



Eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e adubação mineral

Cleiton Fernando Barbosa BRITO^{1*}, Sérgio Luiz Rodrigues DONATO²,
Alessandro de Magalhães ARANTES², João Abel da SILVA², Paulo Emílio Rodrigues DONATO²,
Aloísio José dos SANTOS²

¹Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, MG, Brasil.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Guanambi, BA, Brasil.

*E-mail: cleiton.cfb01@yahoo.com.br

(Orcid: 0000-0001-9423-4980; 000-0002-7719-4662; 0000-0002-7520-9891; 0000-0001-5358-356X;
0000-0001-8696-8378; 0000-0002-1735-7554)

Recebido em 08/06/2020; Aceito em 24/06/2021; Publicado em 04/08/2021.

RESUMO: A associação de fatores no sistema solo-água-planta-atmosfera, como adubação, espaçamento entre plantas e disponibilidade hídrica, pode influenciar a atividade fisiológica em palma forrageira nas condições adversas do semiárido. Assim, objetivou-se determinar a eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e adubação mineral em região semiárida, no período seco e chuvoso. O experimento foi conduzido em blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 3 x 7, com três repetições. O primeiro fator foi constituído de quatro adubações (000-000-000; 000-150-000; 200-150-000 e 200-150-100 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O), o segundo, por três espaçamentos (1,0 x 0,5; 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e o terceiro por sete horários de leitura (6; 8; 10; 12; 14; 16 e 18 h). Foram realizadas leituras de fluorescência da clorofila “a” em cladódios de palma forrageira nas épocas seca e chuvosa com auxílio de um fluorômetro de luz modulada. Verificou-se ajustes cúbicos para as variáveis de fluorescência da clorofila “a” ao longo do dia com magnitude de respostas diferenciadas nos períodos seco e chuvoso. Os cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ sofrem alterações no fotossistema II na época seca nas condições fisiográficas do semiárido baiano e na época de chuvas o rendimento fotossintético em cladódios de palma forrageira é considerado ideal com variações ao longo do dia.

Palavras-chave: arranjo de plantas; *Opuntia*; plantas CAM.

Photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacing and mineral fertilization

ABSTRACT: The association of factors in the soil-water-plant-atmosphere system, such as fertilization, spacing between plants and water availability, can influence the physiological activity in cactus pear in the adverse conditions of the semiarid. Thus, the objective was to determine the photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacing and mineral fertilization in the semi-arid region, in the dry and rainy season. The experiment was conducted in a randomized block design in a 4 x 3 x 7 factorial scheme with three replicates. The first factor consisted of four fertilizations (000-000-000, 000-150-000, 200-150-000 and 200-150-100 kg ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O), the second one, by three fertilizations (1.0 x 0.5, 2.0 x 0.25 and 3.0 x 1.0 x 0.25 m) and the third by seven reading times (6 a.m., 8 a.m., 10 a.m., 12 p.m., 2 p.m., 4 p.m. and 6 p.m.). Fluorite readings of “a” chlorophyll were carried out in forage palm cladodes in the dry and rainy seasons with the help of a light modulated fluorometer. Cubic adjustments were observed for the fluorescence variables of “a” chlorophyll along day with magnitude of differentiated responses in dry and rainy periods. The cladodes of ‘Giant’ cactus pear alterations suffer in photosystem II in the dry season in the physiographic conditions of the Bahia semi-arid and in the rainy season the photosynthetic yield in cladodes of forage palm is considered ideal with variations along the day.

Keywords: arrangement of plants; *Opuntia*; CAM plants.

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* L. Mill) apresenta características morfofisiológicas que lhe permite suportar estiagens prolongadas (PIMIENITA-BARRIOS et al., 2012; BRITO et al., 2018) e ser fonte de forragem em períodos de seca e garantir a segurança alimentar com produção local no semiárido (DUBEUX JÚNIOR et al., 2015).

Para contribuir com o manejo ideal da palma forrageira em condições semiáridas é necessário conhecer as

características fisiológicas da cultura sob influência da integração de fatores produtivos, tais como, espaçamento de plantio e a adubação. O espaçamento afeta a interceptação da luz e a eficiência fotossintética (CAVALCANTE et al., 2014), pois, maior área de exposição à luz indica maior potencial produtivo da planta (TAIZ et al., 2017). Adicionalmente, maior disponibilidade de nutrientes no solo pode alterar

caracteres morfológicos e afetar o rendimento (DONATO et al., 2014; DONATO et al., 2017a).

Neste sentido, a determinação da fluorescência da clorofila “a” que permite inferir sobre a eficiência da etapa fotoquímica da fotossíntese, principalmente, em condições de estresse (MURCHIE; LAWSON, 2013; GOLTSEV et al., 2016), pode ser útil para estudos do comportamento fisiológico em plantas com metabolismo CAM (ROMO-CAMPOS et al., 2013; DÍEZ et al., 2017), como a palma forrageira e, assim, auxiliar no entendimento sobre a adaptabilidade e resistência à seca da cultura no contexto produtivo solo-planta-atmosfera.

No entanto, estudos que englobam a associação de fatores, como adubação, espaçamento entre plantas e disponibilidade hídrica (períodos seco e chuvoso), sobre a atividade fotoquímica em cladódios de palma forrageira são escassos, principalmente, em regiões semiáridas e fazem-se necessários para preencher lacunas no conhecimento sobre a cultura. Desta forma, objetivou-se determinar a eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e adubação mineral em região semiárida, no período seco e chuvoso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Instituto Federal Baiano, Campus Guanambi, Bahia na latitude de 14° 13’ 33” S, longitude de 42° 46’ 53” O, altitude de 525 m, média anual de precipitação de 680 mm e temperatura média anual de 26 °C. A implantação do palmeiral com a cultivar Gigante, foi em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, A fraco, textura média, fase Caatinga hipoxerófila, relevo plano a ondulado suave.

As temperaturas médias, máximas e mínimas, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento registradas no período experimental constam na Figura 1.

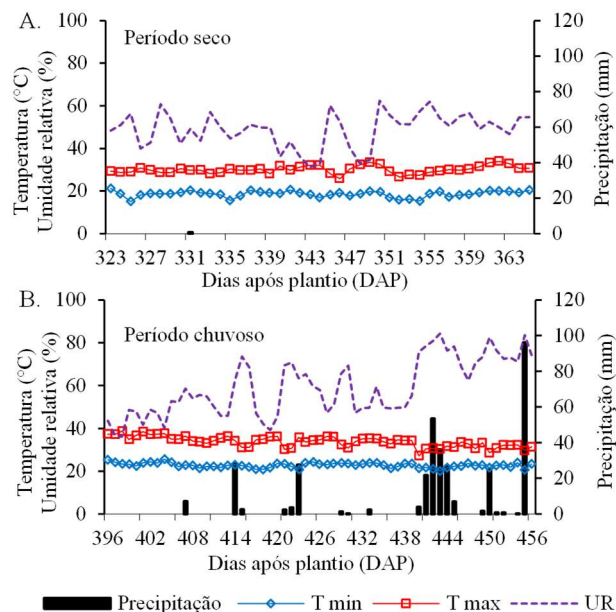


Figura 1. Temperatura máxima e mínima, umidade relativa e precipitação durante o período experimental em que foram realizadas as leituras.

Figure 1. Maximum and minimum temperature, relative humidity and rainfall during the experimental period in which the readings were performed.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 3 x 7, com três repetições. O primeiro fator foi composto de quatro combinações de adubações química: a) sem adubação química; b) uso de adubação fosfatada (P), na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; c) uso de adubação fosfatada e nitrogenada (NP), nas quantidades de 200 kg ha⁻¹ de N e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e d) uso de adubação nitrogenada, fosfatada e potássica (NPK) nas doses de 200 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O, o segundo fator, de três espaçamentos (1,0 x 0,5; 2,0 x 0,25 e 3,0 x 1,0 x 0,25 m) e o terceiro de sete horários de leitura (6; 8; 10; 12; 14; 16 e 18 h). A área da parcela foi de 64 m² (16 x 4 m), com área útil de 16 m² (8 x 2 m) e área total de 2.304 m². Nos espaçamentos de plantio utilizados, manteve-se a mesma densidade populacional de 20.000 plantas ha⁻¹.

Após limpeza da área, em início de setembro de 2009, demarcaram-se as unidades experimentais; em cada parcela foram retiradas cinco amostras simples de solo (0-20 cm de profundidade) as quais, depois de homogeneizadas, formaram amostras compostas que foram encaminhadas para análise química, conforme EMBRAPA (1997), e apresentaram os seguintes resultados médios: pH em água = 5,3; P = 10,6 mg dm⁻³; K = 0,14; Na = 0,1; Ca = 1,4; Mg = 0,9; Al = 0,1; H+Al = 1,8; SB = 2,4; CTCe = 2,6 e CTC = 4,4 cmolc dm⁻³; V = 55,9%; m = 5,0%; Cu = 0,3, Fe = 7,0, Mn = 57,7 e Zn = 2,0 mg dm⁻³; na sequência, realizaram-se o preparo do solo com operações de subsolagem a 0,35 m de profundidade e duas gradagens seguidas de abertura dos sulcos com sulcador de três linhas regulado para 1,00 m entre os sulcos e profundidade média de 0,30 m.

O plantio da palma realizado utilizando-se cladódios plantados com a face de maior largura no sentido leste/oeste, enterrados cerca de 50% no solo para melhor fixação. As mudas, provenientes de cladódios maduros e com acúmulo de reserva, foram obtidas em cultura de palma da própria Instituição, com massa aproximada de 1,0 kg, livre de pragas e de doenças. Após o corte e seleção no campo as mudas foram colocadas em repouso, à sombra, pelo período de quinze dias, para cicatrização dos ferimentos feitos no processo de colheita.

Aos 11 meses após o plantio em julho-agosto (época seca) e aos 16 meses em outubro-novembro (época chuvosa) foram realizadas às leituras de fluorescência da clorofila “a” dos cladódios de palma forrageira ao longo do dia. Realizaram-se sete leituras com intervalo de duas horas, com início às 6 h e o término às 18 h, em três plantas da área útil da parcela.

As leituras da fluorescência da clorofila “a” foram realizadas através de fluorômetro de luz modulada, modelo OS1-FL da marca OPTI-Sciences. As pinças para a medição da fluorescência foram colocadas no terço médio do cladódio, e a medição foi feita após 5 min de adaptação ao escuro, com emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz, foi avaliado a fluorescência inicial (F₀), máxima (F_m), variável (F_v) e a eficiência fotoquímica (F_v/F_m). Durante as medidas, foi utilizada uma pinça para adaptação dos cloroplastos ao escuro, para que todos os centros de reação do fotossistema II (PSII) adquirissem a condição de “abertos” e a perda de calor fosse mínima, como afirmam Strauss et al. (2006).

Além disso, foram realizadas leituras dos cladódios adaptados ao claro, na qual foram aplicados pulsos saturantes para a determinação da fluorescência da clorofila no estado

estacionário (Fs), fluorescência máxima à luz (Fms), fluorescência variável à luz (Fvs) e rendimento quântico do PSII (Yield). Foram realizadas três leituras de escuro e uma de claro em cada planta identificada. Determinou-se também a taxa de redução de fluorescência da clorofila (RFd) através da seguinte equação: $RFd = (Fm/Fs) - 1$ (Lichtenthaler et al., 2005).

Os dados foram submetidos à análise de variância e, havendo significância, compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de significância para os fatores "Adubação" e "Espaçamento de plantio". Já para fator "Horário" foram realizados ajustes das equações de regressão com base na adequação do modelo ao fenômeno estudado, significância dos parâmetros da regressão pelo teste t a 5% de significância e no coeficiente de determinação ajustado (R^2). Realizaram-se todas as análises com auxílio do programa estatístico "R".

3. RESULTADOS

Nos meses julho-agosto (período seco) verificou-se interação ($p \leq 0,05$) entre os fatores espaçamentos de plantio e as adubações químicas para as variáveis eficiência quântica (Fv/Fm) e rendimento quântico do fotossistema II (Yield) (Tabela 1). O espaçamento 3,00 x 1,00 x 0,25 m na ausência de adubação proporcionou o maior valor de Fv/Fm e Yield em cladódios de palma forrageira. Já com a aplicação de 200-150-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente, promoveu maiores valores de Fv/Fm em cladódios dispostos nos os espaçamentos 2,00 x 0,25 m e 3,00 x 1,00 x 0,25 m.

Tabela 1. Eficiência quântica (Fv/Fm) e rendimento quântico do fotossistema II (Yield) de palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações nos meses de julho-agosto (período seco).

Table 1. Quantum efficiency (Fv/Fm) and quantum yield of photosystem II (Yield) of 'Giant' forage palm cultivated under different spacing and fertilization in the months of July-August (dry season).

Espaçamento (m)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)				CV (%)
	000-000	000-150	200-150	200-150-100	
	Fv/Fm				
1,00 x 0,50	0,655 B	0,697	0,713	0,661B	
2,00 x 0,25	0,656 Bb	0,719 ab	0,683 ab	0,729 Aa	11,6
3,00 x 1,00 x 0,25	0,718 A	0,713	0,701	0,694 AB	
	Yield				
1,00 x 0,50	0,608 B	0,668	0,668	0,620	
2,00 x 0,25	0,601 Bb	0,683 a	0,642 ab	0,681 a	13,7
3,00 x 1,00 x 0,25	0,675 A	0,653	0,676	0,656	

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para os valores de Fv/Fm, Yield em cladódios de palma forrageira 'Gigante' houve ajuste a modelo cúbico apenas nos meses de outubro-novembro (período chuvoso), enquanto que em julho-agosto (período seco) verificou-se valores médios de 0,69 e 0,65 para Fv/Fm e Yield, respectivamente, pois, não houve ajuste a modelo que explicasse o fenômeno biológico em estudo (Figura 2A e B). Já para a taxa de redução de fluorescência (RFd) ajustaram-se modelos cúbicos no período seco e chuvoso (Figura 2C). Os modelos ajustados justificam-se, possivelmente, por adaptação fisiológica dos cladódios de palma forrageira ao longo do dia nas condições semiáridas.

Durante o período chuvoso verificou-se efeito isolado do fato "Espaçamento" sob as variáveis fluorescência inicial

(Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima à luz (Fms), fluorescência variável à luz (Fvs), rendimento quântico do fotossistema II (Yield) (Tabela 2).

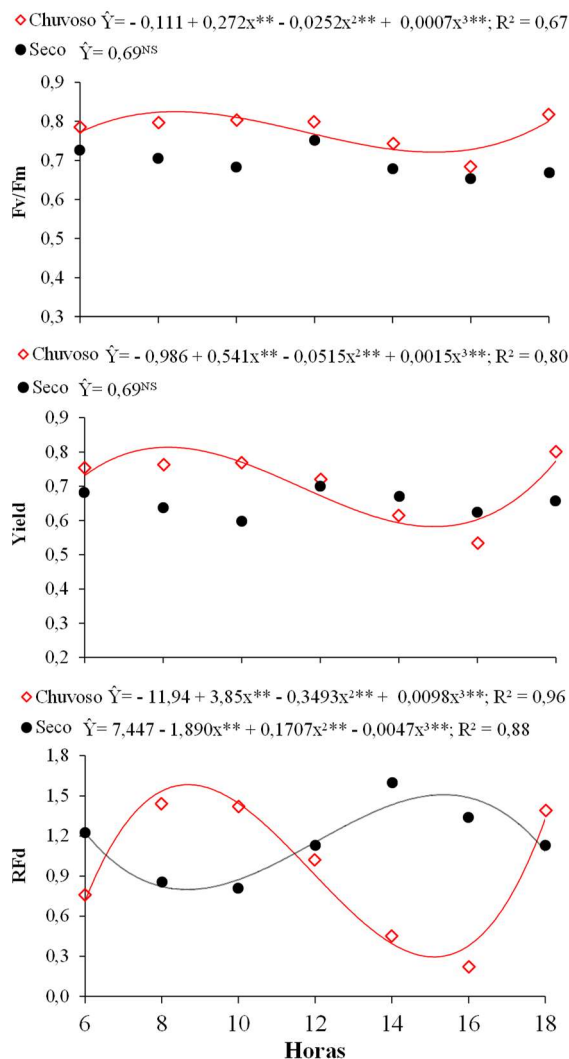


Figura 2. Eficiência quântica (Fv/Fm) (A), rendimento quântico do fotossistema II (Yield) (B) e taxa de redução de fluorescência (RFd) (C) de palma forrageira 'Gigante' ao longo do dia nos meses de julho-agosto (período seco) e outubro-novembro (período chuvoso). **Significativo a 1% pelo teste t. NS não significativo.

Figure 2. Quantum efficiency (Fv/Fm) (A), quantum yield of photosystem II (Yield) (B) and rate of fluorescence reduction (RFd) (C) of 'Gigante' forage palm throughout the day in July-August (dry season) and October-November (rainy season). Significant at 1% by t test. NS not significant.

Ocorreu interação ($p \leq 0,05$), entre os espaçamentos de plantio e os horários de avaliação ao longo do dia (Figura 3). Os valores de Fv/Fm ajustaram-se a modelos cúbicos em todos os espaçamentos avaliados.

4. DISCUSSÃO

No espaçamento 3,0 x 1,0 x 0,25 m ocorre maior sombreamento e as cladódios apresentam, sem a adubação, o maior valor de Fv/Fm e Yield. Possivelmente, estes cladódios submetidos a uma menor densidade de fluxo de fótons podem desenvolver mecanismos para aproveitamento mais eficiente da radiação e, assim, ajustam o aparato fotossintético para absorção adequada (SCHOCK et al.,

2014). Além disso, este espaçamento proporciona maior uniformidade de distribuição de plantas com maior exploração do solo pelo sistema radicular e maior extração de nutrientes (SILVA et al., 2016a) e, conseqüentemente, os cladódios apresentam reserva e maior resistência às condições sem adubação (SILVA et al., 2016b).

Tabela 2. Fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv), fluorescência máxima à luz (Fms), fluorescência variável à luz (Fvs), rendimento quântico do fotossistema II (Yield) de palma forrageira ‘Gigante’ em função do espaçamento de plantio nos meses de outubro-novembro (período chuvoso).

Table 2. Initial fluorescence (Fo), maximum fluorescence (Fm), variable fluorescence (Fv), maximum fluorescence to light (Fms), variable fluorescence to light (Fvs), quantum yield of ‘Giant’ forage palm photosystem II (Yield) as a function of planting spacing in the months of October-November (rainy season).

Espaçamento (m)	Fo	Fm	Fv	Fms	Fvs	Yield
1,00 x 0,50	182,8 b	876,5 b	693,9 b	1508,3 a	1123,3a	0,715 a
2,00 x 0,25	186,3 ab	873,1 b	687,0 b	1444,1 b	1054,6 b	0,697 b
3,00 x 1,00 x 0,25	188,0 a	915,3 a	727,3 a	1508,0 a	1115,6 a	0,713 a
CV (%)	7,4	10,0	11,9	11,7	14,5	5,6

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

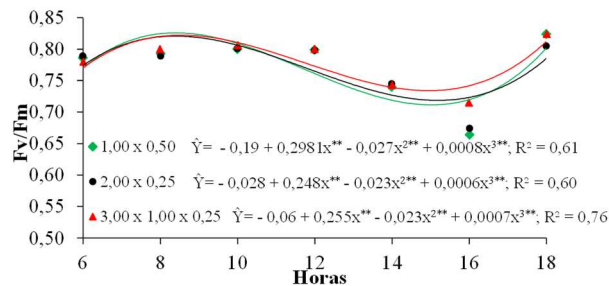


Figura 3. Eficiência quântica (Fv/Fm) de palma forrageira ‘Gigante’ ao longo do dia cultivada sob diferentes espaçamentos nos meses de outubro-novembro (período chuvoso). **Significativo a 1% pelo teste t.

Figure 3. Quantum efficiency (Fv / Fm) of ‘Gigante’ forage palm throughout the day cultivated under different spacing in the months of October-November (rain season). Significant at 1% by t test.

No entanto, quando se compara o efeito da adubação dentro do espaçamento 2,00 x 0,25 m verificou-se que o tratamento sem adubação proporcionou o menor valor de Fv/Fm e Yield diferindo do tratamento com a aplicação de 200-150-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. Portanto, evidencia-se que a ausência de adubação com arranjo de plantas que permite uma maior luminosidade e espaçamento entre plantas reduzido influencia negativamente a fotossíntese. Este fato corrobora com os resultados de números de cladódios e índice de área de cladódio (IAC) encontrados por Silva et al. (2016b) na mesma área experimental do presente estudo.

É importante salientar que o estresse, principalmente, por temperaturas elevadas e excesso de radiação no período seco não foi tão intenso no ano avaliado, pois, o período chuvoso prolongou-se até final de maio (Figura 1). Com isso, as plantas mantiveram-se em crescimento ativo, com muito tecido jovem e alto teor de água e quando foram realizadas as leituras em Julho-agosto os cladódios apresentaram-se com valores de Fv/Fm fora da faixa considerada ótima (Fv/Fm

de 0,800 ± 0,5) por Bolh ar-Nordenkampf et al. (1989), porém, com valores não tão drásticos como verificados na região semiárida para outras culturas com metabolismo CAM (BRITO et al., 2017).

No período seco verificaram-se valores médios para Fv/Fm e Yield (0,69 e 0,65, respectivamente) abaixo do ideal. Este fato ocorreu, pois, em condi es de seca e altas temperaturas há uma diminui o na atividade fotossintética do PSII atribuída a um excesso de energia do PSII durante a fase III da fotossíntese CAM (OJEDA-PÉREZ et al., 2017), portanto espera-se essa redu o em períodos secos.

A Rf    usada para avaliar a atividade de Ciclo de Calvin e seus processos relacionados onde valores abaixo de 1 sugerem que a fixa o do CO₂ tem sido severamente comprometida (LICHTENTHALER et al., 2005; PERERA-CASTRO et al., 2018). A Rf    no período seco apresentou o valor máximo às 15 horas, possivelmente, reflexo do elevado nível de CO₂ interno proveniente da descarboxila o do ácido m lico, condi o esta que favorece a atividade do ciclo de Calvin nas células dos cloroplastos.

Esses resultados obtidos em horários extremos de temperatura demonstram o grau de adaptabilidade da palma forrageira às condi es de estresse impostas pelo ambiente semiárido e indicam que a planta está atuando com o metabolismo CAM. Com isso, mesmo em condi es de maior temperatura as plantas conseguem manter um equilíbrio com ambiente e realizar suas atividades fotossintéticas.

Além disso, os resultados da Rf    no período seco corroboram com as quatro fases características de fixa o de CO₂ descrito para o metabolismo CAM (OSMOND, 1978; BORLAND et al., 2014). No início do período de luz (6 h) inicia-se a fase II e ocorre de absor o de CO₂ atmosférico com os estômatos ainda abertos. Em seguida, na fase III, com o aumento da temperatura e radia o ocorre o fechamento estomático (diminui o da condutância estomática) e não se tem a absor o de CO₂ externo, o que explica os menores valores de Rf    às 8 e 10 h. Nesta fase ocorre a descarboxila o do malato, armazenado nos vacúolos durante a fase I, libera o e assimila o fotossintética do CO₂ interno e conseqüente produ o de amido. Portanto, justifica-se o aumento dos valores de Rf    entre as 12 e 16 h. A fase IV ocorre no final do período de luz do dia em que a absor o líquida de CO₂ recomeça como resultado do esgotamento de ácidos orgânicos acumulados na noite e leva a uma diminui o da pressão parcial interna de CO₂ e um aumento na condutância estomática e transpira o e assim ocorreu uma queda do valor da Rf    observado às 18 h. Além disso, em condi es de seca verifica-se a fase IV da fotossíntese CAM   suprimida (MATTOS et al., 1999), o que corrobora com a redu o da Rf    às 18 h. Durante o período chuvoso verificou-se a mesma tendência para os valores de Fv/Fm, Yield e Rf   . Justificam-se os ajustes cúbicos, pois, menor temperatura e radia o das 6 às 10 h proporciona maior transporte de elétrons e absor o de CO₂ e assim, tem-se um aumento dessas variáveis. No entanto, mesmo em período chuvoso, em condi es semiáridas tem-se um aumento de radia o e temperatura a partir de 11 h e, com isso, as enzimas responsáveis pela redu o do carbono são danificadas e o transporte de elétrons   inibido, o que sugere haver redu o na quantidade de energia aproveitada pela planta para realiza o dos processos fotoquímicos (ROMO-CAMPOS et al., 2013) que resultam em queda nos valores  t às 16 h. Em seguida ocorre um aumento novamente, devido

ao início da Fase IV da fotossíntese CAM no final da tarde (18 h).

Esta mesma tendência foi observada anteriormente em cladódios de palma forrageira na região em estudo em período chuvoso (BRITO et al., 2018) e evidenciam que em condições amenas de temperatura, alta umidade relativa do ar (Figura 1), portanto, baixo déficit de pressão de vapor, os cladódios de palma forrageira atuam com metabolismo C3 durante a Fase III da fotossíntese CAM. Neste sentido, entre às 6 e 11 h os estômatos estariam abertos absorvendo CO₂, mais com baixa perda de água devido às condições meteorológicas do período. No entanto, quando a temperatura e radiação aumentam e ocorre o fechamento estomático, com posterior abertura apenas no final do dia. Outro fator que corrobora esse fato é a percepção em campo da inclinação dos cladódios (nastismo) como relatado por Donato et al. (2017b), que caracteriza um mecanismo morfofisiológico de defesa, comumente observado em plantas C3 (FAIZ et al., 2017).

Pode-se inferir que a atividade fotoquímica dos cladódios de palma forrageira apresentou magnitude de respostas diferenciadas nos períodos seco e chuvoso avaliados, fato que indica alterações fotossintéticas que permitem a cultura captar CO₂ a noite (via CAM) e durante o dia (via C3) (PIMIENTA-BARRIOS et al., 2012) para acumular maior quantidade de reserva em épocas favoráveis, ou seja, no período de chuvas, e utilizar estas com a máxima eficiência em períodos de seca onde ela atua apenas como metabolismo CAM.

De forma geral, tem-se que os espaçamentos 1,00 x 0,50 m e 3,00 x 1,00 x 0,25 m propiciaram os melhores resultados de fluorescência, principalmente, em relação ao Yield. Esse resultado de rendimento quântico ideal em cladódios de palma forrageira no período chuvoso deve-se possivelmente, ao fato que a taxa instantânea de assimilação de CO₂ e o ganho diário de carbono dos cladódios aumentaram significativamente após as plantas receberem uma quantidade substancial de chuva. Pesquisas realizadas em cladódios de palma forrageira verificaram que captação diária líquida de CO₂ foi mais acentuada na época de chuvas e a formação de raízes aumentada em resposta à disponibilidade de água no solo (PIMIENTA-BARRIOS et al., 2012).

Esses resultados diários são importantes e podem ser extrapolados para o contexto produtivo ao longo do ano, que se for observado apresenta as mesmas variações das características meteorológicas presente ao longo do dia, tais como, variação de temperatura, radiação, umidade relativa, déficit de pressão de vapor. Assim, a variação cúbica observada no crescimento da palma forrageira ao longo do ciclo produtivo (SILVA et al., 2016b) corrobora com os resultados diários de fluorescência da clorofila encontrados no presente estudo.

Além disso, os resultados ampliam os conhecimentos existentes sobre a fisiologia da cultura e permite em associação com outros resultados de pesquisa (DONATO et al., 2014; SILVA et al., 2016ab; PADILHA JÚNIOR et al., 2016; DONATO et al., 2017a; BRITO et al., 2018) otimizar as práticas de manejo e elevar os índices produtivos da palma forrageira nas condições edafoclimáticas do semiárido.

5. CONCLUSÕES

Os cladódios de palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química sofrem

alterações no fotossistema II na época seca nas condições fisiográficas do semiárido baiano.

Na época de chuvas na região semiárida o rendimento fotossintético em cladódios de palma forrageira é considerado ideal com variações ao longo do dia.

6. REFERÊNCIAS

- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; OQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. **Functional Ecology**, Oxford, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2389624>
- BORLAND, A. M.; HARTWELL, J.; WESTON, D. J.; SCHLAUCH, K. A.; TSCHAPLINSKI, T. J.; TUSKAN, G. A.; YANG, X.; CUSHMAN, J. C. Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency. **Trends in Plant Science**, Copenhagen, v. 19, n. 5, p. 327-338, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2014.01.006>
- BRITO, C. F. B.; DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. Photochemical efficiency in cladodes of 'Gigante' cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 5, p. 338-343, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p338-343>
- BRITO, C. F. B.; SANTOS, M. R. dos.; FONSECA, V. A.; ARANTES, A. de M.; ALMEIDA, J. R. de. Physiological characteristics and yield of 'Pérola' pineapple in the semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 12, p. 834-839, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n12p834-839>
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. de A.; Da SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; da SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>
- DÍEZ, M. C.; MORENO, F.; GANTIVA, E. Effects of light intensity on the morphology and CAM photosynthesis of *Vanilla planifolia* Andrews. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 70, n. 1, p. 8023-8031, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61736>
- DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A. da; PIRES, A. J. V.; SILVA JÚNIOR, A. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of 'Gigante' cactus pear under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 4, p. 238-243, 2017a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243>
- DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. M.; BRITO, C. F. B.; RODRIGUES, M. G. V.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R. Considerações sobre clima semiárido e ecofisiologia da palma forrageira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 7-20, 2017b.
- DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante'

- sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252>
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; MELLO, A. C. L.; CUNHA, M. V. da; FERREIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; LIRA, M. de A.; SILVA, M. da C. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 1067, n. 1, p. 181-186, 2015. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1067.24>
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.
- GOLTSEV, V. N.; KALAJI, H. M.; PAUNOVA, M.; BABA, W.; HORACZEK, T.; MOJSKI, J.; KOCIEL, H.; ALLAKHVERDIEV, S. I. Variable chlorophyll fluorescence and its use for assessing physiological condition of plant photosynthetic apparatus. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 63, n. 6, p. 869-893, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443716050058>
- LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C.; KNAPP, K. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio Rfd of leaves with the PAM fluorometer. **Photosynthetica**, Praga, v. 43, n. 3, p. 379-393, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0062-6>
- MATTOS, E. A. de; HERZOG, B.; LÜTTGE, U. Chlorophyll fluorescence during CAM-phases in *Clusia minor* L. under drought stress. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 50, n. 331, p. 253-261, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/50.331.253>
- MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ert208>
- OJEDA-PÉREZ, Z. Z.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Continuous high and low temperature induced a decrease of photosynthetic activity and changes in the diurnal fluctuations of organic acids in *Opuntia streptacantha*. **Plos One**, San Francisco, v. 12, n. 10, e0186540, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186540>
- OSMOND, C. B. Crassulacean Acid Metabolism: A Curiosity in Context. **Annual Review of Plant Physiology**, Los Angeles, v. 29, n. 1, p. 379-414, 1978. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.29.060178.002115>
- PADILHA JUNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. B.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde**, Pombal, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v11i1.3710>
- PERERA-CASTRO, A. V.; BRITO, P.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A. M. Changes in thermic limits and acclimation assessment for an alpine plant by chlorophyll fluorescence analysis: Fv/Fm vs. Rfd. **Photosynthetica**, Praga, v. 56, n. 2, p. 527-536, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1146/10.1007/s11099-017-0691-6>
- PIMIENTA-BARRIOS, E.; ZAÑUDO-HERNÁNDEZ, J.; MUÑOZ-URIAS, A.; MURGUÍA, C. R. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus-indica* in wet and dry conditions. **Gayana Botanica**, Concepción, v. 69, n. 2, p. 232-239, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432012000200002>
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, E. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- ROMO-CAMPOS, R.; FLORES-FLORES, J. L.; FLORES, J.; ÁLVAREZ-FUENTES, G. Factores abióticos involucrados en la facilitación entre leñosas y suculentas en el altiplano mexicano. **Botanical Sciences**, Cidade do México, v. 91, p. 319-333, 2013.
- SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JUNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 3, p. 236-242, 2016a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p236-242>
- SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JUNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, p. 564-569, 2016b. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>
- 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**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 3-9, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000100001>
- STRAUSS, A. J.; KRÜGER, G. H. J.; STRASSER, R. J.; VAN HEERDEN, P. D. R. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 56, n. 2, p. 147-157, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.envenpbot.2005.01.011>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.