

## Análises fisiológicas e de crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação

*Physiological and growth analysis and productivity of cassava under irrigation levels*

Ricardo Barros Silva<sup>1\*</sup> (ORCID 0000-0002-0127-8325), Iêdo Teodoro<sup>1</sup> (ORCID 0000-0002-7020-0177), José Leonaldo de Souza<sup>1</sup> (ORCID 0000-0002-5399-856X), Ricardo Araújo Ferreira Júnior<sup>1</sup> (ORCID 0000-0002-5958-6275), Marcos Alex dos Santos<sup>1</sup> (ORCID 0000-0003-3115-9324), Ivomberg Dourado Magalhães<sup>1</sup> (ORCID 0000-0003-2959-2698), Guilherme Bastos Lyra<sup>1</sup> (ORCID 0000-0002-6186-2048), Marcos Antônio Ferreira de Morais<sup>1</sup>, Iêdo Peroba de Oliveira Teodoro<sup>1</sup> (ORCID 0000-0001-8581-6639), Antônio Lucrécio dos Santos Neto<sup>2</sup> (ORCID 0000-0003-1540-0202), Gleica Maria Correia Martins<sup>2</sup> (ORCID 0000-0002-8696-9220)

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, Brasil. \*Autor para correspondência: ricardoufal2010@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Alagoas, Arapiraca, AL, Brasil.

Submissão: 18/08/2021 | Aceite: 25/10/2021

### RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o crescimento, produtividade e as respostas fisiológicas da mandioca sob níveis de irrigação na Zona da Mata de Alagoas. O delineamento estatístico utilizado foi blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Os tratamentos foram seis níveis de irrigação, em função da evapotranspiração da cultura –  $ET_c$  ( $L_0 = 0\%$  (sequeiro),  $L_1 = 40\%$ ,  $L_2 = 80\%$ ,  $L_3 = 120\%$ ,  $L_4 = 160\%$  e  $L_5 = 200\%$  da  $ET_c$ ). As variáveis foram divididas em grupos: crescimento e produção (avaliadas em seis períodos bimestrais – 1 ano) e as fisiológicas (taxa fotossintética líquida e transpiratória, temperatura foliar, condutância estomática, eficiência instantânea do uso de água, rendimento quântico potencial, eficiência quântica efetiva do fotossistema II ( $\Phi_{PSII}$ ) e índice SPAD foram avaliadas em cinco períodos bimestrais – 10 meses). O balanço hídrico dos níveis de irrigação, foi realizado em escala decenal. A evapotranspiração anual da cultura da mandioca estimada foi 1.030 mm, e nas áreas de sequeiro, a chuva efetiva somou apenas 522 mm, o que gerou déficit hídrico de 508 mm, e isso torna evidente a importância de utilização da irrigação em cultivos na região. De maneira geral, crescimento, produtividade e as respostas fisiológicas da mandioca são superiores em áreas irrigadas quando comparadas com cultivos de sequeiro e a irrigação proporciona as produtividades de raízes e biomassa total de 97 e 155 t ha<sup>-1</sup>, sob os níveis de irrigação de 129 e 136% da  $ET_c$ , respectivamente, na região estudada.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Manihot esculenta* Crantz; comprimento de raízes; índice de área foliar; taxa fotossintética; rendimento agrícola; índice de colheita.

### ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the growth, productivity and the physiological responses of cassava under irrigation levels in the Alagoas Forest Zone. The statistical design used was randomized blocks, in a split-plot scheme, with four replications. The treatments were six levels of irrigation, depending on the evapotranspiration of the crop –  $ET_c$  ( $L_0 = 0\%$  (Rainfed),  $L_1 = 40\%$ ,  $L_2 = 80\%$ ,  $L_3 = 120\%$ ,  $L_4 = 160\%$  and  $L_5 = 200\%$  of the  $ET_c$ ). The variables were divided into groups: growth and production (evaluated in six bimonthly periods - 1 year) and the physiological (*net photosynthetic rate and transpiratory, leaf temperature, stomatal conductance, instantaneous water use efficiency, potential quantum yield, effective quantum efficiency of photosystem II and SPAD index* were evaluated in five bimonthly periods – 10 months). The water balance of the irrigation levels was carried out, on a decennial scale. The annual evapotranspiration of cassava added around 1,030 mm, and in dryland areas, the effective rainfall is only 522 mm, which generates a water deficit of 508 mm, and this makes the importance evident of use of irrigation in crops in the region. In general, cassava growth, yield and the physiological responses are superior in irrigated areas when compared with the rainfed crops, and irrigation provides the root and total biomass yields of 97 and 155 Mg ha<sup>-1</sup>, under the irrigation levels of 129 and 136% of the  $ET_c$ , respectively, in the studied region.

**KEYWORDS:** *Manihot esculenta* Crantz; root length; leaf area index; photosynthetic rate; agricultural productivity; harvest index.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos tem exigido uma agricultura mais tecnificada e capaz de aumentar a produtividade de culturas agrícolas. E, esse desafio torna-se ainda maior devido às mudanças climáticas que tem afetado a distribuição de chuvas no planeta. Nesse contexto, a mandioca é uma planta que se destaca por tolerar ambientes estressantes, como aqueles com baixos índices pluviométricos que geram déficits hídricos prolongados, por isso é uma cultura agrícola de elevada importância socioeconômica (ZHU et al. 2020).

Apesar da rusticidade das cultivares atuais, o déficit hídrico é o principal fator que limita a produção de mandioca (ZHU et al. 2020) devido à baixa produtividade mundial, que é apenas 11,2 t ha<sup>-1</sup> (FAO 2021), comparada a um potencial acima de 80 t ha<sup>-1</sup> (ANDE et al. 2008). O período crítico de cultivo, em que a lavoura de mandioca pode ser mais afetada por déficit hídrico, ocorre entre o primeiro e quinto mês após o plantio (CONCEIÇÃO 1979). Esse período é caracterizado pelo estabelecimento do sistema radicular e dossel vegetativo da planta. Além disso, déficits hídricos por longos períodos comprometem mecanismos fisiológicos das plantas e induz ao fechamento estomático, redução da taxa fotossintética e transpiração foliar, que conseqüentemente, comprometem a produtividade da cultura (EL-SHARKAWY 2007).

O Nordeste brasileiro é exemplo de região com distribuição irregular de chuvas e isso interfere na produtividade agrícola regional da mandioca (SILVA et al. 2011), nessas condições, a adoção de irrigação surge como uma alternativa viável para aumentar a produtividade na região. Portanto, desenvolver pesquisas com mandioca irrigada é importante para determinar o manejo hídrico ideal para a cultura, o que pode aumentar a produtividade e evitar o desperdício de água em regiões com escassez hídricas devido a irregularidade de chuvas (PIPATSITEE et al. 2018).

Diante do exposto, desenvolver pesquisas que aumentem a produtividade em cultivos de mandioca na região Nordeste do Brasil é importante para garantir renda e alimento à população mais pobre. Por isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento, produtividade e as respostas fisiológicas da mandioca submetida a diferentes níveis de irrigação na zona da Mata de Alagoas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área do Estudo

A pesquisa foi realizada no *Campus* de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (9°27'58,7" S; 35°49'47,2" W; 127 m), município de Rio Largo, Zona da Mata de Alagoas, Nordeste brasileiro. De acordo com classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AS, tropical com ocorrência de chuvas de outono à inverno, precipitação pluvial média de 1.500 a 2.200 mm, e temperatura média do ar de 23 a 28 °C (BARROS et al. 2012). Dados agrometeorológicos durante o período experimental foram cedidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) do CECA/UFAL, que tem uma estação agrometeorológica automática (Micrologger – CR 1000, Campbell Scientific, Logan, Utah), instalada próxima a área de cultivo (50 m). O solo da área experimental é do tipo Latossolo amarelo de textura médio-argilosa. As propriedades físico-hídricas do solo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades físico-hídricas do solo da área experimental.

Table 1. Physical-hydric properties of the soil in the experimental area.

Propriedades	Unidade	Valor
Capacidade de campo	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,244
Ponto de murcha permanente	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,147
Capacidade de água disponível	Mm	58,00
Densidade do solo	g m <sup>-3</sup>	1,500
Porosidade total	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,423
Velocidade de infiltração básica	mm h <sup>-1</sup>	52,00

### Implantação e Condução do Experimento

O experimento de campo foi implantado e conduzido no período de junho de 2019 a junho de 2020. O espaçamento de plantio foi de 1,0 x 0,5 m (20 mil plantas por hectare). A cultivar utilizada foi a Caravela, que possui ciclo de 12 a 18 meses. As manivas utilizadas, no plantio, possuíam 20 cm de comprimento e pelo menos cinco gemas. Após o plantio, foi aplicado herbicida pré-emergente a base de Flumioxazina (200 g p.c./ha, 400 L de calda/ha). Durante o cultivo plantas invasoras foram eliminadas através de capinas manuais.

A adubação de fundação e cobertura da mandioca foram realizadas em função da estimativa de extração de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), conforme SOUZA et al. (2009). No total foram aplicados 142 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na fundação, e de forma parcelada na cobertura foram aplicados 273 kg ha<sup>-1</sup> de ureia e 252 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, aos 45 e 90 dias após o plantio (DAP).

#### **Delineamento Estatístico e Tratamentos**

O delineamento experimental adotado foi blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e os tratamentos foram seis níveis de irrigação em função da evapotranspiração da cultura – ET<sub>C</sub> (L<sub>0</sub> = 0% (sequeiro), L<sub>1</sub> = 40%, L<sub>2</sub> = 80%, L<sub>3</sub> = 120%, L<sub>4</sub> = 160% e L<sub>5</sub> = 200% da ET<sub>C</sub>). Variáveis de crescimento e produção (análise de crescimento e produtiva) foram avaliadas em seis períodos bimestrais (1 ano) e as variáveis fisiológicas foram avaliadas em cinco períodos bimestrais (10 meses). Os períodos bimestrais de avaliação formaram subparcelas (meses). As parcelas experimentais tinham 6,0 x 8,0 m (48 m<sup>2</sup>), com 96 plantas por parcela. A área total de cultivo foi de 1.740 m<sup>2</sup>. Os níveis de irrigação superiores a 100% da ET<sub>C</sub> foram estudados com o objetivo de se obter a produtividade potencial da mandioca irrigada. A ET<sub>C</sub> foi obtida através da Equação 1.

$$ET_C = ET_0 * K_c \quad (1)$$

em que, ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al. 1998) e K<sub>c</sub> é o coeficiente da cultura.

O K<sub>c</sub> durante o período de irrigação foi de 1,0, porque a cultura encontrava-se na fase intermediária de crescimento e desenvolvimento do seu ciclo. Enquanto, nas fases inicial e final do ciclo o K<sub>c</sub> foi de 0,35 e 0,45, respectivamente, conforme o Royal Irrigation Department – RID (2010), mas nessas fases não houve irrigação porque ocorreram durante a estação chuvosa da região.

#### **Manejo da Irrigação**

A irrigação (tratamentos) foi realizada entre outubro de 2019 e março de 2020, no período seco da região. O sistema utilizado foi microaspersão, com eficiência de 95%, espaçamento entre emissores de 2,0 x 3,0 m, com vazão média de 50 L h<sup>-1</sup> e intensidade de aplicação (IA) de 8,33 mm h<sup>-1</sup>. O turno de rega adotado foi de 3 dias em função da ET<sub>C</sub> do período seco da região e as chuvas ocorridas durante o período de irrigação foram descontadas da água aplicada. O balanço hídrico do cultivo para cada nível de irrigação foi feito em escala decendial através do método de Thornthwaite e Mather, de acordo com PEREIRA et al. (2002). A chuva efetiva foi determinada através da subtração do excesso hídrico, obtido pelo balanço hídrico, da chuva total. A água total consumida pelas plantas foi estabelecida como a chuva efetiva (ou evapotranspiração real da cultura) mais a quantidade de água aplicada via irrigação.

#### **Avaliações Experimentais**

As avaliações foram realizadas em intervalos bimestrais, em três plantas da área útil de cada parcela (24 m<sup>2</sup>) e as variáveis de crescimento e produção analisadas foram: altura de plantas (AP, cm), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC, mm), índice de área foliar (IAF), comprimento de raízes comerciais (CRC, cm), número de raízes comerciais (NRC), diâmetro de raízes comerciais (DRC, mm), produtividades de folhas (PF, t ha<sup>-1</sup>), caule (PC, t ha<sup>-1</sup>), raízes comerciais (PR, t ha<sup>-1</sup>), e biomassa úmida total (Raiz, Caule e Folha – BT, t ha<sup>-1</sup>) e índice de colheita (IC). Salienta-se que as variáveis CRC, NRC, DRC e IC foram avaliadas apenas no momento da colheita da área experimental em junho de 2020 (355 DAP).

As medidas de comprimento e diâmetro do caule e altura das plantas foram realizadas com auxílio de trena e paquímetro. O diâmetro do caule foi medido 30 cm acima do nível do solo e o diâmetro de raízes foi mensurado no centro. A altura de plantas foi obtida do nível do solo ao ápice da planta. O índice de área foliar da cultura foi obtido com o uso do aparelho LAI 3100 (Modelo Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Para tal, foram retiradas folhas das plantas avaliadas e levadas ao aparelho. Os valores de área foliar (cm<sup>2</sup>) obtidos foram utilizados para estimar a razão entre a área de solo disponível para a planta e cobertura vegetal (IAF).

As produtividades foram obtidas através de pesagem dos órgãos vegetais da planta em balança (Toledo, Pix 3 Plus, São Bernardo do Campo, Brasil). O índice de colheita de raízes comerciais foi determinado através da razão entre massa de raízes e massa total da planta. Foram consideradas raízes comerciais, as que tinham diâmetro maior que 2 cm e comprimento maior que 10 cm, conforme TIRONI et al. (2015).

As variáveis fisiológicas (taxa fotossintética líquida – FL, taxa transpiratória – TR, temperatura foliar – Tf, condutância estomática – gs e eficiência instantânea do uso de água – FL/TR), foram medidas utilizando um analisador de gás infravermelho (IRGA, ADC modelo LCi, Hoddesdon, Reino Unido) com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 2.000 mmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Essas variáveis foram obtidas em dias

ensolaradas, entre 8:00 e 10:00 horas, com leitura na quinta folha totalmente expandida de duas plantas na área útil da parcela. A eficiência instantânea do uso da água foi obtida através da razão entre a taxa fotossintética e transpiratória das plantas.

Nas mesmas plantas que foram avaliadas as variáveis fisiológicas acima, também foi analisada a fluorescência da clorofila "a" com o uso de um fluorômetro de modulação de luz (OptiSciences, modelo OS1-FL, Hudson, EUA), com isso determinou-se o rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m$ ) e a eficiência quântica efetiva do fotossistema II ( $\Phi_{PSII}$ ). Para obtenção da  $\Phi_{PSII}$  as folhas analisadas foram previamente adaptadas ao escuro por 30 minutos utilizando cliques metálicos. O teor de clorofila foliar foi determinado indiretamente com auxílio do medidor de clorofila SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development Section, Minolta Camera Co., Osaka, Japão).

### Análise Estatística

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F ( $p < 0,05$ ), foram submetidos a análise de regressão. Os níveis de irrigação foram desdobrados dentro dos períodos avaliados e os coeficientes das regressões tiveram sua significância verificada pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A chuva total, durante o cultivo da mandioca, foi 1.845 mm, desse total, 1.742 mm (94,4%) concentrou-se entre 27 de junho e 17 de setembro de 2019 e de 04 de fevereiro a 15 de junho de 2020, os outros 103 mm (5,6%) foram registrados entre 18 de setembro de 2019 e 03 de fevereiro de 2020 (estação seca da região). Há, portanto, um déficit hídrico nesse período seco, que ocorre historicamente entre setembro e março, conforme SOUZA et al. (2005). Durante o período de irrigação (15 de outubro 2019 a 11 de março 2020) choveu apenas 212 mm (Figura 1a). De acordo com TROCCOLI et al. (2014), acumulados entre 400 e 750 mm, a depender da cultivar, são suficientes para atender os cultivos de mandioca com ciclo de 300 dias. Portanto, fica nítido que na região do estudo há chuva anual suficiente para suprir a demanda hídrica da mandioca, porém, devido a sazonalidade das chuvas, torna-se necessária a utilização de irrigação em cultivos.

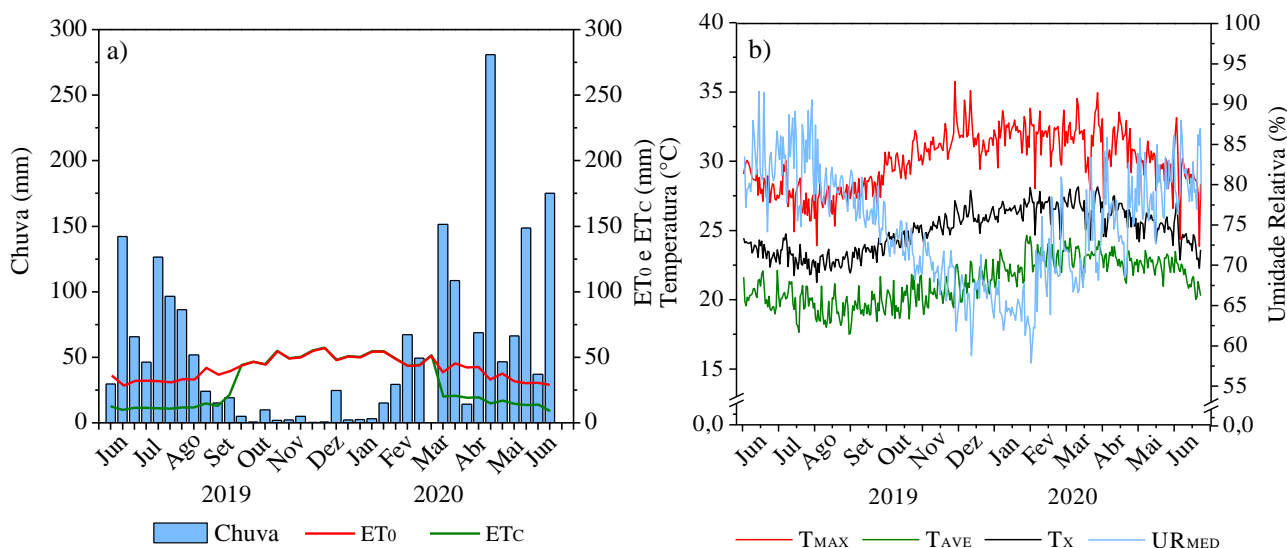


Figura 1. a) Chuva, evapotranspiração de referência -  $ET_0$  e da cultura -  $ET_c$  e b) temperaturas: mínima -  $T_{MIN}$ , média -  $T_{MED}$  e máxima -  $T_{MAX}$  do ar diárias e umidade relativa do ar média diária -  $UR_{MED}$ , no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Figure 1. a) Rain, reference evapotranspiration -  $ET_0$  and crop -  $ET_c$  e b) temperatures: minimum -  $T_{MIN}$ , mean -  $T_{AVE}$  and maximum -  $T_{MAX}$  daily air and daily mean relative air humidity -  $UR_{MED}$ , in the period from June 2019 to June 2020.

Nas áreas de sequeiro, da chuva total de 1.845 mm, foi perdido como excesso hídrico 1.323 mm (escoamento superficial ou percolação no solo) devido ao grande volume de água precipitado no período chuvoso (Abril a Agosto). Portanto, a chuva efetiva (chuva total menos excesso hídrico) foi 522 mm, sendo essa a quantidade de água que ficou disponível para as plantas não irrigadas. Por isso, ocorreu um déficit hídrico de 508 mm nessas áreas, já que a  $ET_c$  total foi 1.030 mm, com média diária de  $3,0 (\pm 1,8) \text{ mm.d}^{-1}$ .

O déficit hídrico concentrou-se entre o último decêndio de setembro de 2019 e primeiro de fevereiro de 2020. Então, conclui-se que a evapotranspiração real da cultura ( $ET_r$ ) da mandioca acumulada, sob o regime de sequeiro, foi 522 mm, equivalente a chuva efetiva. A evapotranspiração de referência total ( $ET_0$ ) durante o cultivo foi 1.454 mm, com média diária de 4,1 ( $\pm 1,1$ ) mm.d<sup>-1</sup> (Figura 1a).

A temperatura média do ar ( $T_{MED}$ ) foi 25,1 °C ( $\pm 1,5$ ), durante o período experimental. A temperatura mínima do ar média ( $T_{MIN}$ ) foi 21,3 °C ( $\pm 1,6$ ), enquanto, a temperatura máxima do ar média ( $T_{MAX}$ ) foi 30,1 °C ( $\pm 2,1$ ). Temperaturas entre 20 e 27 °C são ideais para o cultivo da mandioca (OLIVEIRA et al. 2020). Portanto, a Zona da Mata de Alagoas, onde essa pesquisa foi desenvolvida, é apta para o cultivo da mandioca e supre a exigência térmica da cultura. A umidade relativa do ar média ( $UR_{MED}$ ) foi 74,2% no período de cultivo (Figura 1b).

Os extratos dos balanços hídricos dos níveis de irrigação (excessos e déficits), irrigação aplicada, chuva efetiva e lâmina total (chuva efetiva + irrigação) encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Chuva total ( $C_{TOTAL}$ ) e efetiva, lâminas de irrigação brutas totais aplicadas (irrigação total), água total consumida (chuva efetiva mais irrigação), déficit e excesso hídrico durante o ciclo de cultivo da mandioca, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Table 2. Total ( $R_{TOTAL}$ ) and effective rainfall, total gross irrigation depths applied (total irrigation), total water consumed (effective rain plus irrigation), deficit and excess water during the cassava cultivation cycle, from June from 2019 to June 2020.

Níveis	Chuva Efetiva	Irrigação Total	Lâmina Total	Déficit	Excesso
% $ET_C$	----- mm -----				
Sequeiro	522	0	522	508,0	1.323
40	522	134	656	372,0	1.323
80	510	307	817	211,0	1.335
120	456	507	963	65,0	1.389
160	317	701	1.018	5,0	1.528
200	117	906	1.023	5,0	1.728
$C_{TOTAL} = 1.845$ mm	-	-	-	-	-

Os diferentes níveis de irrigação em função de percentuais da  $ET_C$  e períodos de avaliação geraram interação significativa, a 5% de probabilidade, para as variáveis: índice SPAD, eficiência quântica efetiva do fotossistema II, taxa fotossintética líquida, condutância estomática, taxa transpiratória, altura de plantas, índice de área foliar, produtividades de raízes comerciais, folhas e biomassa total. O comprimento de raízes comerciais e índice de colheita foram significativas na colheita para os níveis de irrigação estudados (Tabela 3). As variáveis, rendimento quântico potencial, temperatura foliar, eficiência instantânea do uso da água, número de folhas, diâmetro do caule, produtividade de caule e número e diâmetro de raízes comerciais não foram significativas a 5% de probabilidade, portanto, não foram discutidas neste trabalho.

Em relação as variáveis fisiológicas, a eficiência quântica efetiva ( $\Phi_{PSII}$ ) da mandioca apresentou resposta à irrigação no sexto mês de cultivo. Nesse período o maior valor foi 0,67 em áreas irrigadas com 200% da  $ET_C$ . Enquanto isso, sob o regime de sequeiro, o valor máximo obtido foi 0,47, redução de 30% na  $\Phi_{PSII}$  em relação ao maior valor obtido (Figura 4a). VERÍSSIMO et al. (2010) analisaram a eficiência quântica efetiva de cultivares de mandioca, sob irrigação plena em Alagoas, e observaram o maior valor de 0,61 para a cultivar Dona Diva, valor próximo ao obtido nessa pesquisa. De acordo com os pesquisadores, a maior eficiência quântica efetiva indica uma maior eficiência no transporte de elétrons, e isso aumenta a capacidade fotossintética da planta. Portanto, áreas irrigadas tendem a possuir maior capacidade fotossintética quando comparadas a área de sequeiro ou sub irrigadas.

A taxa fotossintética líquida (FL) foi maior em áreas irrigadas durante o período de irrigação. Aos 4 e 6 meses após o plantio (MAP), nos níveis de irrigação de 149 e 166% da  $ET_C$  foram observados os maiores valores de "A", 28,1 e 23,7  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente. Nas áreas de sequeiro ocorreram as menores taxas fotossintéticas em ambos os períodos, 10,2 e 12,7  $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , uma redução de 63 e 46% em relação aos maiores valores obtidos, respectivamente (Figura 4b). Posteriormente, foi observado aumento na taxa fotossintética da mandioca em áreas sob regime de sequeiro, isso ocorreu porque a partir do segundo decêndio de fevereiro de 2020 passou a chover com maior frequência na região, conforme pôde ser observado na Figura 2a, e isso reduziu o déficit hídrico nessas áreas, o que deixa claro que o status hídrico da planta influencia diretamente em sua capacidade fotossintética. Esse comportamento é ratificado

por outros pesquisadores em estudos sob condições de déficit hídrico e irrigação plena no cultivo da mandioca (CIAT 1989, PIPATSITEE et al. 2018), esses pesquisadores enfatizam que sob estresse hídrico, a abertura estomática da mandioca é o mecanismo mais afetado. Isso interfere na concentração intercelular de CO<sub>2</sub> na planta e prejudica a capacidade fotossintética da planta.

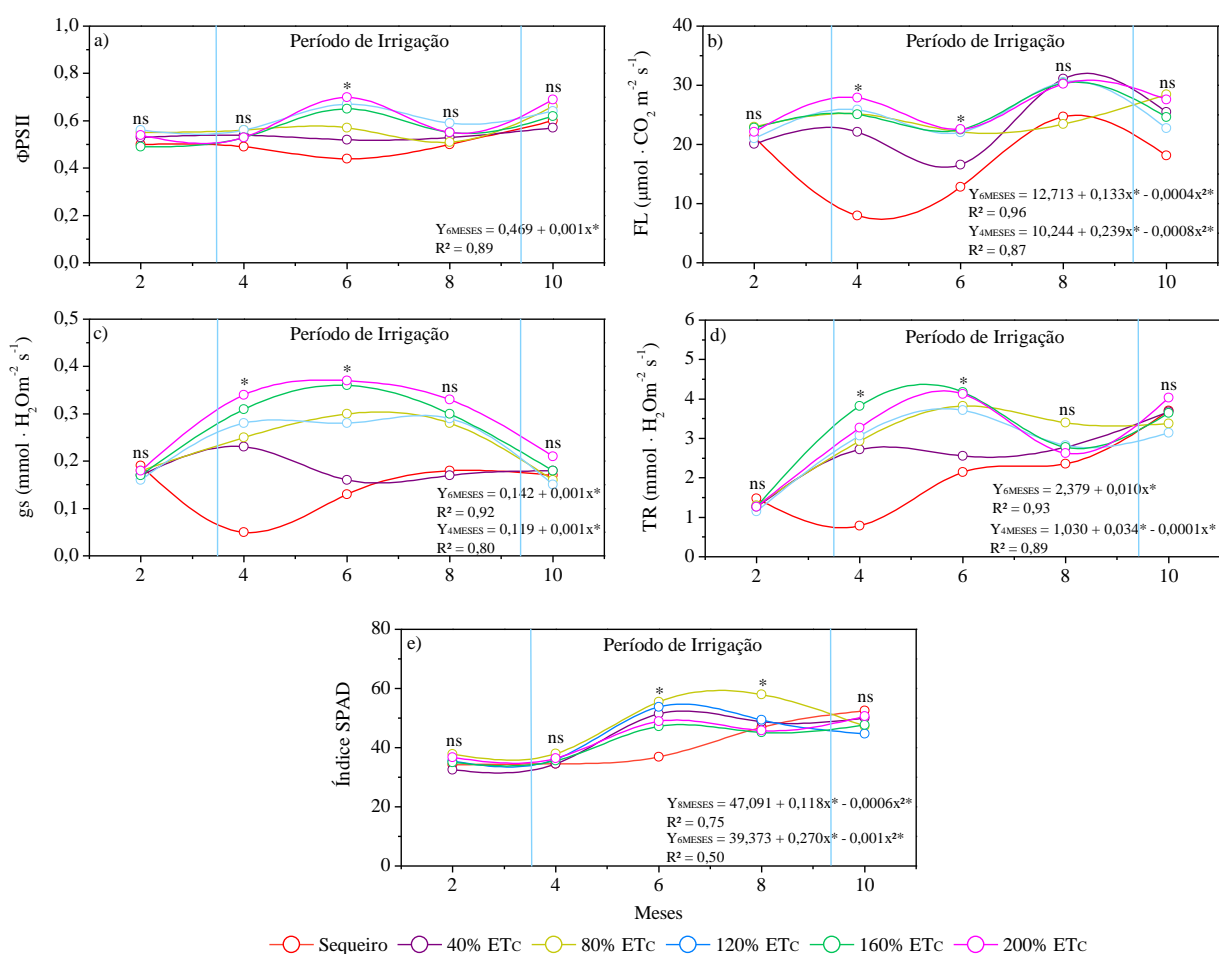
Tabela 3. Análise de variância para altura de plantas (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC), índice de área foliar (IAF), comprimento de raízes comerciais (CRC), número de raízes comerciais (NRC), diâmetro de raízes comerciais (DRC), produtividades de folhas (PF), caule (PC), raízes comerciais (PR), biomassa úmida total (BT), índice de colheita (IC), taxa fotossintética líquida (FL), taxa transpiratória (TR), temperatura foliar (Tf), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso de água (FL/TR), rendimento quântico potencial (Fv/Fm), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (ΦPSII) e índice SPAD no cultivo da mandioca sob níveis de irrigação cultivada de junho de 2019 a junho de 2020.

Table 3. Analysis of variance for plant height (HP), number of leaves (NL), stem diameter (SD), leaf area index (LAI), commercial root length (CRL), commercial root number (NRN), diameter of commercial roots (DCR), leaf productivity (LP), stem (SP), commercial roots (RP), total wet biomass (TB), harvest index (HI), net photosynthetic rate (NP), transpiration rate (TR), leaf temperature (LT), stomatal conductance (gs), instantaneous water use efficiency (FL/TR), potential quantum yield (Fv/Fm), effective quantum efficiency of photosystem II (ΦPSII) and SPAD index of cassava under irrigation levels, from June 2019 to June 2020.

Causa de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		Variáveis Fisiológicas			
		SPAD	ΦPSII	Fv/Fm	FL
Níveis de Irrigação	5	93,030*	0,025*	0,004 <sup>ns</sup>	214,061*
Bloco	3	13,722 <sup>ns</sup>	0,013 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	18,374 <sup>ns</sup>
Erro 1	15	15,782	0,004	0,001	8,268
Meses	4	1.339,145*	0,047*	0,087 <sup>ns</sup>	258,826*
Erro 2	12	10,703	0,010	0,000	14,792
Níveis x Meses	20	57,311*	0,007*	0,001 <sup>ns</sup>	43,065*
Erro 3	60	18,766	0,004	0,001	8,268
CV 1 (%)		9,14	12,20	6,14	12,32
CV 2 (%)		7,53	17,81	2,46	16,47
CV 3 (%)		9,97	11,28	4,64	12,32
		GS	FL/TR	Tf	TR
Níveis de Irrigação	5	0,032*	2.299 <sup>ns</sup>	0,588 <sup>ns</sup>	2,243*
Bloco	3	0,011 <sup>ns</sup>	2.945 <sup>ns</sup>	1,789 <sup>ns</sup>	1,869 <sup>ns</sup>
Erro 1	15	0,002	788,0	0,170	0,190
Meses	4	0,196*	10.89 <sup>ns</sup>	22,05 <sup>ns</sup>	31,66*
Erro 2	12	0,001	2.493	0,133	0,683
Níveis x Meses	20	0,014*	2.167 <sup>ns</sup>	0,319 <sup>ns</sup>	1,607*
Erro 3	60	0,002	724,5	0,114	0,212
CV 1 (%)		30,07	14,57	1,37	17,77
CV 2 (%)		22,25	26,73	1,21	33,69
CV 3 (%)		25,18	14,54	1,12	18,76
		Variáveis de Crescimento e Produção			
		AP	NF	DC	IAF
Níveis de Irrigação	5	0,716*	2.053 <sup>ns</sup>	89,38 <sup>ns</sup>	2,923*
Bloco	3	0,130 <sup>ns</sup>	1.336 <sup>ns</sup>	0,835 <sup>ns</sup>	0,909 <sup>ns</sup>
Erro 1	15	0,039	527,5	10,04	0,038
Meses	5	25,71*	61.18 <sup>ns</sup>	1.534 <sup>ns</sup>	25,75*
Erro 2	15	0,028	1.474	4,516	0,029
Níveis x Meses	25	0,150*	2.139 <sup>ns</sup>	17,70 <sup>ns</sup>	2,152*
Erro 3	75	0,034	982,9	10,77	0,031
CV 1 (%)		15,06	30,00	18,15	14,88
CV 2 (%)		12,73	30,14	12,17	13,02
CV 3 (%)		14,04	30,95	18,80	13,44
		PR	PC	PF	BT
Níveis de Irrigação	5	2.471*	193,7 <sup>ns</sup>	51,69*	4.853*
Bloco	3	200,7 <sup>ns</sup>	30,68 <sup>ns</sup>	13,04 <sup>ns</sup>	435,8 <sup>ns</sup>
Erro 1	15	218,7	14,51	8,855	333,4
Meses	5	19.70*	5.267 <sup>ns</sup>	612,8*	55.65*

Continuação da Tabela 3...

Erro 2	15	186,0	14,96	4,011	233,5
Níveis x Meses	25	449,1*	31,53 <sup>ns</sup>	14,56*	697,8*
Erro 3	75	188,0	29,64	7,067	370,2
CV 1 (%)		22,35	27,26	22,30	27,24
CV 2 (%)		18,29	28,12	28,47	31,16
CV 3 (%)		18,57	29,58	27,79	29,23
		NRC	DRC	CRC	IC
Níveis de Irrigação	5	2,800 <sup>ns</sup>	60,941 <sup>ns</sup>	251,775*	0,026*
Bloco	3	2,500 <sup>ns</sup>	173,608 <sup>ns</sup>	91,597 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Erro	15	3,133	57,113	77,197	0,003
CV (%)		24,12	13,27	22,75	9,60

\* - Significativo a 5%; <sup>ns</sup> - Não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

ns - não significativo e \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste "t".

Figura 4. a) Eficiência quântica efetiva -  $\Phi\text{PSII}$ , b) taxa fotossintética líquida - FL, c) condutância estomática - gs, d) taxa transpiratória - TR e índice SPAD da mandioca sob níveis de irrigação, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Figure 4. a) Effective quantum efficiency -  $\Phi\text{PSII}$ , b) net photosynthetic rate - NP, c) stomatal conductance - gs, d) transpiration rate - TR and SPAD index of cassava under irrigation levels, from June 2019 to June 2020.

Os maiores valores de condutância estomática (gs) foram, respectivamente, 0,32 e 0,34  $\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , obtidos em áreas irrigadas com 200% da  $\text{ET}_c$ , aos 4 e 6 MAP. Nesses períodos, os menores valores foram de 0,11 e 0,14  $\mu\text{mol}$  de  $\text{H}_2\text{O}$   $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente, verificados sob condições de sequeiros. Esses valores obtidos em áreas de sequeiros são, respectivamente, 65 e 59% menores em comparação com os maiores valores obtidos aos 4 e 6 MAP (Figura 4c). WASONGA et al. (2020) estudaram diferentes níveis de irrigação (30, 60 e 100% da água disponível – AD) no cultivo da mandioca, e concluíram que sob a menor

disponibilidade de água (30% da AD) ocorre uma redução de 41% da condutância estomática da planta, e isso evidencia a sensibilidade da mandioca a escassez de água no solo em relação a esse mecanismo. Diante do exposto, é possível afirmar que a menor condutância estomática da mandioca sob condições de sequeiro devido ao déficit hídrico ocasionou uma menor taxa fotossintética da planta, uma vez que ocorreu maior dificuldade para aquisição de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico pela planta via estômatos, o que justifica os valores observados nessa pesquisa.

Durante o período de irrigação foi observado aumento da taxa transpiratória (TR) da mandioca em áreas irrigadas em comparação com áreas de sequeiro. Aos 4 MAP foi verificado o valor máximo de "TR" de 3,9  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com o nível de irrigação estimado de 170% da ET<sub>c</sub>, enquanto, áreas cultivadas sob regime de sequeiro obtiveram o menor valor de 1,03  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o que caracterizou uma redução de 73% na taxa transpiratória das plantas. Enquanto, aos 6 MAP, o maior valor de "TR" foi de 4,3  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , verificado em áreas sob o nível de 200% da ET<sub>c</sub>. Nesse período plantas em áreas de sequeiro apresentaram redução de 46% na taxa "TR", e obtiveram o valor de 2,3  $\mu\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . PIPATSITEE et al. (2018) avaliaram a taxa transpiratória da mandioca sob irrigação plena e condições sequeiro na Tailândia, e concluíram que sob o déficit hídrico, em cultivo de sequeiro, as plantas apresentam forte queda na taxa transpiratória, enquanto, sob condições de irrigação plena a taxa transpiratória se mantém em um elevado patamar, comportamento semelhante ao observado nessa pesquisa. Portanto, a redução da taxa transpiratória nas plantas de mandioca dessa pesquisa, em áreas de sequeiro, possivelmente, ocorreu devido a redução da condutância estomática nessas plantas em resposta ao déficit hídrico, isso é explicado pelo fato de as plantas minimizarem a perda de água para o ambiente.

O índice SPAD ajustou-se a um modelo quadrático aos 6 e 8 MAP. Nesses períodos do cultivo os índices SPAD máximos foram 57 e 53, com os níveis de irrigação de 135 e 98% da ET<sub>c</sub>, respectivamente. Enquanto, áreas sob regime de sequeiro apresentaram índices SPAD de 39 e 47, respectivamente, os menores valores obtidos para esses períodos. Portanto, sob sequeiro foi verificada uma redução de 31 e 11%, respectivamente, no índice SPAD das plantas aos 6 e 8 MAP (Figura 4e). De acordo com SILVA (2021) plantas sob irrigação plena tendem a apresentar maior índice SPAD, sendo esse um indicativo de maior teor de clorofila foliar, pigmento importante no processo fotossintéticos das plantas. Enquanto, áreas com déficit hídrico sofrem redução desse índice, o que indica uma menor capacidade fotossintética das plantas sob estas condições e, conseqüentemente, menor produção de fotoassimilados, isso gera redução de produtividade agrícola. Diante do exposto, conclui-se que a mandioca quando irrigada obtém maior teor de clorofila e, conseqüentemente, maior taxa fotossintética em relação a plantas cultivadas em sequeiro, o que foi confirmado nessa pesquisa.

Os níveis de irrigação interferiram na altura de plantas de mandioca entre o sexto e décimo mês após o plantio. Nesse período, plantas sob o maior nível de irrigação (200% da ET<sub>c</sub>) atingiram altura de 2,4 m no décimo mês. Enquanto, plantas cultivadas sob regime sequeiro no décimo mês tinham altura de 1,8 m, valor 25% menor em relação ao maior valor obtido (Figura 5a). Foi verificado também que a altura das plantas não diferiram entre os níveis de irrigação na colheita e, de maneira geral, a altura final média observada foi de 2,8 m. Isso ocorreu porque a maior intensidade de chuvas na parte final do ciclo da mandioca em 2020 (abril a junho) e gerou um rápido crescimento vegetativo de plantas cultivadas sob regime sequeiro, a ponto de se igualar às plantas cultivadas com irrigação. OLIVEIRA et al. (2020) em pesquisa desenvolvida em Petrolina, afirmam que o estresse hídrico gerado em áreas sob regime sequeiro reduz a altura de plantas de mandioca em até 33% e isso implica em menor produtividade de biomassa das plantas. Esse resultado corrobora com os dados obtidos nessa pesquisa, pois, em áreas cultivadas sob regime sequeiro, a altura das plantas durante o período seco da região foram bem menores do que nas áreas irrigadas, e isso implicou em menores produtividades.

O índice de área foliar (IAF) das plantas variou em função dos níveis de irrigação ao longo do ciclo da cultura. Plantas em regime de sequeiro, durante o período seco da região, tiveram o IAF estagnado, com valor médio entre quarto e sexto mês após o plantio de 1,1. Isso ocorreu devido o maior déficit hídrico verificado nessas áreas (508 mm), que gerou senescência foliar nas plantas de forma acentuada com o objetivo de reduzir a perda de água para o ambiente. Após o período seco da região e o aumento da intensidade de chuvas no primeiro semestre de 2020, observou-se rápido crescimento do IAF da mandioca, chegando na colheita com o valor de 6,1, uma tendência diferente em relação aos demais níveis de irrigação que, de maneira geral, apresentaram crescimento gradativo do IAF. Na colheita o IAF máximo foi de 6,5, sob nível de irrigação de 60% da ET<sub>c</sub> (Figura 5b). O IAF está diretamente ligado a capacidade fotossintética da planta, maiores valores desse índice indicam uma maior massa foliar e capacidade da planta de produzir e alocar fotoassimilados (AMMA et al. 2019). Portanto, áreas sob regime sequeiro



tendem a obter menor produtividade, devido a sua menor capacidade fotossintética em função da senescência foliar. Enquanto, áreas irrigadas produzem maior IAF e taxa fotossintética, conseqüentemente, maiores produtividades.

Quanto a produtividade de raízes comerciais, entre o oitavo e décimo segundo mês (colheita) após o plantio foi observada produtividade distinta entre os níveis de irrigação. A maior produtividade de raízes aos oito meses após o plantio foi de 39,0 t ha<sup>-1</sup>. Na colheita a maior produtividade de raízes foi de 97,0 t ha<sup>-1</sup>, sendo obtido com nível de irrigação de 129% da ET<sub>c</sub>. Portanto, houve um incremento de 148% na produtividade máxima de raízes entre o oitavo e o décimo segundo mês de cultivo (em quatro meses). CONCEIÇÃO (1979) afirma que após o sexto mês de cultivo a planta passa a acumular o máximo de carboidratos no sistema radicular, e déficits hídricos nesse período geram considerável redução na produtividade final de raízes de mandioca. Essa afirmação foi constatada no presente estudo, pois, a menor produtividade de raízes na colheita foi observada em áreas de sequeiro, 31,0 t ha<sup>-1</sup>, valor 68% menor em relação ao máximo obtido (Figura 5c). AMMA et al. (2019) estudaram, na Índia, níveis de irrigação no cultivo da mandioca e obtiveram a maior produtividade de raízes de 44,0 t ha<sup>-1</sup>, sob o maior nível de irrigação estudado, 100% da ET<sub>c</sub>. Diante do exposto, observa-se que a mandioca responde a irrigação e gera maior produtividade de raízes comerciais em relação a áreas de sequeiro.

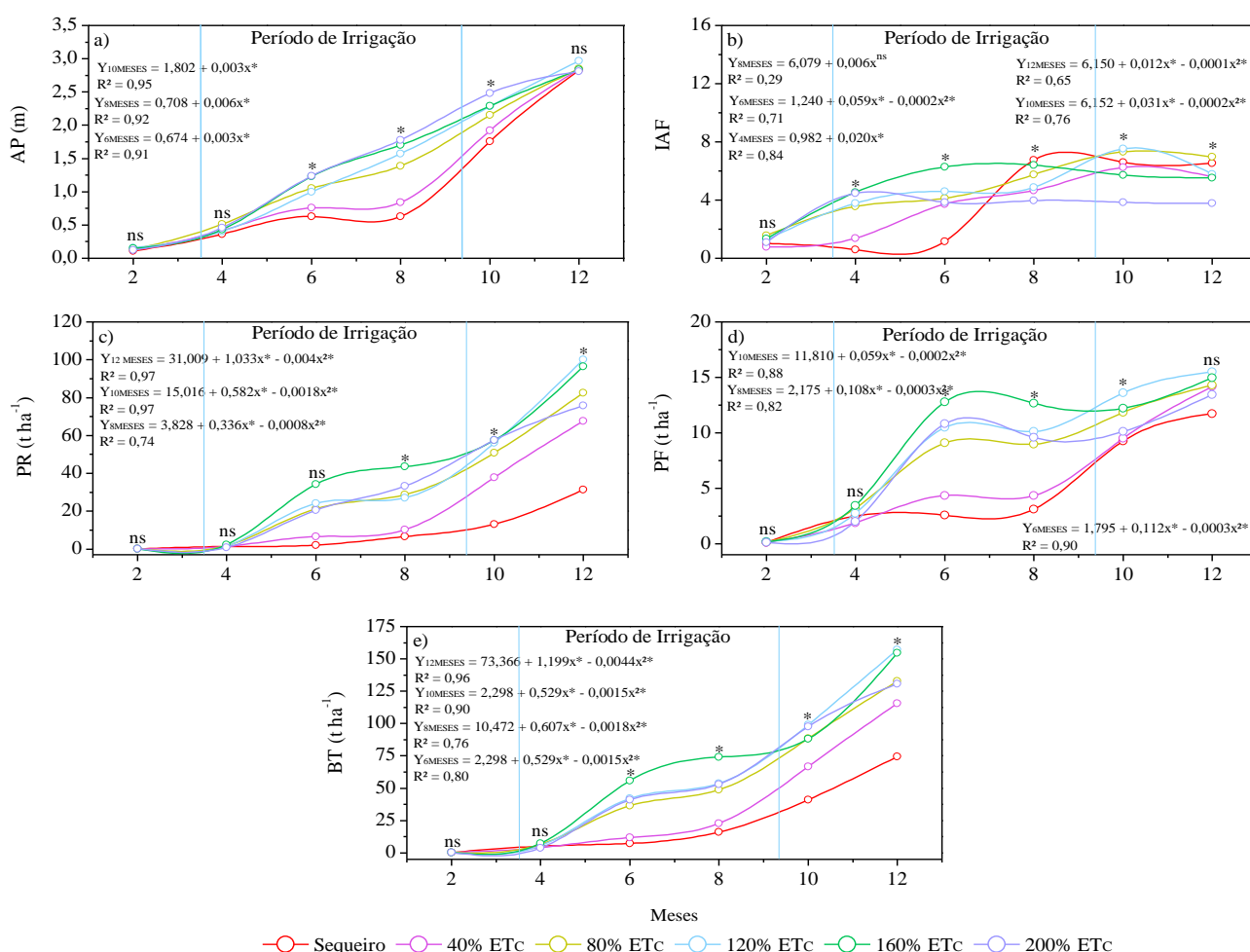


Figura 5. a) Altura de plantas - AP, b) índice de área foliar - IAF, c) produtividade de raízes - PR, d) produtividade de folhas - PF) e biomassa total - BT da mandioca sob níveis de irrigação, no período de junho de 2019 a junho de 2020.

Figure 5. a) Plant height - HP, b) leaf area index - LAI, c) root productivity - RP, d) leaf productivity - LP and total biomass - TB of cassava under irrigation levels, from June 2019 to June 2020.

Quanto a produtividade de folhas, do sexto ao décimo mês após o plantio houve diferença entre os níveis de irrigação. Plantas em áreas de sequeiro tiveram as menores produtividades de folhas nesse período que variou de 2,1 a 11,8 t ha<sup>-1</sup>. Enquanto, a produtividade máxima, nesse mesmo período, variou de 12,2 a 16,1 t ha<sup>-1</sup>, esse valor maior obtido no décimo mês foi observado em áreas com o nível de irrigação

de 147% da  $ET_c$  (Figura 5d). Na colheita não houve diferença entre os níveis de irrigação para a produtividade de folhas e a produtividade média observada entre os níveis de irrigação foi de  $14,0 \text{ t ha}^{-1}$ . Isso provavelmente ocorreu devido a maior ocorrência de chuvas a partir do segundo decêndio de fevereiro de 2020, quando choveu 67 mm e fez com que plantas em áreas de sequeiro aumentassem sua massa foliar de forma acentuada e atingissem o mesmo patamar das outras áreas com irrigação. Os dados obtidos nessa pesquisa são ratificados por PIPATSITEE et al. (2018), esses pesquisadores afirmam que a produtividade de folhas da mandioca é reduzida sob condições de déficit hídrico, isso gera impacto negativo na taxa fotossintética da planta e, conseqüentemente, compromete a produtividade.

Devido à variação da produtividade de raízes e folhas em função dos níveis de irrigação, a produtividade de biomassa total também variou do sexto mês após o plantio até a colheita. No sexto mês de cultivo a produtividade de biomassa total máxima foi de  $49,0 \text{ t ha}^{-1}$  e na colheita foi de  $155,0 \text{ t ha}^{-1}$ , incremento de 216% nesse período, esse valor máximo na colheita foi obtido com nível de irrigação de 136% da  $ET_c$ .

O comprimento de raízes máximo foi 49 cm, observado com nível de irrigação de 130% da  $ET_c$ . O menor comprimento de raízes foi constatado em áreas de sequeiro (26 cm), redução de 47% em relação ao valor máximo (Figura 6a). ALVES (2002) afirma que o comprimento de raízes comerciais de mandioca tipo indústria variam de 15 a 100 cm, o que corrobora os resultados obtidos nessa pesquisa. Os resultados indicam que a mandioca sob déficit e excesso hídrico sofre redução no comprimento radicular, conseqüentemente, isso reduz a produtividade de raízes.

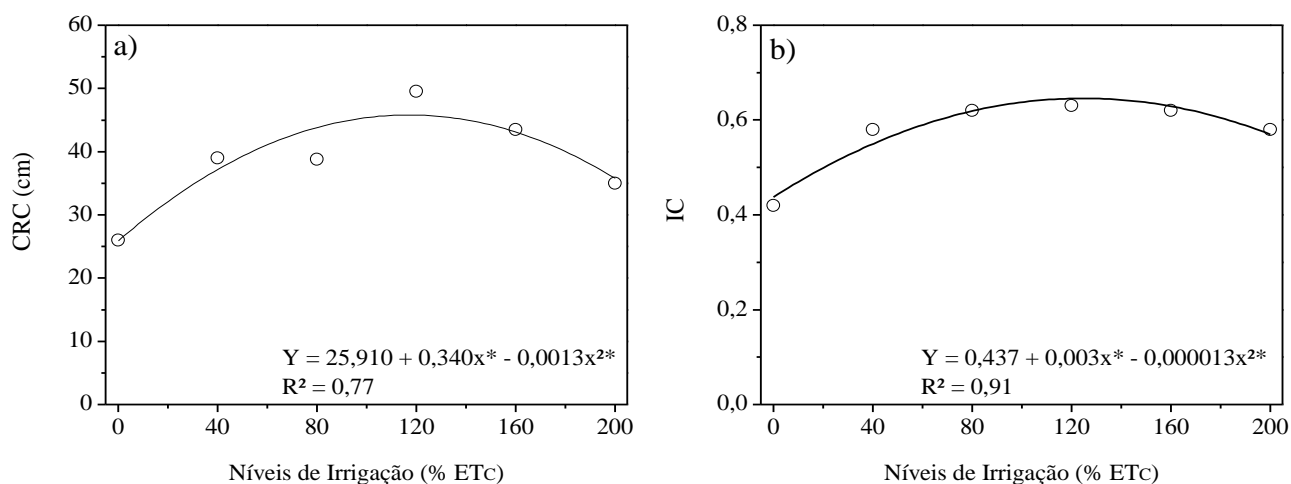


Figura 6. a) Comprimento de raízes comerciais - CRC e índice de colheita - IC da mandioca sob níveis de irrigação, no período de junho de 2019 a junho de 2020, na região de Rio Largo, AL.

Figure 6. a) Commercial root length - CRL and b) harvest index - HI of cassava under irrigation levels, from June 2019 to June 2020, in Rio Largo, AL region.

Quanto ao índice de colheita, o valor máximo foi 0,61, observado em áreas com irrigação de 115% da  $ET_c$ , incremento de 38% em relação ao menor valor obtido em plantas cultivadas sob regime de sequeiro que foi 0,44 (Figura 6b). SOUZA et al. (2009) verificaram índice de colheita de 0,37 a 0,43 para plantas cultivadas em regime de sequeiro e irrigação plena, isso corrobora os dados dessa pesquisa e confirma que áreas irrigadas proporcionam maior índice de colheita da mandioca porque produzem maior biomassa de raízes.

## CONCLUSÃO

Diante do exposto, observa-se que a mandioca irrigada consegue crescimento, produtividade e respostas fisiológicas superiores a plantas cultivadas sob regime de sequeiro. Portanto, verifica-se que compreender o crescimento, produtividade e respostas fisiológicas da mandioca à irrigação é importante para aumentar a produtividade dessa cultura no Nordeste do Brasil e a eficiência da água em cultivos na região. Também salienta-se que apesar da importância do aumento de produtividade de raízes, é fundamental desenvolver pesquisas que analisem o rendimento potencial de matéria seca da mandioca na região, pois esse é um dos principais componentes da produção industrial de fécula e farinha de mandioca.

A evapotranspiração anual da cultura da mandioca, na Zona da Mata de Alagoas, é cerca de 1.030 mm e, nas áreas de sequeiro, a chuva efetiva é apenas 522 mm, o que gera déficit hídrico de 508 mm. Isso

torna evidente a necessidade de irrigação nos cultivos agrícolas da região. De maneira geral, crescimento, a produtividade e as respostas fisiológicas da mandioca são superiores em áreas irrigadas quando comparadas com cultivos de sequeiro. A irrigação possibilita a mandioca a atingir as produtividades de raízes e biomassa total de 97 e 155 t ha<sup>-1</sup>, quando irrigada com 129 e 136% da ET<sub>c</sub>, respectivamente. Enquanto sob regime sequeiro obtém-se 31 e 73 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao financiamento parcial pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil - Código Financeiro 001.

## REFERÊNCIAS

- ANDE OT et al. 2008. Effects of land quality, management and cropping systems on cassava production in southern western Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 7: 2368- 2374.
- ALLEN RG et al. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Roma: FAO. 328p. (Irrigation and drainage paper 56).
- ALVES AAC. 2002. Cassava botany and physiology. In: HILLOCKS RJ et al. (Eds.) *Cassava: Biology, Production and Utilization*. Wallingford: Cabi. p.67-89.
- AMMA SS et al. 2019. Water Productivity of Micro-Irrigated Cassava (*Manihot Esculenta* Crantz). In: GOYAL MR et al. (Ed.) *Management Strategies for Water Use Efficiency and Micro Irrigated Crops*. Apple Academic Press. p.63-70.
- BARROS AHC et al. 2012. Climatologia do estado de Alagoas. Recife: Embrapa Solos. 32p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 211).
- CIAT. 1989. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cassava Program Annual Report for 1987-1989. Cali.
- CONCEIÇÃO AJ. 1979. A mandioca. Cruz das Almas: UFBA/EMBRAPA/BNB/BRASCAN NORDESTE. 382p.
- EL-SHARKAWY MA. 2007. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19: 257-286.
- FAO. 2021. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 20 jun. 2021.
- OLIVEIRA PRB et al. 2020. Desempenho agrônomico de cultivares de mandioca de mesa em ambiente do cerrado. *Colloquium Agrariae* 3: 37-47.
- PEREIRA AR et al. 2002. Agrometeorologia (Fundamentos e aplicações práticas). Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária. 478p.
- PIPATSITEE A et al. 2018. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. *Plant Production Science* 21: 398-406.
- RID. 2010. Royal Irrigation Department. Crop coefficient. Disponível em: [http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc\\_th.pdf](http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/Kc/kc_th.pdf). Acesso em: 04 abr. 2021.
- SILVA VPR et al. 2011. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 15: 131-138.
- SILVA RB. 2021. Crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação. Tese (Doutorado em Agronomia). Rio Largo: UFAL. 87p.
- SOUZA JL et al. 2005. Global solar radiation measurements in Maceió, Brasil. *Renewable Energy* 30: 1203-1220.
- SOUZA LS et al. 2009. Recomendação de calagem e adubação para o cultivo da mandioca. Cruz das Almas: EMBRAPA. 6p. (Boletim Técnico 133).
- TIRONI LF et al. 2015. Desempenho de cultivares de mandioca em ambiente subtropical. *Bragantia* 74: 58-66.
- TROCCOLI A et al. 2014. *Weather Matters for Energy*. New York: Springer.
- VERÍSSIMO V et al. 2010. Pigmentos e eficiência fotossintética de quatro variedades de mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais* 6: 222-231.
- WASONGA DO et al. 2020. Growth response of cassava to deficit irrigation and potassium fertigation during the early growth phase. *Agronomy* 10: 321.
- ZHU Y et al. 2020. Physiological and biochemical responses of four cassava cultivars to drought stress. *Scientific reports* 10: 1-12.