por essa planta conforme relatado por Legros *et al.* (2009), onde as alterações dos efeitos ambientais são diluídos ao longo do crescimento da folha e do cacho.

O processo fotossintético realizado por plantas, algas e algumas bactérias desempenha papel fundamental na estrutura de diversos ecossistemas naturais, agindo sobre o quantitativo dos fluxos de matéria (Malhi *et al.*, 1998) e fornecendo base energética às cadeias tróficas que os compõem (Gurevitch *et al.*, 2009). As plantas, por meio de complexas reações enzimáticas, convertem a energia adjacente aos fótons de luz em potencial eletroquímico, destinado à manutenção da integridade biomolecular e síntese de compostos orgânicos envolvendo a liberação de O₂ mediante captação de CO₂ atmosférico e água (Taiz *et al.*, 2017).

Por se tratar de um mecanismo biológico, múltiplos componentes intrínsecos e extrínsecos aos organismos vegetais afetam a capacidade de assimilar carbono, dessa forma, a compreensão sobre fotossíntese depende do esforço científico de múltiplas áreas, como mecânica quântica, biofísica, bioquímica, biologia molecular e estrutural, ecologia e fisiologia vegetal. Outrossim, o curso de tempo necessário às reações fotossintéticas é variável de microssegundos a dias, do mesmo modo, respostas diferenciadas são induzidas de acordo com a escala espacial e períodos adotados (Nelson; Ben-Shem, 2004; Marengo *et al.*, 2014a).

Na tabela 3 encontram-se expressos os parâmetros avaliados na Fluorescência da clorofila A, onde o funcionamento da Etapa fotoquímica da

Tabela 3. Máxima eficiência do PSII (FV/FM), rendimento quântico efetivo do PSII (Φ PSII), dissipação não fotoquímica (NPQ), fração aberta de centros de reação do PSII (qL), taxa de transporte de elétrons (ETR) em folíolos de plantas de dende (*Elaeis guineensis* Jacq.) submetidos aos níveis de 0%, 20%, 40%, 60% e 80% da reposição de água (RA). Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop, MT, 2021.

	(%)	FV/FM	Φ PSII	NPQ	qL	ETR
18/06/2021	0	0,730 a	0,598 a	0,859 ns	0,134 b	138,173 b
	20	0,658 b	0,398 b	1,405	0,164 b	92,489 c
	40	0,774 a	0,604 a	1,273	0,121 b	128,483 b
	60	0,721 ab	0,484 b	1,066	0,112 b	94,912 c
	80	0,744 a	0,554 a	1,362	0,243 a	197,785 a
09/07/2021	0	0,735 a	0,535 ns	1,506 a	0,161 a	133,760 a
	20	0,551 b	0,520	0,212 c	0,015 b	52,085 b
	40	0,762 a	0,569	1,489 a	0,122 a	116,888 a
	60	0,758 a	0,647	0,730 b	0,140 a	161,966 a
	80	0,783 a	0,697	0,589 b	0,047 b	83,837 b
30/07/2021	0	0,683 b	0,575 ns	0,729 ns	0,136 a	143,451 a
	20	0,733 a	0,611	0,948	0,058 b	67,356 c
	40	0,723 a	0,573	1,038	0,135 a	118,576 b
	60	0,757 a	0,583	1,017	0,101 a	112,605 b
	80	0,645 b	0,504	0,963	0,112 a	100,923 b
20/08/2021	0	0,673 b	0,647 a	0,977 ns	0,106	131,511a
	20	0,714 a	0,493 b	1,720	0,081	61,17 b
	40	0,777 a	0,643 a	1,037	0,091	108,928 a
	60	0,777 a	0,536 b	1,287	0,098	106,419 a
	80	0,673 b	0,647 b	1,460	0,124	84,530 b
10/09/2021	0	0,685 b	0,499 b	1,292 b	0,087 c	62,467 b
	20	0,717 b	0,451 b	2,183 a	0,054 c	35,040 c
	40	0,748 a	0,465 b	2,475 a	0,163 a	107,72 a
	60	0,757 a	0,576 a	1,439 b	0,122 b	111,091a
	80	0,768 a	0,588 a	1,344 b	0,107 b	109,793a

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autores (2023).

fotossíntese pode ser observado, ou seja, constatamos se os fótons de luz nos comprimentos de onda 650 nm e 400 nm, estão devidamente sendo absorvidos e transformados em energia química, ATP e NADP⁺, durante a fotossíntese. Sequência de reações bioquímicas, que garantem a redução do dióxido de carbono a açúcar.

O balanço entre os caminhos de dissipação energética ao fotossistema II é determinado diante dos padrões de estresse ambiental, a excessiva irradiância solar sobre a superfície fotossintetizante, disponibilidade hídrica restrita, variações diurnas na temperatura e umidade relativa do ar desfavoráveis induzem à eliminação da energia através do calor (Costa *et al.*, 2015). Por outro lado, Marengo *et al.* (2014), afirmam que a plasticidade fenotípica dos organismos vegetais às condições ecológicas proporciona a capacidade de aclimatar-se fotoquimicamente aos gradientes climatológicos diários.

Nos folíolos avaliados observa-se que a máxima eficiência do PSII, foi afetada pelos horários das avaliações e não propriamente pela disponibilidade de água, dada as flutuações dos valores medidos entre os tratamentos ao longo do tempo. Observa-se também que os tratamentos com as maiores reposições de água tenderam a máxima eficiência do fotossistema II. Contudo, dado período seco da região atreladas a alta radiação e temperatura do ar, observa-se valores abaixo dos limites indicativos para estresse vegetal, como relatado por Björkman e Demmig (1987), onde decréscimos nos resultados abaixo de 0,83 indicam condição de estresse para as plantas terrestres, influenciados por fatores bióticos e abióticos, podendo ser indício de fotoinibição da fotossíntese.

Por mais que se trate de um caminho alternativo para dissipação da energia solar, a fluorescência da clorofila *a* é utilizada como ferramenta de verificação de estresse biótico ou abiótico em plantas mediante a estimativa do rendimento fotoquímico através de fluorômetros portáteis. Essa afirmação baseia-se na integridade e funcionalidade do fotossistema II diante da exposição dos organismos às condições ambientais adversas (Dongsansuk *et al.*, 2013; Oliveira; Marengo, 2019).

Em outra perspectiva, a manutenção da folha ante a condição real de luminosidade do ambiente nos fornece a efetiva eficiência fotoquímica do PSII

(Φ PSII), que permite obter para uma planta qualquer em estado estável com o ambiente a parcela do fluxo de fótons fotossintetizantes utilizada em dissipação fotoquímica, ou seja, aqueles que realmente excitam o elétron da água para ser carregado ao longo da cadeia transportadora de elétrons (Baker, 2008). Os valores do rendimento quântico efetivo do PSII, para os folíolos das plantas de dende não apresentaram relação direta com os níveis de reposição de água, porém mantiveram-se muito próximos em todos os tratamentos, contudo os menores rendimentos foram constatados quando as plantas se encontravam já a 4 meses na condição de seca da região, ou seja, expostas as maiores radiações globais, menores déficits de pressão de vapor e maiores temperaturas do ar (Zamadei *et al.*, 2021).

A dissipação não fotoquímica (NPQ), caracteriza a parcela de energia fotoquímica extinguida por perda de calor, como forma de proteção da maquinaria fotossintética, especificamente, Fotossistemas I e II, Citocromo B6F e a bomba de prótons ATP-Sintase, sendo todos estes constituintes das membranas do tilacóide no cloroplasto das plantas. E os valores altos, independente do tratamento sugere que houve uma alta extinção da energia fotoquímica na forma de calor, assim como observado por Correa (2020), em plantas jovens de dende sob condição de estresse hídrico.

Os tecidos foliares representam a base do processo fotossintético, geralmente, são as primeiras partes do corpo vegetal a responder ao aparecimento de condições desfavoráveis no ambiente de crescimento, demonstrando ontogenia e morfofisiologia reguladas para minimizar danos irreversíveis sobre a integridade metabólica da planta, buscando ainda maximizar os processos fotoassimilativos (Shirke; Pathre, 2003).

Por fim, a taxa de transporte de elétrons (ETR), estimada com base no fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFF) de $560 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que dispõe da parcela do fluxo incidente que é efetivamente carregado para atividade fotoquímica na cadeia transportadora de elétrons, sugere que a progressão do período seco da região interfere na taxa de transporte de elétrons, o que pode acarretar menores quantidades de ATP e NADP⁺ nos folíolos de plantas de palma de óleo, fato este não observado entre os tratamentos no início do período seco da região.

Conclusões

Plantas adultas de palma de óleo possuem a capacidade de regular o transporte de elétrons e dissipar calor em condições de altas temperaturas e radiações, diminuindo essa capacidade após 4 meses na estação seca na transição do Cerrado-Amazônia. Plantas de palma de óleo crescendo em condições de sequeiro na região norte do estado de Mato Grosso não sofrem fotoinibição.

Os resultados da análise da composição de ácidos graxos esterificados demonstraram que o nível de irrigação não influenciou no perfil dos ácidos graxos avaliados, demonstrando que o estresse hídrico não altera a qualidade do óleo de palma.

Referências

- ANTONINI, J. C. dos A.; MALAQUIAS, J. V. **Estabelecimento do momento de irrigação da palma de óleo, cultivada sob condições de clima tropical de savana**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2019. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 350).
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual review of Plant Biology**, v. 59, p. 89-113, 2008. Disponível em: <https://www.doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759>. Acesso em: 7 abr. 2023.
- BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v. 170, n. 4, p. 489-504, 1987.
- BORELLA, D. R.; SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; FELIPE, R. T. A.; SILVA, K. N. C.; SOUZA, J. H. G. de. Exigências térmicas e filocrono de *Dipteryx alata* sob níveis de sombreamento na transição Cerrado-Amazônia. **Scientia Plena**, v. 16, n. 5, p. 1-15, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.051702>. Acesso em: 22 ago. 2023.
- CARVALHO, C. J. R. de. Ecofisiologia do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq). In: VIÉGAS, I. de J. M.; MÜLLER, A. A. (Ed.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p. 89-124.
- CHONG, K. L.; KANNIAH, K. D.; POHL, C.; TAN, K. P. A review of remote sensing applications for oil palm studies. **Geo-spatial Information Science**, v. 20, n. 2, p.184-200, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1337317>. Acesso em: 22 ago. 2023.
- COSTA, A. C.; REZENDE-SILVA, S. L.; MEGGUER, C. A.; MOURA, L. M. F.; ROSA, M.; SILVA, A. A. The effect of irradiance and water restriction on photosynthesis in young jatobá-do-cerrado (*Hymenea stigonocarpa*) plants. **Phoyosynthetica**, v. 53, n. 1, p. 118-127, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-015-0085-6>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- DESER. Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais. **A cadeia produtiva do dendê: estudo exploratório**. Curitiba: Deser, 2007.

DONGSANSUK, A.; LÜTZ, C.; NEUNER, G. Effects of temperature and irradiance on quantum yield of PSII photochemistry and xanthophyll cycle in a tropical and a temperate species.

Photosynthetica, v. 51, n. 1, p. 13-21, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-012-0070-2>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FIRESTONE, D. (ed.). **Physical and chemical characteristics of oils, fats, and waxes**. 3rd. ed. Urbana, IL: AOCS Press, 2013.

GIL, P. T. de; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata.

Horticultura Brasileira, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362002000400020>. Acesso em: 10 jun. 2023.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009.

JESUS, J. B. de; FERREIRA, R. A.; GAMA, D. C.; GOES, J. H. A. de. Estabelecimento de Espécies Florestais Nativas Via Semeadura Direta no Rio Piauitinga-Sergipe. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e20150288, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.028815>. Acesso em: 10 ago. 2023.

JHAM, G. N.; TELES, F. F. F.; CAMPOS, L. G. Use of aqueous HCl/MeOH as esterification reagent for analysis of fatty acids derived from soybean lipids. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 59, n. 3, p. 132-133, 1982.

LEGROS, S.; MIALET-SERRA, I.; CALIMAN, J. P.; SIREGAR, F. A.; CLEMENT-VIDAL, A.; FABRE, D.; DINGKUHN, M. Phenology, growth and physiological adjustments of oil palm (*Elaeis guineensis*) to sink limitation induced by fruit pruning. **Annals of Botany**, v. 104, n. 6, p. 1183-1194, 2009.

LOPES FILHO, W. R. L.; RODRIGUES, F. H. S.; FERREIRA, I. V. L.; CORREA, L. O.; CUNHA, R. L.; PINHEIRO, H. A. Physiological responses of young oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plants to repetitive water deficit events. **Industrial Crops & Products**, v. 172, Article 114052, 2021.

MACHADO, A. F. de F.; WILHELM, A. E.; OLIVEIRA, M. E. C.; GUEDES, A. M. M.; YOKOYAMA, R.; BORGES, P. P. V.; BIZZO, H. R.; ANTONIASSI, R. Óleo de palma de alto oleico produzido no Brasil. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE HORTICULTURA, 1., 2017, Lisboa. **Livro de Resumos**. Lisboa: Associação Portuguesa de Horticultura, 2017. p. 231. Po145.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research: atmospheres**, v. 103, n. 24, p. 31593-31612, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/98JD02647>. Acesso em: 8 jun. 2023.

MARENCO, R. A.; NASCIMENTO, H. C. S.; MAGALHÃES, N. S. Stomatal conductance in Amazonian tree saplings in response to variations in the physical environment. **Photosynthetica**, v. 52, n. 4, p. 493-500, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-014-0056-3>. Acesso em: 10 maio 2023.

MARTIN, M. A. The future of the world food system. **Outlook on Agriculture**, v. 30, n. 1, p. 11-19, 2001. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.5367/000000001101293409>. Acesso em: 05 ago. 2023.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. 3rd. ed. Logan, Utah: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978.

- NELSON, N.; BEN-SHEM, A. The complex architecture of oxygenic photosynthesis. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 5, n. 12, p. 971-982, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrm1525>. Acesso em: 10 maio 2023.
- OLIVEIRA, M. F.; MARENCO, R. A. Photosynthesis and biomass accumulation in *Carapa surinamensis* (Meliaceae) in response to water stress at ambient and elevated CO₂. **Photosynthetica**, v. 57, n. 1, p. 137-146, 2019.
- OLIVERO, J. A. The high oleic option. **Ofi Magazine**, v. 35, n. 1, p. 27-29, 2019.
- PADFIELD, R.; HANSEN, S.; DAVIES, Z. G.; EHRENSPERGER, A.; SLADE, E. M.; EVERS, S.; PAPARGYROPOULOU, E.; BESSOU, C.; ABDULLAH, N.; PAGE, S.; ANCRENAZ, M.; APLIN, P.; DZULKAFI, S. B.; BARCLAY, H.; CHELLAIAH, D.; CHOUDHARY, S.; CONWAY, S.; COOK, S.; COPELAND, A.; CAMPOS-ARCEIZ, A.; DEERE, N. J.; DREW, S.; GILVEAR, D.; GRAY, R.; HALLER, T.; HOOD, A. S.-C.; HUAT, L. K.; HUYNH, N.; KANGAYATKARASU, N.; KOH, L. P.; KOLANDAI, S. K.; LIM, R. A. H.; YEONG, K. L.; LUCEY, J. M.; LUKE, S. H.; MITCHELL, S. L.; MONTEFRIO, M. J.; MULLIN, K.; NAINAR, A.; NEKARIS, K. A.-I.; NIJMAN, V.; NUNES, M.; NURHIDAYU, S.; O'REILLY, P.; PUAN, C. L.; RUPPERT, N.; SALIM, H.; SCHOUTEN, G.; TALLONTIRE, A.; SMITH, T. E. L.; TAO, H.-H.; THAM, M. H.; VARKEY, H.; WADEY, J.; YULE, C. M.; AZHAR, B.; SAYOK, A. K.; VAIRAPPAN, C.; BICKNELL, J. E.; STRUEBIG, M. J. Co-producing a research agenda for sustainable palm oil. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 2, p. 1-17, 2019. Article 13. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00013>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- PONTE, N. H. T. da; SANTOS, R. I. N.; LOPES FILHO, W. R. L.; CUNHA, R. L.; MAGALHAES, M. M.; PINHEIRO, H. A. Morphological assessments evidence that higher number of pneumatophores improves tolerance to long-term waterlogging in oil palm (*Elaeis guineensis*) seedlings. **Flora**, v. 250, p. 52-58, 2019.
- PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. do C.; ARRUDA, J. A. de. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 311-315, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000300009> Acesso em: 10 jun. 2023.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- SHIRKE, P. A.; PATHRE, U. V. Diurnal and Seasonal Changes in Photosynthesis and Photosystem 2 Photochemical Efficiency in *Prosopis juliflora* Leaves Subjected to Natural Environmental Stress. **Photosynthetica**, v. 41, n. 1, p. 83-89, 2003.
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1334>. Acesso em: 8 jul. 2023.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- UNITED STATE. United State Department of Agriculture. Foreing Agriculture Service. **Indonesia**. 2022a. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/regions/indonesia>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- UNITED STATE. United State Department of Agriculture. Foreing Agriculture Service. **Malaysia**. 2022b. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/regions/malaysia>. Acessado em: 10 nov. 2022.

UNITED STATE. United State Departament of Agriculture. Foreing Agriculture Service. **Brazil**. 2022c. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/regions/brazil>. Acessado em: 10 nov. 2022.

ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P. de; ALMEIDA, F. T. de; ESCOBEDO, J. F. Daily Global and diffuse radiation in the Brazilian Cerrado-Amazon transition region. **Ciência e Natura**, v. 43, e37, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460X39775>. Acesso em: 10 ago. 2023.

Embrapa

Agrossilvipastoril

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL



UNIÃO E RECONSTRUÇÃO