

## RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DA PALMA DE ÓLEO IRRIGADA EM FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO

JESSICA LIMA VIANA<sup>1</sup>; CORNÉLIO ALBERTO ZOLIN<sup>2</sup>; VANESSA QUITETE RIBEIRO DA SILVA<sup>2</sup> E ADILSON PACHECO DE SOUZA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, CEP: 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil, [jessica\\_llivia@hotmail.com](mailto:jessica_llivia@hotmail.com).

<sup>2</sup> Pesquisador(a), Embrapa Agrossilvipastoril, Rodovia dos Pioneiros MT-222, Km 2,5, Zona Rural, Caixa Postal: 343, CEP: 78550-970, Sinop, Mato Grosso, Brasil, [cornelio.zolin@embrapa.br](mailto:cornelio.zolin@embrapa.br); [vanessa.quitete@embrapa.br](mailto:vanessa.quitete@embrapa.br).

<sup>3</sup> Professor, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Avenida Alexandre Ferronato, 1200, Cidade Jardim, CEP: 78550-728, Sinop, Mato Grosso, Brasil, [pachecoufmt@gmail.com](mailto:pachecoufmt@gmail.com).

### 1 RESUMO

Objetivou-se avaliar a taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática e a eficiência do uso da água e a produtividade (número e massa fresca dos cachos por planta) de duas cultivares de palma de óleo irrigada, com 4 anos e 4 meses de idade, em Sinop-MT. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados, sendo os tratamentos às disponibilidades de água no solo de 80%, 60%, 40%, 20% e 0% em parcelas subdivididas nas cultivares BRS C2501 e BRS C2528, com três repetições. A palma de óleo foi sensível ao déficit hídrico apresentando alterações nas variáveis fisiológicas e redução no número e massa fresca dos cachos. A máxima taxa fotossintética da palma de óleo ( $A = 23,32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi obtida com 80% da disponibilidade de água no solo, independentemente da cultivar. As palmas de óleo sem irrigação submetidas a deficiência hídrica recuperaram a taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática no período chuvoso, indicando tolerância à deficiência hídrica e eficiência na regulação estomática.

**Palavras-chave:** déficit de pressão de vapor, *Elaeais guineenses*, manejo da irrigação, trocas gasosas.

VIANA, J. L.; ZOLIN, C. A.; SILVA, V. Q. R. da; SOUZA, A. P. de  
PHYSIOLOGICAL AND PRODUCTIVE RESPONSES OF IRRIGATED OIL PALM  
IN EARLY DEVELOPMENT PHASE

### 2 ABSTRACT

The aim of this study is to assess gas exchange (photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency) and yield characteristics (number and fresh mass of bunches) of oil palm under soil water depletion levels. This study was carried out in the experimental field of Embrapa Agrossilvi pastoril, in the north region of the state of Mato Grosso. The experimental design was randomized blocks in subdivided plots. Main plots consisted of five soil water depletion levels, respectively 80%, 60%, 40%, 20% and 0%. Subplots were represented by two cultivars (BRS C2501 and BRS C2528) with three

replications. The oil palm was sensitive to water deficit presenting physiological changes and reduction in number and fresh mass of bunches. The maximum photosynthetic rate of oil palms was obtained with 80% of soil water depletion level ( $A = 23.32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), regardless of the cultivars. Plants under strong water deficit (without irrigation) recovered the rate of photosynthesis, transpiration and stomatal conductance in the rainy season, indicating tolerance to water deficit and efficiency in stomatal regulation.

**Keywords:** vapor pressure deficit, *Elaeais guineenses*, irrigation management, gas exchange.

### 3 INTRODUÇÃO

A palma de óleo (*Elaeais guineenses* Jacq.) é uma espécie perene, oleaginosa de metabolismo fotossintético C3, com origem africana. A cultura foi introduzida no Brasil por meio de sementes trazidas pelos escravos. Esta cultura apresenta alto rendimento ( $\text{t ha}^{-1}$ ) dentre as culturas oleaginosas, com produção média de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare ano e média de extração de óleo de 22% (CORLEY; TINKER, 2003; CUNHA et al., 2010). A palma de óleo inicia sua fase produtiva no final do terceiro ano após o plantio e atinge rendimento máximo na idade de 7 a 12 anos, mantendo-se produtivo por até 25 anos (VEIGA; SMIT; FÚRIA, 2001).

A condição hídrica da palma de óleo é importante para produtividade da cultura, principalmente em regiões onde não há ocorrência de chuvas durante alguns meses do ano, a exemplo da região norte de Mato Grosso, considerada área subótima por deficiência hídrica. Neste sentido, um dos aspectos mais importantes nas últimas décadas para viabilizar os plantios comerciais da cultura está relacionado a sua demanda hídrica (CARR, 2011), pois a disponibilidade de água é o principal fator limitante da produtividade da palma de óleo (KALLARACKAL; JEYAKUMAR; GEORGE, 2004). Existem grandes áreas em todo mundo com plantio da palma de óleo e que carecem de condições hídricas ótimas para a cultura, sendo o resultado direto dos plantios em regiões

subótimas/marginais a redução da produtividade de cachos frescos e óleo (CORNAIRE et al., 1994).

A palma de óleo é uma cultura exigente em água para seu crescimento e produção (CHA-UM et al., 2013; KALLARACKAL; JEYAKUMAR; GEORGE, 2004) e os plantios desta palmeira devem considerar a suplementação hídrica, principalmente em áreas marginais, como na região norte de Mato Grosso, contudo, são praticamente inexistentes estudos sobre o desenvolvimento da cultura em regime de irrigação que indiquem o melhor nível de depleção da água no solo ou intervalo ótimo de irrigação (CARR, 2011).

Embora com grande potencial de expansão e geração de renda, são extremamente escassos os trabalhos com palma de óleo irrigada no Brasil, o que dificulta o avanço dos cultivos para fins comerciais. Como aponta a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017), a expansão da cultura para outras regiões com maior déficit hídrico, como o Cerrado e áreas de transição, depende de irrigação e, nesse sentido, pesquisas sobre a cultura em tais regiões possui caráter inovador.

Outro ponto relevante a ser destacado é a necessidade de se mensurar as características fisiológicas da palma de óleo sob diferentes disponibilidades de água no solo, uma vez que tais características estão relacionadas com as alterações no crescimento, desenvolvimento e produção das plantas, e são determinantes para avaliar

a capacidade de resistência ao estresse hídrico (SUN et al., 2011; CARR, 2011; JAZAYERI et al., 2015). Como exemplo, em situações de baixa disponibilidade de água no solo e alto valor de déficit de pressão de vapor atmosférico os estômatos fecham, sendo um importante fator que limita as trocas gasosas, com consequente efeito sobre a fotossíntese, produção de matéria seca e produtividade (SMITH, 1989; KERBAUY, 2008). Para sobreviver em condições de déficit hídrico as plantas, por sua vez, respondem através de uma série de processos fisiológicos, celulares e moleculares que culminam na tolerância ao estresse (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZALI, 2007).

Considerando o exposto, objetivou-se com o presente trabalho estudar as características fisiológicas e produtivas da palma de óleo em fase inicial de produção em área subótima do estado de Mato Grosso em resposta a diferentes níveis de depleção da água no solo, de modo a fornecer bases científicas para subsidiar os plantios desta cultura.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

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<sup>-1</sup>, respectivamente (SOUZA et al., 2013). O solo do local experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com textura argilosa (SANTOS et al., 2013a).

O experimento foi conduzido em uma área total de 2,94 hectares, com duas cultivares de palma de óleo (BRS C2501 e a BRS C2528), implantadas em fevereiro de 2012, o período do estudo foi do ano de 2016 até março de 2017, em espaçamento no formato de triângulo equilátero com 9,0 m de distância uma das outras (totalizando 384 plantas). Empregou-se um sistema de irrigação de microaspersão, com emissores autocompensantes do modelo DAN 2002, pressão de serviço de 1,5 a 4,0 bar, vazão de 40,0 a 49,0 L h<sup>-1</sup> e diâmetro de molhamento de 4,2 m. A avaliação da eficiência do sistema de irrigação, realizou-se seguindo a metodologia proposta por MERRIAN e KELLER (1978), a qual foram obtidos 90, 81 e 89% de uniformidade de irrigação, eficiência de aplicação e uniformidade de pressão, respectivamente.

### 4.2 Delineamento experimental e condução do experimento

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. Por conseguinte, foram avaliadas três plantas de cada cultivar nas subparcelas, seis plantas por parcela, trinta plantas por bloco, com total de 90 plantas avaliadas. No tratamento sem irrigação a área foliar média foi de 23,76 m<sup>2</sup> com média de 26 folhas e nos tratamentos irrigados a área foliar média foi de 54,37 m<sup>2</sup> e média de 32 folhas.

Para a determinação da DTA foram coletadas amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm. As amostras foram saturadas e submetidas às tensões de 2, 4, 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa em Câmara de Richard para

determinação da umidade das amostras nas respectivas tensões. A curva de retenção de água no solo foi ajustada com base no modelo de Van Genuchten (1980), conforme Equações 1 e 2 descritas abaixo, para as duas profundidades supraditas:

$$\theta \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} = 0,27 + \frac{(0,61-0,27)}{[1+(0,4305 \times |\psi|^{1,3462})^{0,2572}]} \quad 0 - 20 \text{ cm, } R^2 = 0,965 \quad (1)$$

$$\theta \text{ (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} = 0,28 + \frac{(0,62-0,28)}{[1+(1,2621 \times |\psi|^{1,3052})^{0,2338}]} \quad 20 - 40 \text{ cm, } R^2 = 0,962 \quad (2)$$

Com os resultados da curva de retenção ajustada, obteve-se a DTA de 58 mm, para profundidade de 0 - 40 cm, considerando a capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) em -10 kPa e -1.500 kPa, como 0,47 e 0,31 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup> (para 0 - 20 cm) e de 0,44 e 0,31 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup> (para 20 - 40 cm), respectivamente.

O momento de irrigação foi definido pelo balanço hídrico (BH), considerando os fluxos de água de entrada e saída do volume de solo explorado pelas raízes (volume de controle) e a profundidade efetiva do sistema radicular de 40 cm. Como componentes de entrada no BH foram considerados a irrigação e a precipitação; e de saída a evapotranspiração. A irrigação foi efetuada toda vez que o solo atingiu os percentuais de DTA definidos como tratamentos. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) estimada com o método de *Penman Monteith* parametrizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (Allen et al., 1998) e o coeficiente da cultura (Kc = 1).

Durante a condução do experimento, os tratos culturais (desbaste de folhas, coroamento e roçagem e controle de formigas cortadeiras), foram iguais para

todas as plantas. O coroamento e roçagem foram realizados no final do período chuvoso (do ano de 2012 a 2017), o desbaste de folhas foi realizado junto com a colheita dos cachos (2016 e 2017). A adubação de macronutrientes em cobertura foi realizada a cada seis meses, com 750 g de superfosfato simples, 500 g de ureia e 400 g de cloreto de potássio por planta, bem como foram realizadas adubações de cobertura de micronutrientes e a correção do solo com calcário dolomítico, sendo aplicadas 100 g de FTE (Fritted Trace Elements) BR 12 (9% de Zn, 1,8% de B, 0,8% de Cu, 2% de Mn, 3,5% de Fe e 0,1% de Mo) e 50 g de calcário por planta.

### 4.3 Aspectos fisiológicos e produtivos avaliados na palma de óleo

Para verificar o desempenho da palma de óleo em relação aos diferentes níveis de DTA no solo foram avaliados o número e a massa fresca dos cachos por planta. Adicionalmente, com o analisador de gás infravermelho modelo LCpro-SD (ADC BioScientific Ltd.) e intensidade luminosa média de 1.830 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (o máximo de intensidade luminosa obtida com o analisador de gás infravermelho), foram analisadas a taxa de transpiração foliar (E, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a taxa de fotossíntese foliar (A, μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), a condutância estomática (g<sub>s</sub>, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a eficiência no uso da água (A/E). As avaliações foram realizadas no dia subsequente a irrigação, em folha totalmente desenvolvida, na parte mediana da folha, no período entre 9h30 e 11h30, conforme as datas de avaliações descritas na Tabela 1.

De acordo com Dufrene e Saugier (1989), a palma de óleo apresenta sua taxa de assimilação foliar máxima em 1100 μmol de fóton m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, com medidas realizadas na 8ª ou 9ª folha jovem, Déficit de Pressão de Vapor (DPV) inferior a 0,4

kPa, temperatura foliar entre 29 a 37 °C e  $g_s$  superior a 9 mm s<sup>-1</sup>.

**Tabela 1.** Datas das avaliações fisiológicas com o analisador de gás infravermelho modelo LCpro-SD, em três épocas de avaliação, para duas cultivares de Palma de óleo, em Sinop-MT.

Percentuais de DTA (%)	Época 1	Época 2	Época 3
80	17/06/2016	16/09/2016	13/12/2016
60	12/07/2016	31/08/2016	10/01/2017
40	28/06/2016	08/09/2016	09/01/2017
20	13/07/2016	20/09/2016	11/01/2017
0	-----	23/08/2016	12/12/2016

Época 1: período de seca entre Junho a Agosto; Época 2: início do período chuvoso entre final de Agosto a Setembro e Época 3: período chuvoso entre Outubro e Janeiro.

Com intuito de analisar o comportamento das trocas gasosas com as variações sazonais da precipitação, as análises foram realizadas em três épocas distintas: Época 1 (período de seca entre Junho a Agosto), Época 2 (início do período chuvoso entre final de Agosto e Setembro) e Época 3 (período chuvoso entre Outubro e Janeiro).

Com os valores da temperatura foliar obtida nas avaliações com o analisador de gás infravermelho, bem como os valores de temperatura e umidade relativa do ar provenientes da estação meteorológica automática da Embrapa Agrossilvipastoril nos dias e horários das avaliações, calculou-se o déficit de pressão de vapor (DPV) conforme a Equação 3 descrita por Buck (1981):

$$DPV = e_s(\text{folha}) - e_a(\text{ar}) \quad (3)$$

Em que: DPV: déficit de pressão de vapor (kPa);  $e_s(\text{folha})$ : pressão de vapor de saturação à temperatura da folha (kPa); e  $e_a(\text{ar})$ : pressão de vapor d'água à temperatura do ar (kPa).

A pressão de vapor de saturação da folha  $e_s(\text{folha})$  e a pressão de vapor de saturação do ar  $e_a(\text{ar})$  foram calculadas conforme as Equações 4 e 5:

$$e_s(\text{folha}) = 0,61365 \cdot e^{\left(\frac{17,502 \cdot T_{\text{folha}}}{240,97 + T_{\text{folha}}}\right)} \quad (4)$$

$$e_a(\text{ar}) = \frac{UR}{100} 0,61365 \cdot e^{\left(\frac{17,502 \cdot T_{\text{ar}}}{240,97 + T_{\text{ar}}}\right)} \quad (5)$$

Em que:  $e_s(\text{folha})$ : pressão real de vapor d'água à temperatura da folha (kPa);  $T_{\text{folha}}$ : temperatura da folha (°C);  $e_a(\text{ar})$ : pressão real de vapor d'água à temperatura do ambiente (kPa); UR: umidade relativa do ar; e  $T_{\text{ar}}$ : temperatura do ar (°C).

#### 4.4 Análises estatísticas

Com base nos resultados obtidos, realizou-se análises estatísticas em que os dados da época 2 e 3 foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, quando necessário os dados foram normalizados pela transformação  $\sqrt{x}$ . Os resultados da época 1 (não paramétricos) foram submetidos à análise pelo teste de Friedman, sendo todas as análises executadas pelo software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Variáveis meteorológicas

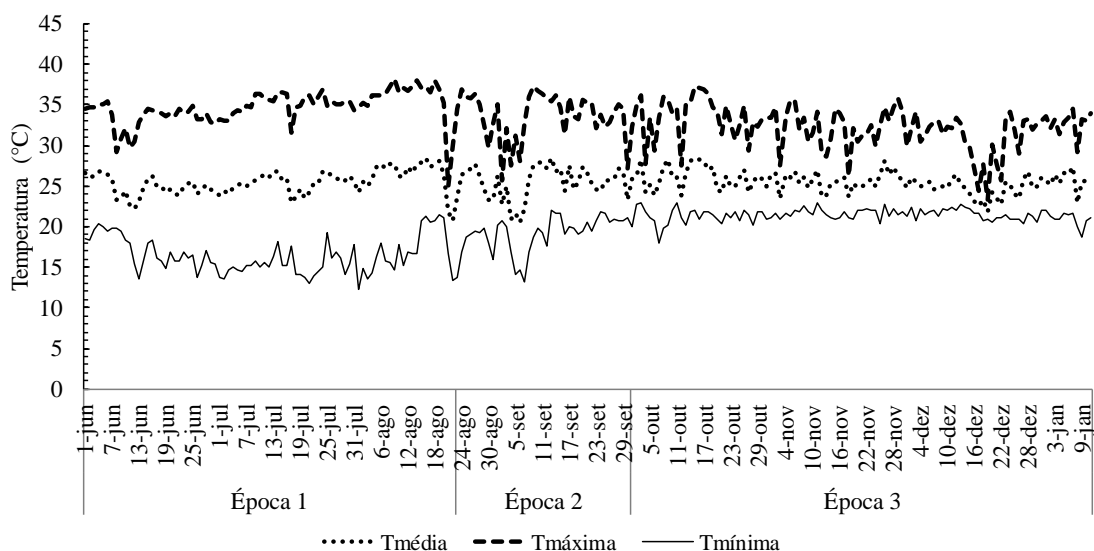
A sazonalidade diária das variáveis meteorológicas (temperatura do ar, radiação fotossinteticamente ativa e radiação global) durante o período experimental, são apresentadas nas Figuras 1 e 2. As temperaturas máximas do ar apresentaram maiores variações durante as épocas 1 (seca) e 3 (chuvosa), oscilando de 24,9 a 38,25 °C e de 23,33 a 37,21 °C, respectivamente. Em relação a temperatura mínima a maior variação foi observada nas épocas 1 e 2, entre 12,34 °C a 21,45 °C e 13,27 °C a 22,10 °C, respectivamente.

Segundo Santos et al. (2013b), na região de Sinop-MT, nos meses de inverno (junho, julho e agosto) ocorrem as maiores amplitudes térmicas diárias, pois o vapor d'água apresenta um grande potencial de atenuação da radiação na atmosfera. Durante o verão (período chuvoso), as diferenças entre temperaturas noturnas e

diurnas são menores, com amenização principalmente da temperatura máxima em decorrência das alterações nos totais das componentes de radiação direta e difusa em decorrência da nebulosidade.

A temperatura do ar é relevante para o crescimento e produção da palma de óleo, sendo observadas maiores produções em regiões com pequenas variações diárias de temperatura e média anual entre 24 a 28 °C, e ainda, sem a ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 16 °C por períodos prolongados (GONÇALVES et al., 2010). O limite máximo para que não haja comprometimento da eficiência da fotossíntese da cultura é de 38 °C, desde que o déficit de pressão de vapor seja pequeno (DUFRENE; OCHS; SAUGIER, 1990; DUFRENE; SAUGIER, 1993; PARAMANANTHAN, 2003). Com o exposto, verifica-se que as condições de temperatura consideradas como adequadas para a cultura da palma de óleo foram predominantes durante todo o período experimental.

**Figura 1.** Variações diárias da temperatura máxima, média e mínima do ar (em °C), na região de Sinop-MT, entre 06/2016 e 01/2017.



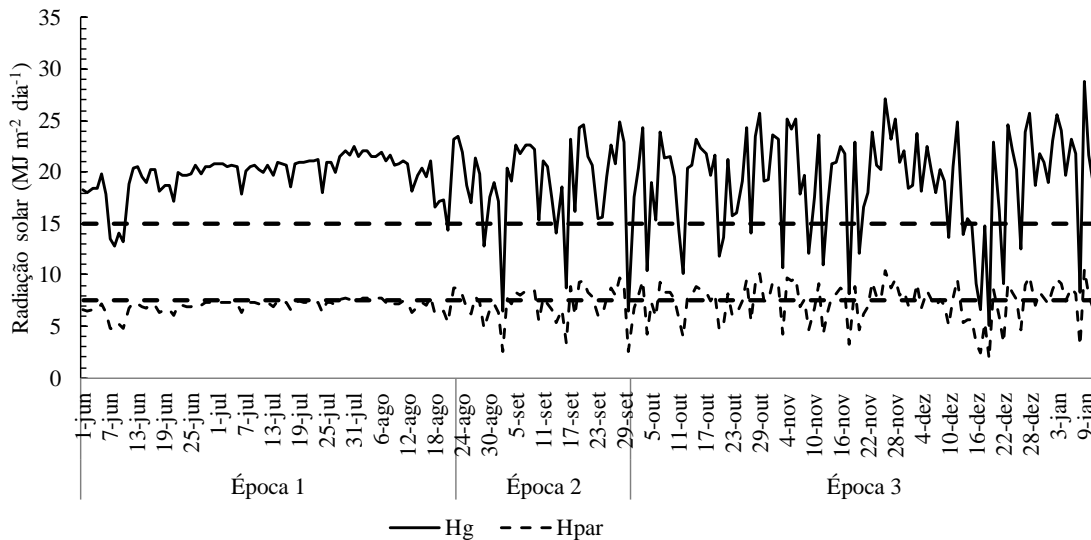
Em relação a Radiação Global diária (Hgd) (Figura 2) foram obtidas médias de 19,76; 19,00 e 19,23 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, para as épocas 1, 2 e 3, respectivamente. Em geral,

os valores medidos diários foram superiores a 15 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em todos os dias, que por sua vez, são equivalentes a aproximadamente 7,5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> RFA,

preconizado como o nível ideal para palma de óleo (HARTLEY, 1988; PARAMANANTHAN, 2003; GONÇALVES et al., 2010). Nas épocas 2 e 3, a RFA apresentou valores abaixo de 7,5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em função do período chuvoso

e maior nebulosidade, todavia, os totais diários foram superiores a 7,1 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, indicando condições favoráveis para o desenvolvimento e produção da palma de óleo.

**Figura 2.** Variações diárias da radiação global (Hg) e Radiação Fotossinteticamente Ativa (Hpar), na região de Sinop-MT, entre 06/2016 e 01/2017. As linhas tracejadas superior e inferior indicam respectivamente os valores de 15,0 e 7,5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para HgT e Hpar.

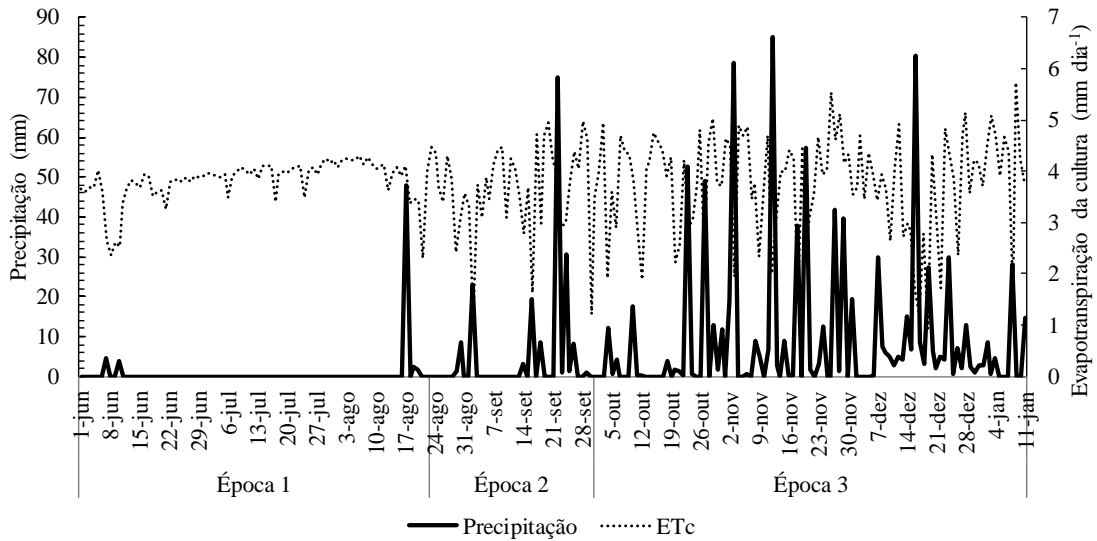


Por ser uma cultura perene, a palma de óleo intercepta a radiação solar ao longo de todo o ano, sendo uma das principais razões desta cultura apresentar produtividades bastante elevadas quando comparada com as demais culturas oleaginosas. Nas condições dos trópicos, como a região norte de Mato Grosso, a Hg é geralmente limitada pelas condições de nebulosidade (WOITTIEZ et al., 2017), o que, por sua vez, coincide com o período chuvoso.

As épocas 1 e 3 são caracterizadas pelos períodos de seca e chuva respectivamente, ao passo que a época 2 apresenta um período de transição entre o período seco e chuvoso (Figura 3). Os totais

de precipitação para as épocas 1, 2 e 3 corresponderam a 60,5 mm, 181,1 mm e 938,3 mm respectivamente. A ETc média diária foi de 3,82 mm dia<sup>-1</sup> (época 1), 3,65 mm dia<sup>-1</sup> (época 2) e 3,75 mm dia<sup>-1</sup> (época 3). A demanda hídrica média da palma de óleo é de cerca de 6,0 mm dia<sup>-1</sup> em condições sem limitações, demandando chuvas ao longo de todo o ano, e segundo Carr (2011), a evapotranspiração dessa cultura varia de 4,0 a 6,5 mm dia<sup>-1</sup> durante o período chuvoso e de 1,0 a 2,5 mm dia<sup>-1</sup> durante o período seco, sendo o déficit hídrico moderado e/ou severo o principal fator limitante da produtividade da cultura (WOITTIEZ et al., 2017).

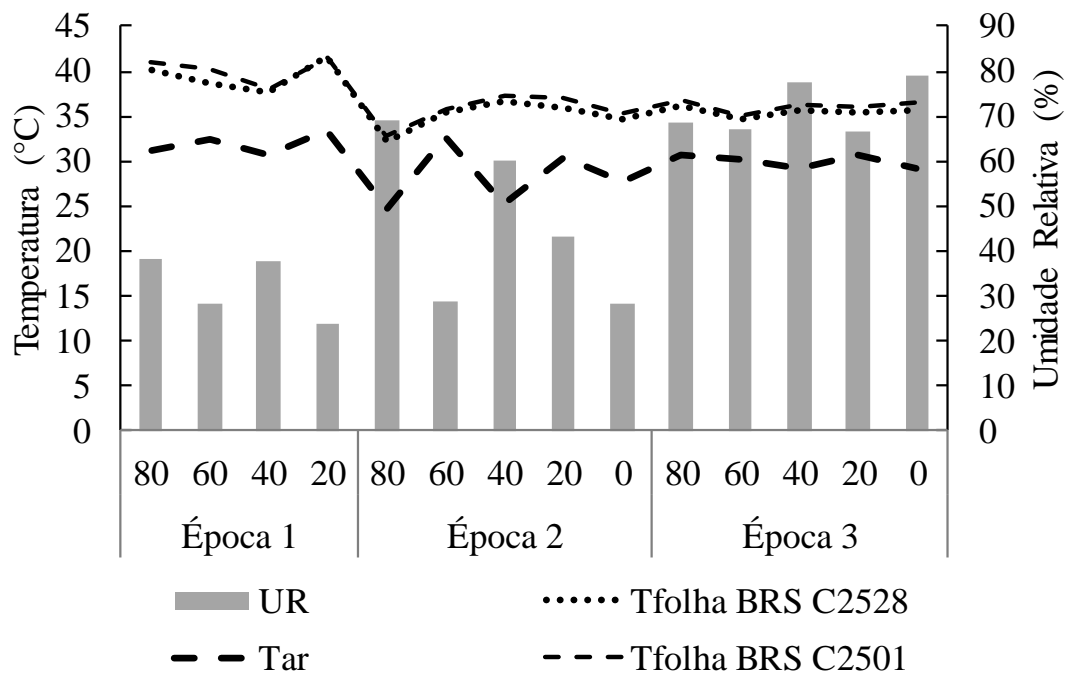
**Figura 3.** Variação diária da precipitação pluvial na região de Sinop-MT, entre 06/2016 e 01/2017.



Na época 1 verificou-se os maiores valores de temperatura foliar, bem como valores de UR inferiores a 40%. O DPV na época 1 apresentou altos valores em todos tratamentos, enquanto na época 2 este teve

alterações em resposta a umidade relativa do ar, temperatura foliar e do ar, sendo o menor valor do DPV de 2,73 kPa no tratamento com 80% da DTA.

**Figura 4.** Médias da temperatura da folha, temperatura do ar e umidade relativa (UR) do ar, nos instantes das avaliações fisiológicas (09h30 às 11h30) para diferentes percentuais de disponibilidade total de água no solo, para a palma de óleo, na região de Sinop-MT.





**Tabela 2.** Média do déficit de pressão de vapor (kPa) nos instantes das avaliações fisiológicas, para diferentes percentuais de disponibilidade total de água no solo, para a palma de óleo, na região de Sinop-MT.

Épocas	Tratamentos				
	80	60	40	20	0
Época 1	5,88 ab	5,88 ab	4,98 bc	6,83 a	-----
Época 2	2,73 b	4,40 a	4,36 a	4,29 a	4,60 a
Época 3	3,10 a	2,75 a	2,80 a	2,93 a	2,81 a

Médias seguidas de letras iguais minúscula na mesma linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

### 5.2 Massa fresca dos cachos e número de cachos frescos

Na colheita realizada em agosto de 2016 (4 anos e 6 meses de idade) observou-se diferenças significativas na massa fresca dos cachos (Kg) nos diferentes percentuais de DTA (Tabela 3). Os tratamentos irrigados não diferiram entre si, e apresentaram valor médio da massa fresca dos cachos de 2,24 Kg (BRS C2528) e 2,13 Kg (BRS C2501). Todavia, nas plantas sem

irrigação os valores médios da massa fresca dos cachos foram de 1,00 e 0,67 Kg, para BRS C2528 e BRS C2501. Na colheita aos 5 anos e 1 mês, observou-se diferenças significativas na massa fresca dos cachos (Kg) nos diferentes percentuais de DTA e os tratamentos irrigados apresentam os maiores valores médios da massa fresca dos cachos, 3,85 e 4,01 Kg para BRS C2528 e BRS C2501, enquanto que no tratamento sem irrigação os valores foram de 2,64 e 2,09 Kg para BRS C2528 e BRS C2501.

**Tabela 3.** Massa fresca dos cachos (Kg) de duas cultivares de Palma de óleo, em diferentes disponibilidades de água no solo e duas épocas de coleta, na região de Sinop-MT.

Cultivares	Tratamentos				
	80	60	40	20	0
4 anos e 6 meses (agosto/2016)					
BRS C2528	2,72 Aa	2,29 Aa	2,27 Aa	2,16 Aa	1,00 Ba
BRS C2501	2,37 Aa	2,28 Aa	1,96 Aa	1,84 Aa	0,67 Ba
5 anos e 1 mês (março/2017)					
BRS C2528	3,65 Aa	3,60 Aa	4,14 Aa	4,00 Aa	2,64 Ba
BRS C2501	3,95 Aa	4,37 Aa	3,69 Aa	4,04 Aa	2,09 Ba

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

Os resultados evidenciam que a produção acumulada anualmente da palma de óleo nas condições edafoclimáticas de Sinop-MT, depende da suplementação de água via irrigação, juntamente com o manejo adequado da irrigação. A produtividade é o principal fator para medir o estresse na planta provocado pela deficiência hídrica, devido a redução no rendimento e na produção, sendo o principal fator limitante para a

produtividade da palma de óleo (KALLARACKAL; JEYAKUMAR; GEORGE, 2004).

Aos 4 anos e 6 meses, a cultivar BRS C2528 apresentou maior número de cachos frescos nos tratamentos irrigados, havendo diferenças entre as duas cultivares nos níveis de 80 e 60 % de DTA, com redução do número de cachos frescos para BRS C2501 (Tabela 4). Os menores números de cachos frescos, para as duas

cultivares, foram obtidas na ausência da irrigação (0% da DTA). Aos 5 anos e 1 mês, não houve diferenças estatísticas para o

número de cachos frescos nas diferentes disponibilidades de água no solo, independentemente da cultivar.

**Tabela 4.** Número dos cachos frescos (Kg) de duas cultivares de Palma de óleo, em diferentes disponibilidades de água no solo e duas épocas de coleta, na região de Sinop-MT.

Cultivares	Tratamentos				
	80	60	40	20	0
4 anos e 6 meses (agosto/2016)					
<b>BRS C2528</b>	7,23 Aa	7,20 Aa	5,77 Aa	6,47 Aa	2,33 Ba
<b>BRS C2501</b>	2,67 Ab	4,00 Ab	5,90 Aa	5,77 Aa	0,57 Ba
5 anos e 1 mês (março/2017)					
<b>BRS C2528</b>	5,90 Aa	5,67 Aa	5,80 Aa	6,10 Aa	4,57 Aa
<b>BRS C2501</b>	4,80 Aa	7,00 Aa	5,90 Aa	5,33 Aa	3,77 Aa

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

### 5.3 Trocas gasosas da palma de óleo

Na época 1 (julho a agosto), as taxas de transpiração e de fotossíntese nas cultivares não diferiram estatisticamente nos diferentes percentuais de DTA, em decorrência do fechamento parcial dos

estômatos que está relacionado com altos valores do déficit de pressão de vapor (DPV) entre 4,98 a 6,83 kPa (Tabela 5). De maneira geral, os estômatos tendem a fechar à proporção que o DPV aumenta (MARENCO; LOPES, 2009).

**Tabela 5.** Dados médios obtidos para a taxa de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e eficiência no uso da água na época 1 de avaliação durante a estação seca (entre junho/agosto), ano 2016.

Trocas gasosas	Cultivar	Tratamentos			
		80	60	40	20
A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	BRS C2528	5,71	9,62	4,88	3,25
	BRS C2501	2,34	5,47	2,31	3,67
E ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	BRS C2528	1,81	0,79	0,49	0,57
	BRS C2501	1,26	0,67	0,73	1,16
$g_s$ ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	BRS C2528	0,040	0,010	0,012	0,008
	BRS C2501	0,025	0,013	0,012	0,018
A/E ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	BRS C2528	4,99	11,98	14,46	6,30
	BRS C2501	3,33	7,62	3,67	3,66

Médias não diferem entre si, pelo teste de Friedman a 5%.

Medina; Machado; Gomes (1999) verificaram que a taxa de fotossíntese e a condutância estomática em laranjeira 'Valência' enxertada sobre limoeiro 'Cravo' e Trifoliata, decaíram após as 9h-

10h, em resposta ao aumento do DPV e temperatura, mesmo sem deficiência hídrica no solo e em fluxo fotossintético de fótons saturante. Em palma de óleo as medições em nível da folha e dossel

confirmam a redução da condutância estomática, fotossíntese e transpiração quando o ar está seco, isto é, DPV de 1,0 a 4,0 kPa, mesmo que o solo esteja com umidade (CARR, 2011).

As respostas da palma de óleo nesse estudo corroboram com as observações de Smith (1989), que ao estudar mudas de palma em ambientes controlados sob influência da seca, observou que os estômatos fecharam quando houve limitação de água no solo, bem como quando havia valores baixos de umidade relativa do ar, mesmo com água disponível no solo.

Os maiores valores da taxa de fotossíntese (A) e da eficiência no uso da água (A/E) foram observados para a cultivar BRS C2528 ( $5,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $9,43 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) na época seca, no entanto, não verificou-se diferença entre as cultivares, conforme o teste de Friedman para distribuição não paramétrica dos dados, condição esta observada para as variáveis supraditas (Tabela 5). A eficiência no uso da água expressa a quantidade de dióxido de carbono assimilado com a perda de água da planta para atmosfera, entendida como a relação entre a fotossíntese e a transpiração.

A umidade relativa, temperatura do ar e a velocidade do vento, são fatores que interferem na taxa de transpiração (KERBAUY, 2008), por conseguinte a eficiência no uso da água é influenciada pelas condições climáticas. A cultivar BRS C2528 apresenta maior eficiência no uso da água em condição de altos valores de déficit de pressão de vapor, em comparação com a cultivar BRS C2501. Durante a época 1 (seca), as diferentes disponibilidades de água no solo não permitiram diferenças significativas na eficiência no uso da água.

Para a época 2 (transição seca-chuva), verificou-se efeito significativo das diferentes disponibilidades de água no solo sobre a taxa de fotossíntese (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática ( $g_s$ ) e a eficiência no uso da água (A/E) (Tabela 6). Os maiores e menores valores médios foram obtidos para os níveis de 80 e 0% da DTA, evidenciando a importância da complementação hídrica para a cultura da palma de óleo. A máxima taxa de fotossíntese observada na palma de óleo com 4 anos e 7 meses ( $A = 23,32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em 80% da DTA), aproximou-se das observações de Dufrene e Saugier (1989) em palma de óleo com 5 anos de idade ( $A = 23,70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

**Tabela 6.** Dados médios obtidos para a taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, na época 2 de avaliação no início da estação chuvosa (final de agosto/setembro), ano 2016.

Trocias gasosas	Tratamentos				
	80	60	40	20	0
A ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	23,32 a	17,29 b	13,03 b	14,59 b	5,11 c
E ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	6,86 a	5,71 a	5,05 a	5,20 a	2,26 b
$g_s$ ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0,69 a	0,26 b	0,17 bc	0,22 b	0,06 c
A/E ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	3,40 a	3,10 ab	2,61 ab	2,85 ab	2,16 b

Médias seguidas de letras iguais minúscula na mesma linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Com o déficit hídrico, o tratamento sem irrigação apresentou redução na taxa de fotossíntese e transpiração devido ao fechamento parcial dos estômatos, evitando assim, a perda de água da planta para a

atmosfera. Bayona-Rodriguez e Romero (2019) verificaram que o déficit hídrico reduziu as trocas gasosas de onze cultivares comerciais de palma de óleo com 6 anos de idade e diferentes locais de origem,

avaliadas nas estações chuvosa e seca no período de 2008 a 2010, na Colômbia. Na estação seca, as cultivares apresentaram, no geral, redução nos valores da taxa de fotossíntese (25 a 40 %) e taxa de transpiração (9 a 50 %) em comparação com a estação chuvosa (BAYONA-RODRIGUEZ; ROMERO, 2019). A deficiência hídrica afeta os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, que por sua vez, apresentam como respostas o fechamento estomático, que consequentemente reduz a transpiração e o suprimento de dióxido de carbono para o processo fotossintético, a diminuição do crescimento celular e aumento da fotorrespiração (SHINOZAKI; YAMAGUCHI-SHINOZALI, 2007).

Cha-um et al. (2013) observaram que as características morfológicas e fisiológicas da palma de óleo cultivada sob déficit hídrico leve ( $\geq 20\%$  conteúdo de água no solo) foram restauradas com a re-irrigação (processo de recuperação). As mudas de palma de óleo foram sensíveis ao déficit hídrico severo (6-13% conteúdo de água no solo), em decorrência das mudanças fisiológicas e da inibição do crescimento, e, esses parâmetros não se recuperaram com a re-irrigação.

Nos tratamentos com 60, 40 e 20% da DTA, mesmo com redução na umidade do solo, observou a manutenção da transpiração, provavelmente devido ao incremento da temperatura foliar, com intuito de resfriar a folha com a evaporação da água e manter a temperatura foliar com valores próximos a temperatura do ar (CORLEY; THINKER, 2003). No tratamento sem irrigação, verifica-se a

menor taxa de transpiração de  $2,26 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Suresh et al. (2010) verificaram que no tratamento controle com irrigação a taxa de transpiração foi de  $0,13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e progressivamente declinou para  $0,01 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ao 24º dia após a imposição do estresse hídrico em mudas de palma de óleo.

A palma de óleo submetida a ausência de irrigação (0% da DTA) apresentou baixa condutância estomática. Com baixa disponibilidade de água no solo, as plantas reduzem a condutância estomática para diminuir a perda de água. Esse comportamento demonstra que a palma de óleo é eficiente na regulação estomática em condições de baixa disponibilidade de água no solo. O fechamento estomático, promovido por altos níveis de ácido abscísico (ABA), devido à baixa disponibilidade de água, constitui em uma resposta das plantas para reduzir a taxa de transpiração e manter a turgescência (MELCHER et al., 2009). O fechamento dos estômatos ocorre com a desidratação das células-guarda ou por resposta hormonal (MAGALHÃES FILHO et al., 2008). O tratamento com maior umidade do solo (80% da DTA), apresentou maior valor da condutância estomática devido a melhor condição hídrica da planta e climática observada (menor valor de DPV de 2,73 kPa).

Na época 2 (transição seca-chuva), houve alta correlação linear negativa (-0,98) entre a condutância estomática ( $g_s$ ) e o déficit de pressão de vapor (DPV) (Tabela 7), corroborando com Carr (2011), que verificou aumento da condutância estomática em resposta a redução dos valores de déficit de pressão de vapor.

**Tabela 7.** Coeficientes de correlação de Spearman (época 1) e de Pearson (épocas 2 e 3) estimados entre a taxa de fotossíntese (A), taxa de transpiração (E), condutância estomática ( $g_s$ ), eficiência no uso da água (A/E) e as diferentes disponibilidades de água no solo (DTA) e o déficit de pressão de vapor (DPV), nas três épocas de avaliação.

	Trocias gasosas			
	A	E	$g_s$	A/E
DTA época 1	0,80	0,40	0,77	-0,20
DTA época 2	0,93*	0,90*	0,85	0,92*
DTA época 3	-0,18	-0,09	-0,16	0,03
DPV época 1	-0,32	0,63	-0,01	-0,32
DPV época 2	-0,81	-0,71	-0,98**	-0,76
DPV época 3	0,12	0,42	0,33	-0,70

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade e \*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Na época 2, houve correlação positiva de 0,93 entre a taxa de fotossíntese e os diferentes percentuais de DTA, sendo o maior valor da taxa de fotossíntese ( $23,32 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) observado com 80% da DTA. Da mesma forma, houve correlação positiva da taxa de transpiração (0,90) e da eficiência no uso da água (0,92) com os diferentes percentuais de DTA, obtendo-se  $6,86 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e  $3,40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}/\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com 80% da DTA, respectivamente.

A disponibilidade de 80% da DTA permitiu a maior eficiência no uso da água, sendo que as palmas de óleo tendem a manter a turgescência e apresentar eficiência na assimilação de  $\text{CO}_2$  e transpiração. No entanto, sob 0% da DTA, a eficiência no uso da água apresenta o menor valor, pois a diminuição da taxa de fotossíntese foi mais acentuada que da taxa de transpiração. Nos tratamentos com 60%, 40% e 20% da DTA a taxa de fotossíntese

diminuiu enquanto a transpiração manteve valores altos, reduzindo a eficiência no uso da água.

O déficit de pressão de vapor apresenta o menor valor com 80% da DTA que corresponde a 2,73 kPa e o maior valor de 4,60 kPa no tratamento sem irrigação, demonstrando a influência do DPV na condutância estomática da palma de óleo.

As palmas de óleo sem irrigação recuperaram a taxa de fotossíntese ( $21,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $8,17 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e condutância estomática ( $0,95 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) na época chuvosa (entre outubro e janeiro) (Tabela 8). Essa recuperação das variáveis fisiológicas, indica tolerância à deficiência hídrica e está relacionada à eficiente regulação estomática. Apesar da recuperação da fotossíntese com a ocorrência de precipitações, o estresse hídrico é um fator limitante da produção de cachos da palma de óleo.

**Tabela 8.** Taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese (A) e condutância estomática (g<sub>s</sub>) no tratamento sem irrigação (0% da DTA), em duas épocas de avaliação, ano 2016 e início de 2017.

Épocas	Cultivares	Trocas gasosas		
		Taxa de fotossíntese (A)	Taxa de transpiração (E)	Condutância estomática (g <sub>s</sub> )
Época 2	BRS C2528	5,77 b	2,19 b	0,06 b
	BRS C2501	4,45 b	2,33 b	0,06 b
Época 3	BRS C2528	19,43 a	7,70 a	1,06 a
	BRS C2501	23,75 a	8,63 a	0,84 a

Médias seguidas de letras iguais minúscula na mesma coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

A recuperação da fotossíntese e transpiração, em área sem irrigação, sugere a presença de mecanismos bioquímicos que permitem que as células retornem rapidamente ao seu estado normal após eventos de estresse hídrico (BAYONA-RODRIGUEZ; OCHOA-CADAVID; ROMERO, 2016).

As mudanças observadas nas palmas de óleo em resposta ao déficit hídrico foram relacionadas por Bayona-Rodriguez e Romero (2019), à capacidade de adaptação e sobrevivência das palmeiras a períodos de estresse hídrico.

Suresh et al. (2010) verificaram que as trocas gasosas não diferiram estatisticamente entre mudas de palma de óleo (controle e reidratação) aos 12 dias após a reidratação, indicando que as mudas das plantas demoraram 12 dias para se recuperar do estresse hídrico que durou 24 dias. Esses autores ainda explicam que provavelmente as células mesofílicas não foram afetadas irreversivelmente pelo estresse hídrico devido a recuperação gradual das trocas gasosas com a irrigação. Depois da retenção de água por 24 dias,

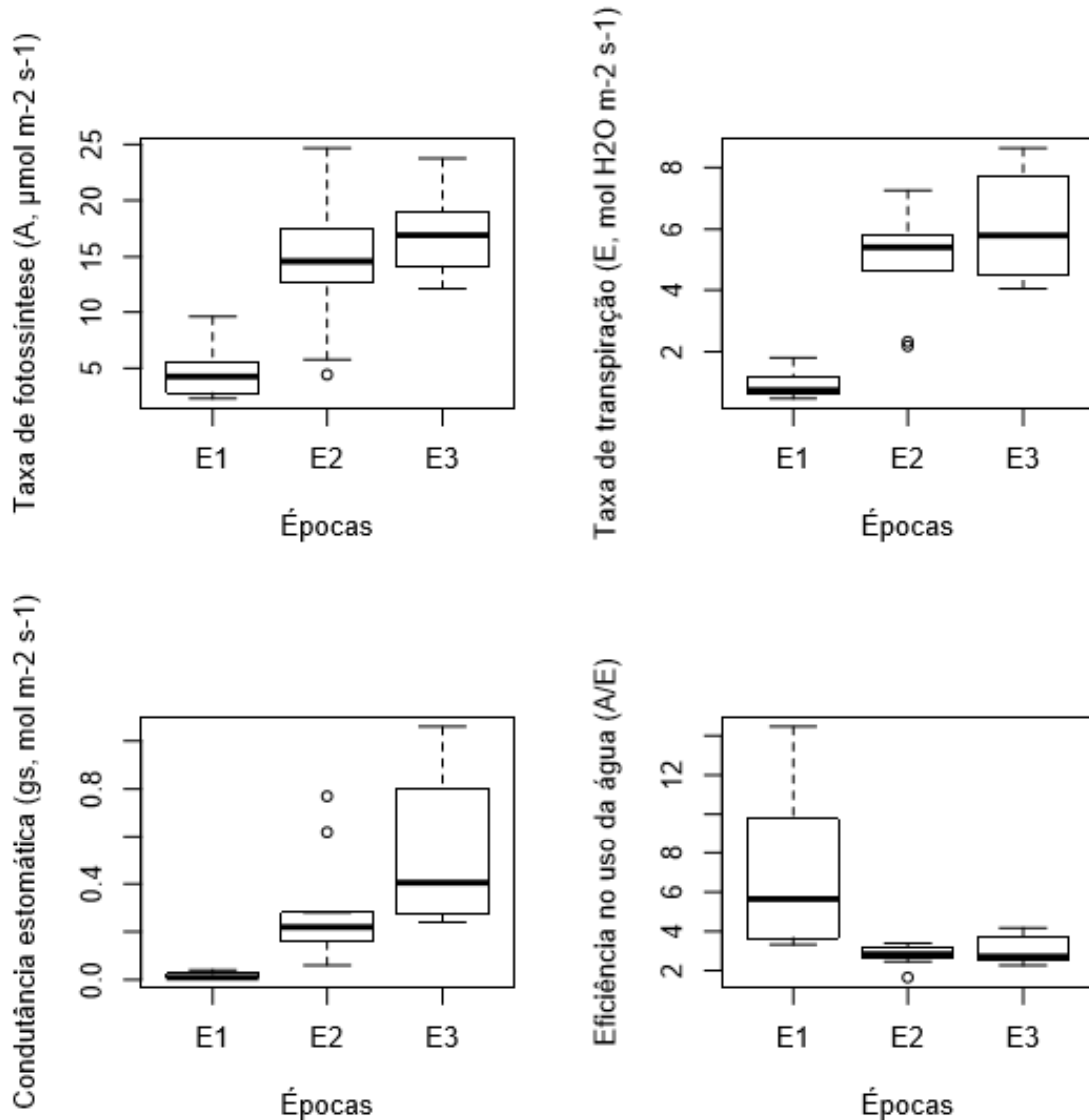
Suresh et al. (2012) verificaram que a eficiência máxima do fotossistema II não foi afetada, sugerindo um aumento da eficiência dos mecanismos de fotoproteção para diferentes híbridos de palma de óleo.

#### 5.4 Variações sazonais das trocas gasosas da palma de óleo

Em virtude das variáveis analisadas no presente trabalho não atenderem os pressupostos para a análise paramétrica (ou não paramétrica) em todas as épocas estudadas, optou-se pela utilização da estatística descritiva dos dados com a utilização do diagrama Boxplot, que permite a comparação das variáveis nas diferentes épocas por meio da análise da distribuição empírica dos dados, bem como possibilita identificar as principais tendências de seus valores.

Nesse sentido, observa-se um aumento nos valores da taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática da época 1 (seca) para a época 3 (chuvosa) (Figura 5), principalmente devido a redução dos valores do déficit de pressão de vapor.

**Figura 5.** Boxplot para a taxa de transpiração (E), taxa de fotossíntese (A), condutância estomática ( $g_s$ ) e eficiência no uso da água (A/E) de um plantio de palma de óleo na região edafoclimática do Norte de Mato Grosso, em três épocas.



A sensibilidade estomática ao DPV é evidente na palma de óleo e confere boa capacidade de sobrevivência da planta em condições de seca, no entanto reduz a produção de cachos (DUFRENE; SAUGIER, 1989) como verificado nesse estudo.

BAYONA-RODRIGUEZ; OCHOA-CADAVID; ROMERO (2016), averiguaram o aumento nos valores da taxa de fotossíntese da estação seca, transicional e chuvosa da palma de óleo sem irrigação.

Com relação à variabilidade dos dados (isto é, o comprimento da caixa do

diagrama Boxplot), a menor variação foi observada durante a seca (época 1) para os valores de condutância estomática.

Na época 2, observaram-se valores de outliers, ou seja, valores que divergem dos outros no conjunto de dados (círculo aberto fora da caixa do diagrama Boxplot), principalmente devido ao efeito das diferentes disponibilidades de água solo (0, 20, 40, 60 e 80 da DTA).

Oliveira et al. (2016) estudando a palmeira de macaúba com 2,5 anos no nordeste brasileiro verificaram que a taxa de

fotossíntese, transpiração e condutância estomática foram maiores no período chuvoso em comparação com o período seco, esse comportamento foi evidenciado nesse estudo.

A eficiência no uso da água foi maior na época 1 durante o período seco evidenciando o regulamento dos estômatos para evitar perda de água em condição de alta demanda evaporativa. BAYONA-

## 6 CONCLUSÃO

Com base na massa fresca dos cachos, a palma de óleo necessita da suplementação hídrica para expressar seu potencial de produção na região edafoclimática de Sinop-MT.

A cultivar BRS C2528 é mais eficiente no uso da água em condição de altos valores de déficit de pressão de vapor, em comparação com a cultivar BRS C2501.

Independentemente da cultivar, com 80% da disponibilidade de água no solo as palmas de óleo obtiveram a máxima taxa fotossintética.

As palmas de óleo sem irrigação submetidas a deficiência hídrica recuperam

RODRIGUEZ; OCHOA-CADAVID; ROMERO (2016), verificaram o aumento na eficiência no uso da água da palma de óleo com a irrigação na estação seca. A eficiência no uso da água é um parâmetro de qualidade da planta e desempenho sob déficit hídrico (OSAKABE et al., 2014). Oliveira et al. (2016) também encontraram maior eficiência no uso da água durante o período seco nas palmeiras de macaúba.

a taxa de fotossíntese, transpiração e condutância estomática no período chuvoso, indicando tolerância à deficiência hídrica e eficiência na regulação estomática.

## 7 AGRADECIMENTOS

À FAPEMAT pelo apoio financeiro com a bolsa de mestrado, à Embrapa Agrossilvipastoril pela disponibilidade da área experimental e contribuição para realização da pesquisa e ao programa de Pós-graduação em Agronomia da UFMT *campus* Sinop.

## 8 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.

BAYONA-RODRIGUEZ, C. J.; ROMERO, H. M. Physiological and agronomic behavior of commercial cultivars of oil palm (*Elaeis guineensis*) and OxG hybrids (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) at rainy and dry seasons. **Australian Journal of Crop Science**, v.13, n.03, p. 424-432, 2019.

BAYONA-RODRIGUEZ, C. J.; OCHOA-CADAVID, I.; ROMERO, H. M. Impacts of the dry season on the gas exchange of oil palm (*Elaeis guineensis*) and interspecific hybrid (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) progenies under field conditions in eastern Colombia. **Agronomía Colombiana**, v.34, n.3, p. 329-335, 2016.

BUCK, A. L. New equations for computing vapor pressure and enhancement factor. **Journal of Applied Meteorology**, Washington, v. 20, p. 1527-1532, 1981.



CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of oil palm (*Elaeis guineensis*): a review. **Experimental Agriculture**, v. 47, n. 4, p. 629-652, 2011.

CHA-UM, S.; YAMADA, N.; TAKABE, T.; KIRDMANEE, C. Physiological features and growth characters of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in response to reduced water-deficit and rewatering. **Australian Journal of Crop Science**. AJCS v.7, n.3, p. 432-439, 2013.

CORLEY, R. H. V; THINKER, P. B. **The oil palm**. 4. ed. Oxford: Blackwell Sciences, 2003. 562 p.

CORNAIRE, B.; DANIEL, C.; ZUILY-FODIL, Y.; LAMADE, E. Oil palm performance under water stress. Background to problem, first results and research approaches. **Oléagineux**, Paris, v.49, p. 1-12, 1994.

CUNHA, R. N. V da; LOPES, R.; GOMES JÚNIOR, R. A.; RODRIGUES, M. do R. L.; TEIXEIRA, P. C.; ROCHA, R. N. C. da.; LIMA, W. A. A. de. Material genético utilizado para a produção sustentável da cultura da palma de óleo na Amazônia. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G. (Editores). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p.

DUFRENE, E.; SAUGIER, B. Field studies of leaf gas exchanges in oil palm tree (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Annals of Forest Science**, v.46, p. 439-442, 1989.

DUFRENE, E.; SAUGIER, B. Gas exchange of oil palm in relation to light, vapor-pressure deficit, temperature and leaf age. **Oléagineux**, v.48, p. 347-356, 1993.

DUFRENE, E.; OCHS, R.; SAUGIER, B. Oil palm photosynthesis and productivity linked to climatic factors. **Oléagineux**, v.45, p. 345-355, 1990.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Notícias**: Pesquisa aponta boas perspectivas para o dendê irrigado. 2017. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18116296/pesquisa-aponta-boas-perspectivas-para-o-dende-irrigado->>. Acesso em: 20/04/17.

GONÇALVES, A. O., BASTOS, T. X.; BARROS, A. H.; RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F. da. Procedimento metodológico da Avaliação da Aptidão Climática para a cultura da palma de óleo nas áreas desmatadas da Amazônia Legal. In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G. (Editores). **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 216 p.

HARTLEY, C. W. S. **The Oil Palm**. Third Edition, Longman, London, 1988. 761 p.

JAZAYERI, S. M.; RIVERA, Y. D., CAMPEROS-REYES, J. E.; ROMERO, H. M. Physiological effects of water deficit on two oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) genotypes. **Agronomía Colombiana**, v.33, n.2, p. 164-173, 2015.

- KALLARACKAL, J.; JEYAKUMAR, P.; GEORGE, S. J. Water use of irrigated oil palm at three different arid locations in Peninsular India. **Journal Oil Palm Research**, v.16, p. 45-53, 2004.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R. do; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.75-82, 2008.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3ªed. Editora UFV, Viçosa. 2009. 486p.
- MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. de M. de A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, n.1, p. 29-34, 1999.
- MELCHER, K.; NG, L. M.; ZHOU, X. E.; SOON, F. F.; XU, Y.; SUINO-POWELL, K. M.; PARK, S. Y.; WEINER, J. J.; FUJII, H.; CHINNUSAMY, V.; KOVACH, A.; LI, J.; WANG, Y.; LI, J.; PETERSON, F. C.; JENSEN, D. R.; YOUNG, E.; VOLKMAN, B. F.; CUTLER, S. R.; ZHU, J. K.; XU, H. E. A gate-latch-lock mechanism for hormone signalling by abscisic acid receptors. **Nature**, v.462, p. 602-608, 2009.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: A guide for management**. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 271p.
- OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, M.; PEREIRA, S.; OLIVEIRA, M.; FROSI, G.; ARRUDA, E.; SANTOS, M. Ecophysiological leaf traits of native and exotic palm tree species under semi-arid conditions. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p.128-134, 2016.
- OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, LAM-SON P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**, Japan, v.5, n.86, 2014.
- PARAMANANTHAN, S. Land selection for oil palm. In: Fairhurst, T., Härdter, R. (Eds.). **The Oil Palm - Management for Large and Sustainable Yields**. Potash & Phosphate Institute of Canada, Potash & Phosphate Institute, International Potash Institute, Singapore, p. 27-58, 2003.
- R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª.ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2013a.

- SANTOS, R. B.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, F. T.; ARANTES, K. R.; SIQUEIRA, J. L. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop – MT. **Global Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 72-88, 2013b.
- SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZALI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.
- SMITH, B. G. The effects of soil water and atmospheric vapour pressure deficit on stomatal behaviour and photosynthesis in the oil palm. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 40, n. 6, p. 647-651, 1989.
- SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v.1, p. 34-43, 2013.
- SUN, C.; CAO, H.; SHAO, H.; LEI, X.; XIAO, Y. Growth and physiological responses to water and nutrient stress in oil palm. **African Journal of Biotechnology**. v.10, n.51, p. 10465-10471, 2011.
- SURESH, K.; NAGAMANI, C.; RAMACHANDRUDU, K.; MATHUR, R. K. Gas-exchange characteristics, leaf water potential and chlorophyll a fluorescence in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water stress and recovery. **Photosynthetica**, v.48, n.3, p. 430-436, 2010.
- SURESH, K.; NAGAMANI, C; KANTHA, D. L.; KUMAR, M. K. Changes in photosynthetic activity in five common hybrids of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) seedlings under water deficit. **Photosynthetica**, v.50, n.4, p. 549-556, 2012.
- VEIGA, A.; FURLANJR, J.; KALTNER, F. J. Situação atual e perspectivas futuras da dendeicultura nas principais regiões produtoras: A experiência do Brasil. In: ANDRADE, E. B.; MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J.; VIÉGAS, I. J. M. **Agronegócio do dendê: uma alternativa social, econômica e ambiental para o desenvolvimento sustentável da Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Documentos 60, 2000, 89p.
- WOITTIEZ, L. S.; WIJK, M. T. Van; SLINGERLAND, M.; NOORDWIJK, M. Van. Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. **European Journal of Agronomy**, v.83, p. 57-77, 2017.