

Eficiência de uso da água de mamoneiras nas condições agroecológicas do semiárido**Water use efficiency of castor bean variety in agroecological semiarid conditions**

DOI:10.34117/bjdv6n9-698

Recebimento dos originais:08/08/2020

Aceitação para publicação:30/09/2020

Ian Carlos Bispo de Carvalho

Engenheiro Agrônomo
IFBaiano/Campus Guanambi
Distrito de Ceraíma, Guanambi-BA, 46.430-000, CP 09
E-mail: ian.mlh.gbi@gmail.com

Alexsandro dos Santos Brito

Doutor em Solos e Nutrição de Plantas
Professor Efetivo do IFAiano/Campus Guanambi
Distrito de Ceraíma, Guanambi-BA, 46.430-000, CP 09
E-mail: alexsandro.brito@ifbaiano.edu.br

Darley de Araújo Nascimento

Engenheiro Agrônomo
IFBaiano/Campus Guanambi,
Distrito de Ceraíma, Guanambi-BA, 46.430-000, CP 09
E-mail: araujodarley3@gmail.com

Leandro Santos Peixoto

Doutor em Genética e Melhoramento Plantas
Professor Efetivo do IFAiano/Campus Guanambi
Distrito de Ceraíma, Guanambi-BA, 46.430-000, CP 09
E-mail: leandro.peixoto@ifbaiano.edu.br

Helder Henrique Neves Faria

Mestre em Produção Vegetal no Semiárido
IFBaiano/Campus Guanambi
Distrito de Ceraíma, Guanambi-BA, 46.430-000, CP 09
E-mail: helder.faria@outlook.com

RESUMO

A eficiência no uso da água pela cultura da mamona é um parâmetro essencial para a avaliação das cultivares no semiárido e precisa ser feito, preferencialmente, observando os componentes do balanço de água no solo influentes no sistema. Assim, devem-se computar as entradas e saídas de água no volume de controle do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse sentido, o objetivo da proposta é avaliar o comportamento de oito cultivares de mamoneira (IAC 2028, IAC 226, IAC Guarani,

BRS Nordestina, BRS Paraguaçu, BRS Energia, EDDBA MPA 11, EBDA MPB 01) quanto aos componentes do balanço de água no solo e calcular a eficiência no uso da água (EUA), num delineamento em blocos aleatorizados, com três repetições e 4 plantas por parcela experimental. A EUA foi calculada com base na razão entre produtividade e evapotranspiração real. Foram instalados tensiômetros a 0,5 e 0,7 m de profundidade para a determinação do gradiente de potencial total da água no solo, utilizado no cálculo das densidades de fluxo (drenagem interna ou ascensão capilar). O tensiômetro instalado a 0,6 m foi utilizado para a medida do conteúdo de água, a qual é usada para a estimativa da condutividade hidráulica, a qual foi determinada pelo método do perfil instantâneo. A precipitação pluvial foi medida numa estação meteorológica automática, instalada na área experimental, observando-se que a precipitação pluvial afeta diretamente a variação de armazenagem, em que os períodos de maior precipitação os balanços são positivos e os de menor precipitação tem valores do balanço negativos. As variações observadas nos valores de ascensão capilar e drenagem interna são pequenas, porém, revelam as diferenças de demanda entre as cultivares; as maiores produtividade e EUA foram determinadas para a cultivar BRS Paraguaçu, não se diferindo das demais cultivares, exceto da cultivar BRS Energia.

Palavras-chave: evapotranspiração, drenagem, condutividade.

ABSTRACT

The water use efficiency by the castor culture is an essential parameter for the evaluation of cultivars in the semiarid region and needs to be done, preferably, observing the components of the water balance in the soil that influence the system. Thus, water inputs and outputs must be computed in the control volume of the soil-plant-atmosphere system. In this sense, the objective of the proposal is to evaluate the behavior of eight castor bean cultivars (IAC 2028, IAC 226, IAC Guarani, BRS Nordestina, BRS Paraguaçu, BRS Energia, EDDBA MPA 11, EBDA MPB 01) regarding the components of the water balance in the soil and calculate the water use efficiency (USA), in a randomized block design, with three replications and 4 plants per experimental plot. EUA was calculated based on the ratio between productivity and real evapotranspiration. Tensiometers were installed at 0.5 and 0.7 m depth to determine the gradient of total water potential in the soil, used to calculate flow densities (internal drainage or capillary rise). The tensiometer installed at 0.6 m was used to measure the water content, which is used to estimate the hydraulic conductivity, which was determined by the instantaneous profile method. The rainfall was measured in an automatic meteorological station, installed in the experimental area, observing that the rainfall affects directly the storage variation, in which the periods of greater precipitation the balances are positive and those of less precipitation have negative balance values. The variations observed in the values of capillary rise and internal drainage are small, however, they reveal the differences in demand between cultivars; the highest productivity and USA were determined for the cultivar BRS Paraguaçu, not differing from the other cultivars, except for the cultivar BRS Energia.

Keywords: evapotranspiration, drainage, conductivity.

1 INTRODUÇÃO

O semiárido Nordestino é caracterizado por baixos índices pluviométricos e irregulares, o que dificulta a produção de várias espécies vegetais de interesse agrônomo, e compromete a renda dos agricultores e a sua permanência no campo. Deste modo, a introdução de culturas adaptadas a

essas condições edafoclimáticas permite a obtenção de sistemas de produção agrícola economicamente viáveis, fomentando o desenvolvimento social e a qualidade de vida dos produtores.

Com as expectativas sendo construídas sobre a expansão da mistura obrigatória de biodiesel, os órgãos governamentais nacionais e locais foram desafiados pela busca de estratégias que poderiam aumentar a produção de biodiesel através da expansão de culturas com maior teor de óleo do que a soja e melhorando a participação de agricultores menos favorecidos nas regiões semiáridas (LEITE et al., 2014). Deste modo, a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) culminou em um acréscimo no volume de pesquisas referentes à utilização do biodiesel (ALVES et al., 2020).

A busca de oleaginosas adaptadas às condições agroecológicas de cada região que possam ser uma alternativa à soja torna a mamona uma opção para produção de biodiesel, especialmente, para os pequenos agricultores do Nordeste. Isto se deve à sua robustez e capacidade de resistir a períodos de escassez hídrica, uma vez que se trata de uma espécie xerófila e heliófila, ou seja, são plantas adaptadas a ambientes secos e com alta incidência solar (CAVALCANTI et al., 2005).

Apesar de suas características favoráveis, como qualquer planta de interesse agrônômico, a mamoneira necessita de um manejo adequado a fim de atingir todo o seu potencial produtivo. Portanto, a compreensão da distribuição do seu sistema radicular em um determinado volume de solo, bem como as relações existentes entre esta distribuição e a dinâmica da água no solo se torna um fator preponderante para o manejo em qualquer sistema agrícola. Este fator somado às características edafoclimáticas do Semiárido brasileiro requerem tecnologias específicas de utilização e conservação dos recursos hídricos.

Para tanto, o volume de controle (LIBARDI, 2012) deve englobar um valor mínimo de 95% do sistema radicular ativo da cultura, de modo que o limite superior é a superfície do solo (BRITO et al., 2009; GHIBERTO et al., 2011; LIBARDI et al., 2015; MOTA et al., 2018). Para a mamoneira, tem-se que 80 % do sistema radicular estão a 0,45 m de profundidade, enquanto que o total de raiz está a uma profundidade de 0,75 m (FEITOSA et al., 2010), o que revela a necessidade de instalação de sensores de solo para monitoramento do conteúdo de água a uma profundidade próximo do valor total de concentração do sistema radicular.

É fundamental o conhecimento da disponibilidade de água no solo para as plantas, sendo esta quantificada pela demanda de água da planta e da atmosfera e pela intensidade de fluxo de água do solo para a raiz (SOUZA et al., 2011). Uma forma pela qual esse consumo (evapotranspiração

real) pode ser determinado é pelo método do balanço de água no solo (CRUZ et al., 2005a, BRITO et al., 2009, GIBERTO et al., 2011; LIBARDI et al., 2015; MOTA et al., 2018).

O método do balanço de água no solo em um volume de controle tem sido utilizado por diversos autores (BRITO et al., 2009; SOUZA et al., 2013; LIBARDI et al., 2015) e é definido como a contabilização das entradas e saídas de água num dado volume de controle de solo, durante um certo período de tempo (LIBARDI, 2012) submetido às peculiaridades dos fenômenos meteorológicos, dos atributos do solo e das características genéticas das espécies ou mesmo da cultivar vegetal (BRITO et al., 2009). Estes componentes do balanço são precipitação, irrigação, ascensão capilar e deflúvio superficial e subsuperficial de entrada; e de saída: drenagem interna, evapotranspiração real e deflúvio superficial e subsuperficial de saída (LIBARDI et al., 2015).

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma propriedade importante a ser considerada nos estudos de regionalização agrícola ou na avaliação da produtividade das culturas (CRUZ et al., 2005b). Contudo, a eficiência do uso da água (EUA) é um parâmetro que não se limita apenas à redução da quantidade de água fornecida à cultura, uma vez que pequenas quantidades de água podem significar perdas de produtividade (SIMÃO; ANTUNES, 2015). Ao contrário, é a relação entre o uso da água e a produção que determina se uma cultivar é mais ou menos eficiente que outra, tendo, portanto, grande relevância, por se tratar de um recurso natural cada dia mais requerido.

Existem diferentes maneiras de determinar a EUA a depender dos parâmetros de interesse em estudo. A eficiência do uso da água instantânea, que é a razão entre a quantidade de carbono unitário fixado pela fotossíntese por unidade de água transpirada (DONATO et al., 2015); razão entre produção e quantidade de água aplicada (MANTOVANI et al., 2013); a razão entre produtividade e evapotranspiração real da cultura (BARROS JÚNIOR et al., 2008; BRITO et al., 2009); e a razão entre fitomassa e água consumida pela cultura (NASCIMENTO et al., 2011).

Apesar da utilização de diferentes métodos para obtenção da eficiência de uso da água, têm-se percebido resultados que revelam o comportamento da mamoneira no que tange à demanda hídrica. Assim, a resposta da mamoneira à suplementação de água demonstra a elevada capacidade de conversão de água absorvida em matéria seca, quando comparadas com mamoneiras que sofreram estresse hídrico (BARROS JÚNIOR et al., 2008). Deste modo, embora a mamoneira seja tolerante à seca, ela apresenta uma perda de matéria seca quando submetida à falta de água. É importante destacar que trabalhos envolvendo a eficiência de uso da água em mamoneira em condições de campo, utilizando o método do balanço de água no solo não são encontrados na literatura.

Deste modo, objetivou-se quantificar todos os componentes do balanço de água no solo a fim de avaliar a eficiência no uso da água por oito cultivares de mamoneiras comerciais sob sistema de irrigação suplementar, localizada por gotejamento, sob as condições agroclimáticas do semiárido baiano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi implantado na área experimental do IFBAIANO, Campus Guanambi (coordenadas geográficas: 14°13'30" S; 42°46'53" W; altitude de 525 m; precipitação pluvial média de 663,69 mm e temperatura média de 26°C). O solo presente na área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, no qual foram avaliados os comportamentos de oito cultivares (IAC 2028, IAC 226, IAC Guarani, BRS Nordestina, BRS Paraguaçu, BRS Energia, EBDA MPA 11 e EBDA MPB 01) de mamona oriundas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), quanto aos componentes do balanço de água no solo e a eficiência no uso da água (EUA).

2.2 IMPLANTAÇÃO DA CULTURA

O preparo do solo constituiu-se por uma subsolagem com três hastes de 0,6 m na linha de plantio, gradagem na camada de 0-0,2 m e abertura de sulcos. Em seguida foi distribuído e incorporado cerca de 2,5 kg de esterco bovino no local correspondente a cada planta, onde foram semeadas, manualmente, 3 sementes na profundidade de 0,05 m. A adubação de cobertura foi realizada aos 15 dias após o plantio, com aplicação de 20 g/planta de cloreto de potássio e 23 g/planta de superfosfato simples, de acordo com a recomendação para a cultura. Aos 28 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por cova, após seleção visual daquelas mais vigorosas.

2.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DO SOLO

As curvas de retenção da água no solo foram construídas para as camadas de solo 0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,5; 0,5-0,6 m, utilizando amostras de solo com os mesmos parâmetros técnicos e preparadas da mesma forma como as usadas para a densidade do solo. Após esses procedimentos, as amostras foram dispostas nos funis de Haines, os quais foram utilizados para as tensões de 0,5; 1; 3; 5; 7 e 10 kPa, sendo que após a estabilização da amostra nas respectivas procedeu-se a pesagem em balança de precisão (2 dígitos).

Para os pontos experimentais da porção mais seca da curva de retenção foram determinados utilizando o psicrômetro WP4-C, conforme Klein et al. (2010). Contudo, foram feitas adaptações para as análises feitas nesse trabalho. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas sob malha de 4,0 mm, colocadas em cápsulas e pesadas em balança analítica de 4 dígitos. Adicionou-se volumes de água crescentes e fechou-se as cápsulas com uma tampa de plástico, que permaneceu por 24h para que ocorresse a perfeita redistribuição da água em toda a amostra. Posteriormente, foram colocadas na câmara do WP4-C a fim de conhecer o valor do potencial correspondente à umidade da amostra no momento da leitura. Após as leituras, as cápsulas foram levadas à estufa a 105 °C por 24 horas para obtenção da massa do solo seco e cálculo da umidade gravimétrica.

Com o conjunto de dados de potenciais mátricos e conteúdos de água correspondentes, elaborou-se as curvas de retenção da água no solo, as quais foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando o software Table Curve 2D – Jandel Scientific – versão trial, conforme equação 1:

$$\theta(\phi_m) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \times \phi_m)^n]^m}, \quad (1)$$

na qual θ_r é a conteúdo de água residual, θ_s é a conteúdo de água de saturação, ϕ_m é o potencial mátrico e α , m e n são parâmetros de ajuste.

As curvas de retenção foram utilizadas para transformação do potencial mátrico, medido diariamente por meio de tensiômetros, em conteúdo de água no solo. Uma vez que o objetivo é determinar eficiência no uso da água no volume de controle de solo explorado pelo sistema radicular da cultura da mamoneira (0-0,6 m), foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0,2; 0,4; 0,5; 0,6 e 0,7 m, nas parcelas experimentais. Com isso, foi possível calcular a armazenagem e a variação de armazenagem de água no volume de controle e os potenciais totais da água no solo entre 0,5 e 0,7 m, necessários para as estimativas de densidades de fluxos no limite inferior do volume de controle de solo. A determinação da condutividade hidráulica do solo a 0,60 m de profundidade foi realizada pelo método do perfil instantâneo (BRITO et al., 2009; MOTA et al., 2018). Para tanto, uma coluna de solo de 3,0 m de diâmetro foi escavada na área de bordadura e sua superfície lateral foi revestida por uma chapa galvanizada (2 mm de espessura) até a profundidade de 0,40 m, com o objetivo de se criar apenas fluxo vertical, sobretudo na porção central da coluna, onde se instalou uma bateria de tensiômetros, nas profundidades de 0,1 a 1,0 m, a cada 0,1 m, totalizando 10 tensiômetros. A dimensão da chapa de zinco foi de 9,42 m de comprimento por 0,6 m de largura,

aproximadamente. Dessa forma, 0,20 m da largura da chapa foram deixadas acima da superfície do solo, com objetivo de se criar uma lâmina de água de 0,15 a 0,20 m.

A coluna de solo foi saturada até alcançar o maior valor de conteúdo de água no solo, indicado pela leitura feita nos tensiômetros e correspondentes ao potencial mátrico zero (solo saturado). Após ter-se realizada uma saturação adequada após a lâmina de água sobre a coluna de solo ter se infiltrado, foi colocada uma lona impermeável sobre o solo, com a finalidade de evitar a entrada (precipitação pluvial) e a saída (evaporação) de água, uma vez que se desejou estudar o processo de redistribuição da água no solo. A partir desse momento, foram realizadas leituras dos tensiômetros a cada hora, no primeiro dia, após o início do processo de redistribuição da água no perfil do solo e do segundo dia em diante, foram realizadas leituras com menor frequência.

Com base nesse procedimento, calculou-se a função $K(\theta)$ pelo referido método, utilizando a equação (2):

$$K(\theta) = \frac{-\int_0^z \frac{z d\theta}{dt} dz}{\frac{d\theta_t}{dz}} \quad (2)$$

2.4 BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

Para determinação da drenagem interna (DI) e ascensão capilar (AC) foram instaladas baterias de três tensiômetros em cada parcela experimental nas profundidades de 0,5; 0,6 e 0,7 m, sendo que os tensiômetros instalados a 0,5 e 0,7 m de profundidade foram utilizados para a determinação do potencial mátrico e posterior cálculo do potencial total da água no solo (Potencial mátrico + Potencial gravitacional) e do gradiente de potencial total da água. Já o tensiômetro instalado na profundidade de 0,6 m foi utilizado para estimativa do conteúdo de água, por meio da curva de retenção de água no solo. A quantificação da drenagem interna ou ascensão capilar foi feita diariamente e será integrada para períodos de interesses fenológicos, a partir do modelo de Darcy-Buckingham:

$$q_z = -K(\theta) \left[\frac{\phi_{t(0,5)} - \phi_{t(0,7)}}{0,2} \right], \quad (3)$$

na qual, ϕ_t o potencial total da água no solo nas profundidades de 0,5 e 0,7 m, obtido pela soma dos potenciais mátricos calculado via tensiometria e do potencial gravitacional; a constante 0,2 é a distância vertical (m) entre o centro das cápsulas dos tensiômetros e $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo calculada pela equação (2), a partir do conteúdo de água estimado pela curva de

retenção ajustada pelo modelo proposto por Genuchten (1980), usando as leituras de potencial mátrico do tensiômetro instalado a 0,60 m de profundidade.

Para determinação do conteúdo de água no solo e posterior armazenagem e variação da armazenagem de água (Δh) foram instalados outros dois tensiômetros nas profundidades de 0,2 e 0,4 m, os quais se somaram ao tensiômetro instalado a 0,6 m de profundidade (totalizando 120 tensiômetros). Dessa forma, a armazenagem de água no perfil do solo foi calculada pelo método do trapézio, conforme a equação (4):

$$h_z = \int_0^{0,6} \theta(z) dz = [1,5(z_t) + z_2 + 0,5(z_3)] * 0,2 \quad (4)$$

Através da armazenagem obteve-se a variação de armazenagem que é a diferença na armazenagem de água no solo final menos a inicial, equação (5):

$$\Delta h = h_f - h_i \quad (5)$$

O balanço de água foi computado a cada 25 dias. A precipitação pluvial (P) foi medida por meio de uma estação total instalada na área experimental do Campus e a evapotranspiração real da cultura (ET_R) foi à incógnita da equação (6) do balanço de água no solo:

$$ET_R = P + I + AC - DI - \Delta h \quad (6)$$

2.5 PRODUTIVIDADE

Foi realizada a coleta dos racemos após o fim das leituras dos tensiômetros, retirando-se aqueles que estivessem secos ou maduros. Todos os racemos foram expostos ao sol para haver uma padronização no teor de umidade, a fim de reduzir qualquer diferença que pudesse haver entre as variedades no momento da pesagem por conta da umidade residual das bagas. Posteriormente, separaram-se as bagas dos racemos para pesagem e quantificação da produtividade.

2.6 EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA

A eficiência de uso da água é a razão entre produtividade (massa seca de bagas) e a evapotranspiração real da cultura, conforme equação (7):

$$EUA = \frac{P}{ET_R}, \quad (7)$$

onde, P é a produção (kg ha^{-1}), ET_R é a evapotranspiração real, ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) obtida pela equação 6 e EUA é a eficiência do uso da água (kg m^{-3}).

- **Análise estatística**

O delineamento experimental foi em blocos aleatorizados, com oito tratamentos (variedades de mamona: BRS Paraguaçu; EBDA MPA 11; EBDA MPB 01; IAC 2028; IAC 226; BRS Nordeste; IAC Guarani e BRS Energia) e três repetições e quatro plantas por parcela experimental.

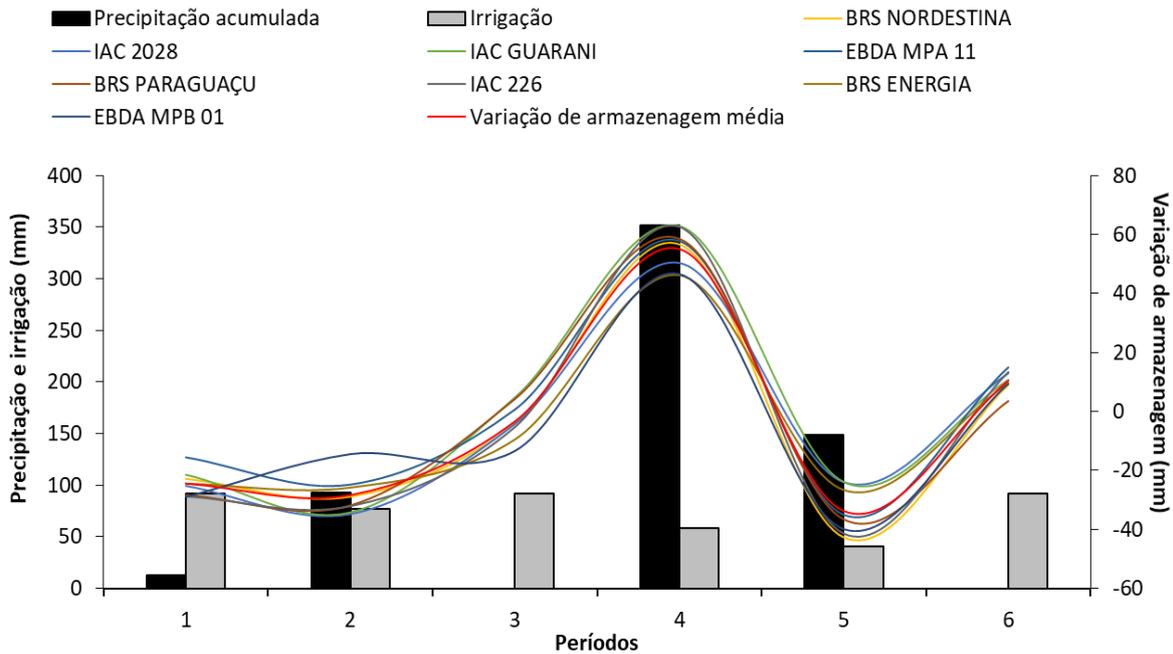
A análise dos dados foi feita em duas etapas: análise exploratória e análise de variância. Para tanto, foi utilizado o Programa Estatístico R (CRAN-R, 2018) e os pacotes, Agricolae (MENDIBURU, 2020) Mass (RIPLEY et al., 2018), Outliers (KOMSTA, 2011) e Laercio (SILVA, 2010). As variáveis em estudo que obtiveram significância (teste F) foram submetidas ao teste de média (Tukey e Scott-Knott a 5% de probabilidade). As médias que não apresentaram distribuição normal foram submetidas à análise não-paramétrica de Kruskal-Wallis a 5%. Foi utilizada a transformação logarítmica dos dados de drenagem interna a fim de se obter distribuição normal.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

A variação de armazenagem reflete o balanço de água no volume de controle de solo (Figura 1). A partir do fim do quarto período de avaliação (mês de janeiro), as chuvas passaram a ter maiores frequência e volume, porém, distribuídas irregularmente, o que pode ter afetado a uniformidade no que tange à recarga hídrica do solo. Neste momento, são perceptíveis os maiores picos na variação de armazenagem. Para tanto, em geral, os períodos de maior volume de chuva são também aqueles com balanços positivos e apresentam os maiores valores, assim como, os períodos em que os balanços são negativos não ocorrem precipitações (SOUZA et al., 2013) e usa-se apenas a irrigação como fonte suplementar de água.

Além disso, nestes períodos as plantas demandaram grande quantidade de água em virtude do início do período reprodutivo. Portanto, ocorreram diferenças entre as cultivares avaliadas, visto que a resposta ao estresse hídrico é muito diferente entre plantas de crescimento determinado e indeterminado (SEVERINO; AULD, 2013).

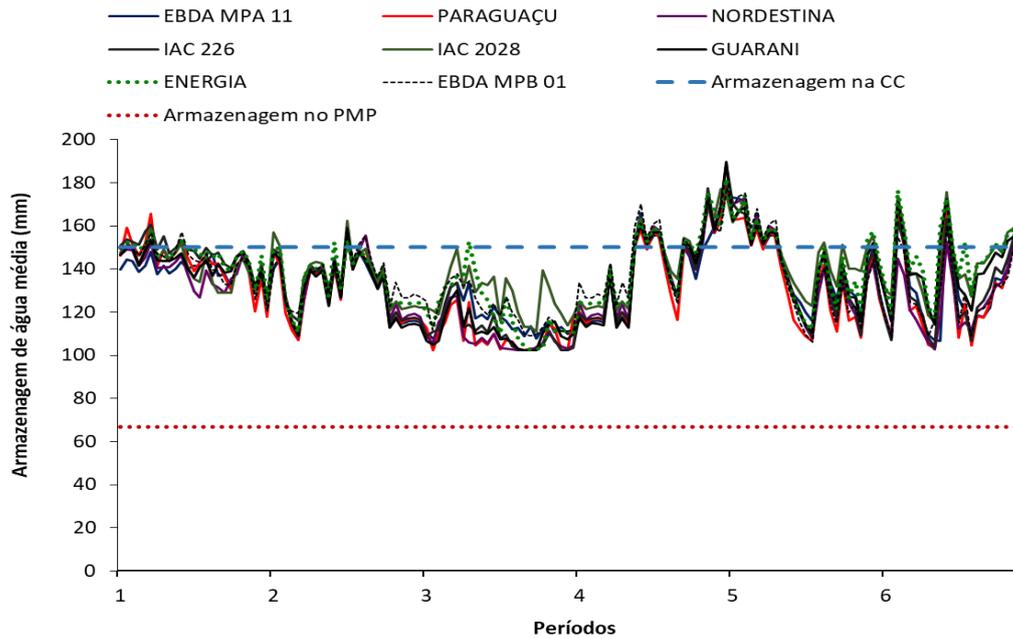
Figura 1. Precipitação pluvial e lâmina de irrigação acumuladas em função dos períodos de avaliação e as variações de armazenagem de água das cultivares, durante todo o ciclo da cultura da mamoneira.



A armazenagem de água no solo cultivado com as mamoneiras apresentaram picos em quase todos os períodos avaliados, ultrapassando a armazenagem de água na capacidade de campo (Figura 2). Nota-se, que os maiores valores de armazenagem média de água no solo para todas as cultivares se encontram no 5º período, coincidindo com as maiores precipitações, o que pode comprometer a disponibilidade de oxigênio no sistema poroso do solo, não atendendo a necessidade da cultura. De maneira geral, os períodos com elevadas pluviosidades culminam em maior armazenagem de água no solo (SILVA et al., 2014).

Além disso, percebe-se que os valores médios de armazenagem não foram inferiores aos encontrados no ponto de murcha permanente, o que revela que as cultivares não sofreram com o déficit hídrico.

Figura 2. Armazenagem de água média na camada de 0-0,6 m do solo cultivado com oito cultivares e as armazenagens de água no solo na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) em fundo do tempo (ciclo produtivo).



Vale salientar que houve interação significativa entre as cultivares e os períodos no que diz respeito à armazenagem de água no solo (Tabela 1). Assim, nota-se que o comportamento dos tratamentos nos períodos não apresentou diferença significativa, com exceção do período 6, em que as cultivares BRS Energia, IAC Guarani e IAC 2028 apresentaram um valor de armazenagem superior às demais, o que pode ser atribuído às diferenças no seu ciclo, uma vez que neste momento pode haver redução da área foliar e, por consequência, da evapotranspiração. A partir destes resultados, verifica-se que plantas de mamona não aumentam a área foliar após o início do estágio reprodutivo, ao contrário, tendem a reduzi-la, devido à mudança na relação fonte-dreno das folhas para os racemos (SEVERINO et al., 2010).

Tabela 1. Armazenagens de água da camada de 0-0,6 m das oito variedades de mamoneira. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% (Transformação dos dados: $\log(DI+0.05)$).

CULTIVARES	PERÍODOS					
	1	2	3	4	5	6
EBDA MPA 11	1,39E+13 Aa	9,30E+12 Ab	4,69E+12 Ac	1,35E+13 Aa	1,53E+13 Aa	9,07E+12 Bb
EBDA MPB 01	1,70E+13 Aa	1,25E+13 Ab	6,81E+12 Ac	1,89E+13 Aa	1,34E+13 Ab	8,88E+12 Bc
BRS ENERGIA	1,83E+13 Aa	1,12E+13 Ab	5,53E+12 Ac	1,67E+13 Aa	1,59E+13 Aa	1,78E+13 Aa
IAC GUARANI	1,59E+13 Aa	9,18E+12 Ab	3,49E+12 Ac	1,45E+13 Aa	1,43E+13 Aa	1,45E+13 Aa
IAC 2028	1,47E+13 Aa	1,12E+13 Ab	8,71E+12 Ab	1,71E+13 Aa	1,87E+13 Aa	1,62E+13 Aa
IAC 226	1,92E+13 Aa	9,94E+12 Ac	3,35E+12 Ad	1,51E+13 Ab	1,35E+13 Ab	8,90E+12 Bc
BRS NORDESTINA	1,38E+13 Aa	1,02E+13 Ab	2,88E+12 Ad	1,54E+13 Aa	1,30E+13 Aa	6,93E+12 Bc
BRS PARAGUAÇU	1,61E+13 Aa	9,28E+12 Ac	3,14E+12 Ad	1,38E+13 Aa	1,11E+13 Ab	7,80E+12 Bc

A,B – Letras maiúsculas nas colunas; a,b – Letras minúsculas nas linhas.

Analisando a armazenagem dentro das cultivares, verifica-se que os períodos 1, 4 e 5 apresentaram maiores armazenagens para todas as cultivares. No período 1, as plantas se encontravam no início do seu crescimento, enquanto os períodos 4 e 5 são caracterizados pelo aumento das entradas de água no volume de controle em função das chuvas. Portanto, a armazenagem indica o comportamento da planta quanto à absorção de água, uma vez que revela a dinâmica da água no volume de solo explorado. No entanto, a evapotranspiração real apresenta-se como a grandeza que melhor explica a demanda hídrica da cultura, pois permite a quantificação real do volume de água consumido pelo agrossistema.

A drenagem interna ocorre devido ao conteúdo de água excedente no solo que a cultura não absorve (Tabela 2). Houve interação significativa entre as cultivares e os períodos. Desta forma, quando é analisado o comportamento das cultivares dentro de cada um dos períodos, percebe-se que os tratamentos tiveram diferença estatística apenas dentro dos períodos 4 e 6. Essas discrepâncias entre variedades no período 4 deve-se ao fato de haver grande entrada de água no volume de controle, somados à diferença na demanda hídrica entre as variedades; já as variações dentro do período 6 se deve às diferenças existentes entre as cultivares no final do ciclo.

Tabela 2. Valores de drenagem interna (mm dia^{-1}) das diferentes variedades analisadas pelo teste de Scott-Knott a 5% (Transformação dos dados: $\log(\text{DI}+0.05)$).

CULTIVARES	PERÍODOS											
	1		2		3		4		5		6	
EBDA MPA 11	-0,870	Ab	-1,275	Ab	-2,311	Ab	3,327	Aa	3,192	Aa	-1,250	Cb
EBDA MPB 01	0,277	Ab	0,082	Ab	-0,775	Ab	2,214	Ba	2,505	Aa	-1,789	Cb
BRS ENERGIA	0,125	Ab	-0,363	Ab	-0,961	Ab	1,737	Ba	1,693	Aa	2,424	Aa
IAC GUARANI	0,559	Ab	-0,471	Ab	-0,471	Ab	2,155	Ba	1,606	Aa	3,031	Aa
IAC 2028	-0,217	Ac	0,091	Ac	-1,011	Ac	4,521	Aa	1,939	Ab	2,208	Ab
IAC 226	0,425	Aa	-0,563	Ab	-2,081	Ab	2,412	Ba	1,327	Aa	0,944	Ba
BRS NORDESTINA	-0,483	Ab	-0,566	Ab	-1,838	Ab	1,606	Ba	0,584	Aa	-1,689	Cb
BRS PARAGUAÇU	0,153	Ab	-0,908	Ab	-0,908	Ab	2,453	Ba	1,047	Aa	0,472	Bb

A,B – Letras maiúsculas nas colunas; a,b – Letras minúsculas nas linhas.

Portanto, as cultivares que apresentaram um processo de senescência precocemente, em função do ciclo (BRS Energia, IAC Guarani e IAC 2028), tenderam a reduzir a absorção de água, o que culminou em maior drenagem interna, haja vista o maior conteúdo de água disponível no perfil do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por SOUZA et al. (2013), em que os valores de ascensão capilar e drenagem interna foram muito pequenos. Apesar destes números serem ínfimos, estes resultados corroboram com o fato de que existe uma variação em decorrência das diferenças na absorção de água pelas cultivares.

Ao analisar a drenagem dentro dos períodos (Tabela 2), percebe-se que os períodos 4 e 5 foram os a que apresentaram maior drenagem, diferindo-se estatisticamente dos demais. Isto ocorre em decorrência dos maiores volumes de chuva estarem concentrados nesses períodos, o que revela que a precipitação exerce grande influência nas maiores medidas de drenagem (BRITO et al., 2009; SILVA et al., 2014). Este fato foi determinante nos resultados do balanço de água no solo em áreas de pastagens no semiárido pernambucano, na qual percebeu-se que o fluxo de água no limite inferior do solo no ano mais seco ocorreu principalmente no sentido ascendente (ascensão capilar), sendo o inverso (drenagem interna) no ano mais chuvoso (SOUZA et al., 2015).

As medidas de ascensão capilar, assim como os de drenagem interna, foram pequenas. Todavia, estas pequenas variações representam as diferenças de demanda entre as cultivares. Os maiores valores de ascensão são da cultivar BRS Nordestina, que diferiu significativamente apenas da cultivar IAC Guarani (Figura 3).

Com relação aos períodos, o período 5 apresentou maior ascensão capilar, uma vez que após as chuvas, a água percolada para profundidades inferiores àquela correspondente ao volume de controle, tende a retornar para as camadas superiores graças à diferença de potencial total do solo (Figura 4).

Figura 3. Ascensão capilar (mm dia^{-1}) das cultivares analisadas pelo teste de Kruskal-Wallis a 5%.

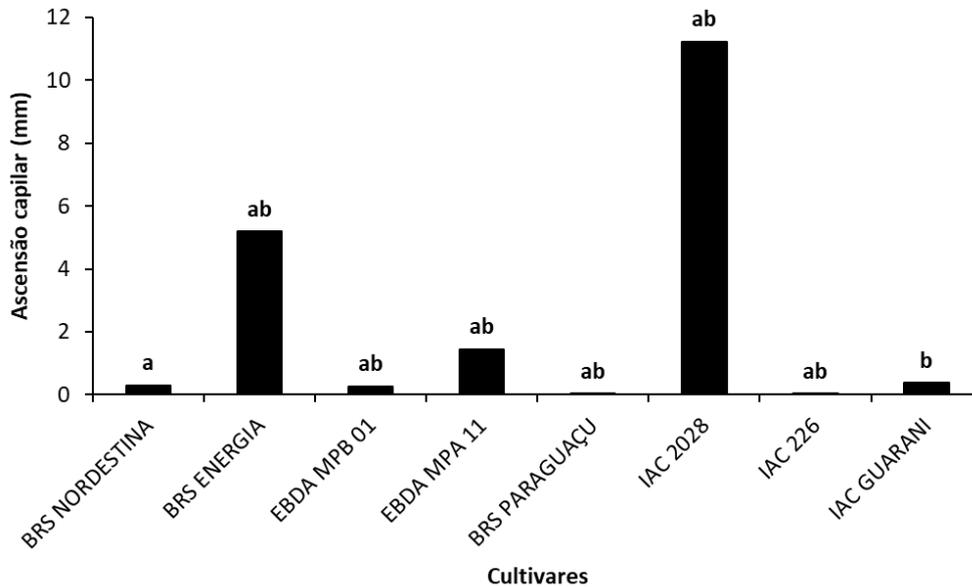
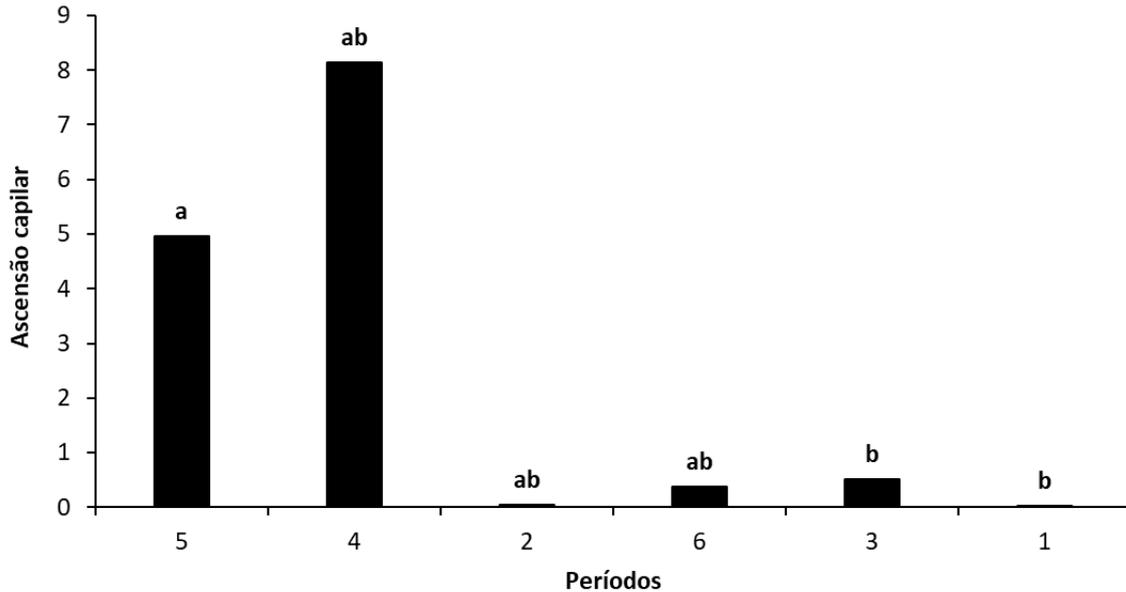


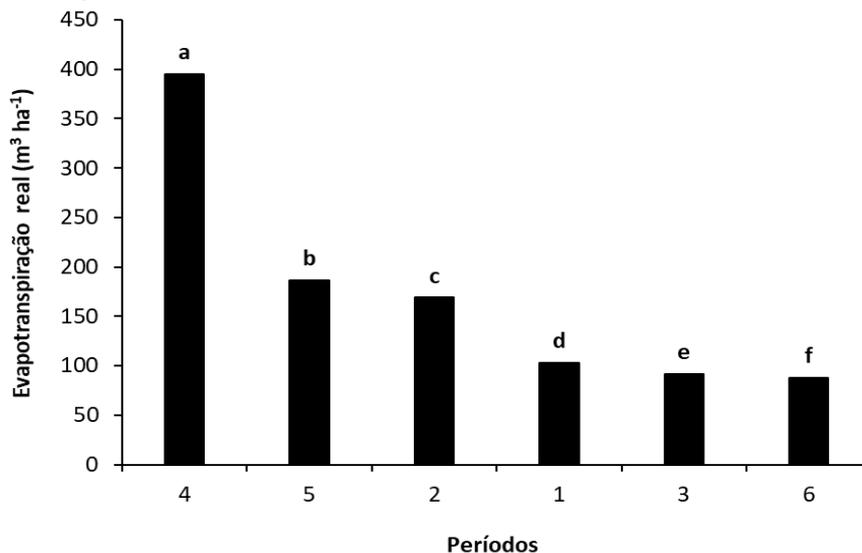
Figura 4. Ascensão capilar (mm dia^{-1}) dos diferentes períodos analisado pelo teste de Kruskal-Wallis a 5%.



A evapotranspiração real das cultivares não diferiu entre si, o que revela uma demanda hídrica semelhante entre as variedades estudadas nas condições edafoclimáticas do semiárido. Entretanto, as diferenças entre as produtividades das cultivares indicam uma discrepância na capacidade de aproveitamento da água absorvida.

A variação da evapotranspiração real entre os períodos revela as diferenças na demanda hídrica pelas plantas nos diferentes períodos (Figura 5), sendo que o período 4 foi o que apresentou maior evapotranspiração real. Isto se deve ao volume de chuvas maiores neste período e ao período de florescimento e frutificação, em que a absorção de água tende a ser maior.

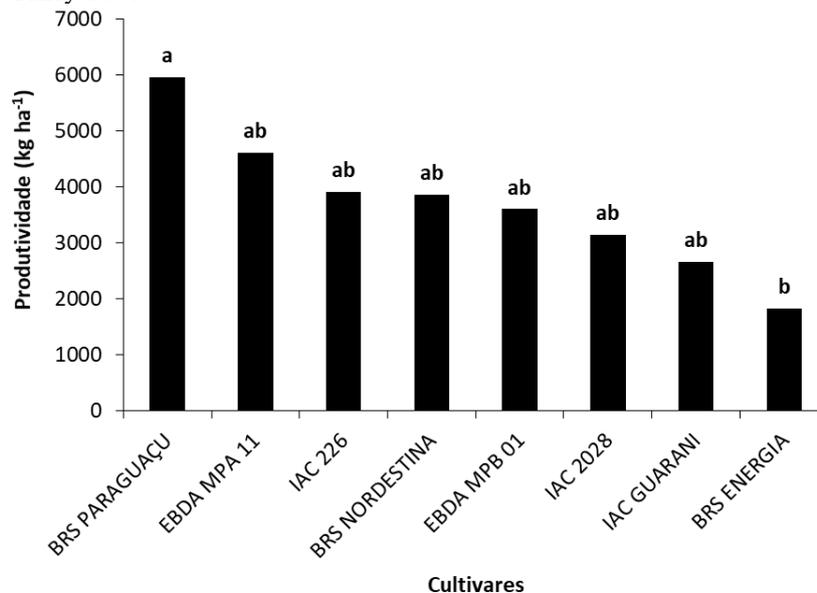
Figura 5. Evapotranspiração real ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) média das cultivares estudadas por período. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5%.



As cultivares BRS Paraguaçu, BRS Nordestina, IAC 226, IAC 2028, IAC Guarani, EBDA MPA 11 e EBDA MPB 01 não diferiram quanto à produtividade de bagas, apresentando maior produtividade que a média nacional (490 kg ha^{-1}) (IBGE, 2018), considerada uma excelente produtividade. Já a cultivar BRS Energia foi a que apresentou a menor produtividade, diferindo estatisticamente da BRS Paraguaçu (Figura 6), o que pode ser justificado pela padronização da densidade de plantas, fazendo com que essa cultivar tivesse menor densidade de plantas que a recomendada.

Essa baixa produtividade média obtida no Brasil deve-se, em parte, ao uso de sementes de baixa qualidade, multiplicadas pelos próprios agricultores, o que culmina em alto nível de heterogeneidade nos cultivos e, conseqüentemente, queda na produção (FREIRE et al., 2007), além do baixo nível tecnológico aportado com preparo do solo e nutrição de plantas.

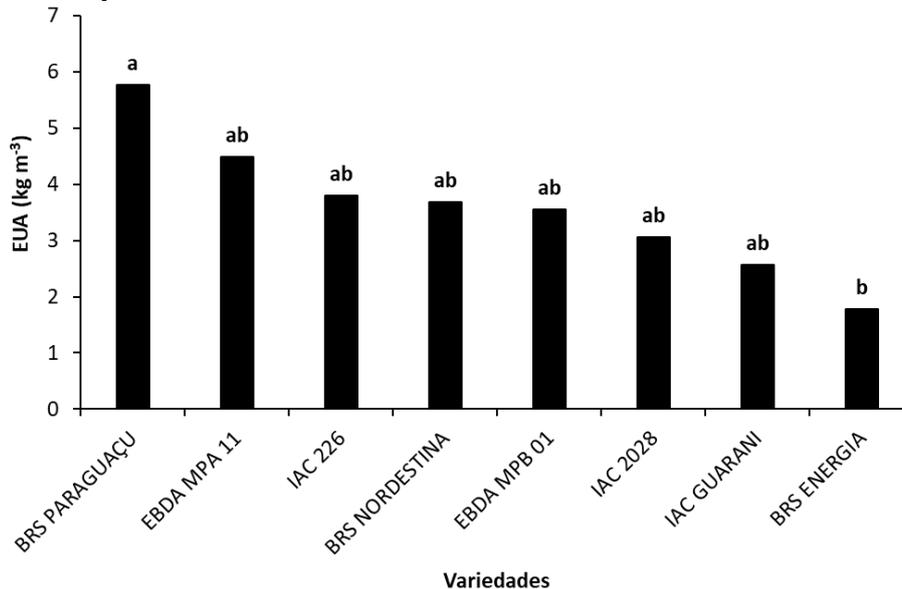
Figura 6. Produtividade de bagas (kg ha^{-1}) das variedades estudadas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



A relação entre baixa produtividade e alta demanda hídrica afeta diretamente a eficiência do uso da água, o que pode ser observado nos resultados de EUA, em que a cultivar BRS Energia teve o pior valor (Figura 7). Esta relação entre água absorvida e produtividade foi constatada no estudo de diferentes cultivares de mamona mantidas durante todo o ciclo a 100% da água disponível, em que as plantas foram mais eficientes na conversão de água em produtividade, com aumento linear crescente de produtividade à medida em que a disponibilidade hídrica no solo foi elevada (SILVA et al., 2013). A cultivar BRS Paraguaçu foi o que apresentou a melhor EUA, não diferindo

estatisticamente das cultivares EBDA MPA 11, BRS Nordestina, IAC 226, IAC 2028, IAC Guarani e EBDA MPA 01.

Figura 7. Eficiência do uso da água (kg m^{-3}) das variedades estudadas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



Levando-se em consideração que a produção de matéria seca é um parâmetro que demonstra a eficiência no uso da água, observou-se que a cultivar BRS Paraguaçu apresenta uma resposta positiva quanto ao aumento das doses de nitrogênio aplicado no solo, com aumento na fitomassa, no consumo de água e na sua eficiência de uso, indicando elevada eficiência na transformação da água consumida, em matéria seca (CHAVES et al., 2011). Este resultado revela que a cultivar BRS Paraguaçu tem uma alta conversão de água em produção, não apenas de bagas e grãos, pelo contrário, a planta, como um todo, responde favoravelmente ao aporte suplementar de água durante o seu ciclo.

Além disso, foi constatado que as cultivares de mamona BRS Nordestina e BRS Paraguaçu têm comportamento similar no que se refere ao consumo e à eficiência de uso de água (BARROS JÚNIOR et al., 2008). Isto também foi observado neste experimento, em que as cultivares BRS Paraguaçu e BRS Nordestina foram semelhantes quanto à capacidade de conversão de água em produção.

Estes resultados reforçam o fato de que a relação entre o uso da água e a produção deve ser levada em consideração quando se trata da eficiência do uso da água, uma vez que esta não se limita apenas à redução da quantidade de água fornecida à cultura, tendo em vista que pequenas quantidades de água podem significar perdas de produtividade (SIMÃO; ANTUNES, 2015), mas

integrar todo o aporte tecnológico na produção agrícola que viabilize o aumento da EUA, compatibilizando com a geração de empregos e renda no setor agrícola.

4 CONCLUSÃO

A precipitação afeta diretamente a variação de armazenagem, em que nos períodos de maior precipitação os balanços são positivos e os de menor precipitação tem valores do balanço negativos.

As variações observadas nos valores de ascensão capilar e drenagem interna são pequenas, porém, revelam as diferenças de demanda entre as cultivares.

A cultivar BRS Paraguaçu apresenta a maior produtividade, não se diferindo das demais cultivares, exceto da variedade BRS Energia.

As cultivares apresentam uma relação proporcional entre demanda hídrica e produtividade, na qual as cultivares que apresentam uma maior evapotranspiração real possuem alta capacidade de resposta em termos de produção. Assim, a cultivar BRS Paraguaçu é a mais eficiente para a região semiárida, haja vista sua maior eficiência no uso da água, quando comparada com a cultivar BRS Energia, que não teve um comportamento inferior ao das demais cultivares avaliadas quanto à EUA.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. P.; GOMES, L. O.; PEREIRA, J. FLORES, I. S.; ANTONISIO FILHO, N. R. The study of the evolution of biodiesel research in Brazil. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 16360-16367, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-490>
- BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H. O. C.; CAVALCANTI, M. L. F.; LACERDA, R. D. Consumo de água e eficiência do uso para duas variedades de mamona submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.350-55, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400003>
- BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GHIBERTO, P. J. Water Balance Components in Soils Cropped to Sugarcane, with and without Nitrogen Fertilization. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.295-303, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200007>
- CAVALCANTI, M.L.F.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; BARROS JÚNIOR, G.; SOARES, F.A.L.; SIQUEIRA, E. C. Índices ecofisiológicos da mamoneira sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.66-70, 2005.
- CHAVES, L. H. G.; GHEY, H. R.; RIBEIRO, S. Consumo de água e eficiência do uso para variedade de mamona BRS Paraguaçu submetida à fertilização nitrogenada. *Engenharia Ambiental*, v.8, p.126-133, 2011.
- CRAN-R. The R Project for Statistical Computing Version R-3.5.0. 2018. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.
- CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. C.; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.1-10, 2005a.
- CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; CARVALHO, L. A. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num Latossolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.659-68, 2005b.
- DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; ARANTES, A. M.; RODRIGUES, M. G. V. Eficiência do uso da água em bananeira. *Informe agropecuário*, v.36, n.288, p.46-59, 2015.
- FREIRE, E. C.; LIMA, E. F.; ANDRADE, F. P.; MILANI, M.; NÓBREGA, M. B. M. Melhoramento genético. In AZEVEDO, D. M. P.; BELTRÃO, N. E. M. (Ed.). *O agronegócio da mamona no Brasil*. Brasília: Embrapa Algodão; Embrapa Informações Tecnológicas, 2007. P. 169-194.
- FEITOSA, D. R. C.; SANTOS, P. B.; ROMEIRO, G. E. S.; FREITAS, C. A. S; SILVA, A. R. A; BEZERRA, F. M. Distribuição espacial do sistema radicular da mamoneira variedade BRS Paraguaçu sob diferentes níveis de irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.4, p.234-241, 2010.
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. *Agricultural Water Management*, v.102, p.1-7, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.09.010>

HILLEL, D. A.; KRENTOS, V. D.; STILIANOV, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Science*, v.114, p.395-400, 1972. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2018. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 de abril de 2018

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. 2010. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. *Revista Ciência Rural*, v.40, p.1550-1556, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000110>

KOMSTA, L. Outliers: Tests for outliers Version 0.14. 2015. Disponível em: <http://www.komsta.net/>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.3-7, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400010001x>

LIBARDI, P. L. 2012. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP.

LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; BRITO, A. S.; FILHO, J. A. Water balance components in covered and uncovered soil growing irrigated muskmelon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, p.1322-1334, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140713>

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H. S.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. *Horticultura Brasileira*, v.31, p.602-606, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362013000400015>

MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; BRITO, A. S.; LOBATO, M. G. R.; ALENCAR, T. L.; FREIRE, A. G.; LIMA JÚNIOR, J. C. Climatic and soil water balances for the melon crop. *Journal of Agricultural Science*, v.10, p.116-129, 2018. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n2p116>

NASCIMENTO, J. V. R.; AZEVEDO, C. A. V.; SOUZA, J. C.; DANTAS NETO J. Eficiência do uso de água do gergelim em função da água disponível no solo. *Revista Verde*, v.6, p.230-233, 2011.

RIPLEY, B.; VENABLES, B.; BATES, D. M.; HORNIK, K.; GEBHARDT, A.; FIRTH, D. Support Functions and Datasets for Venables and Ripley's MASS. 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/MASS/index.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

MENDIBURU, F. Statistical Procedures for Agricultural Research. 2020. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>>. Acesso em: 17 de julho de 2020.

SEVERINO, L. S.; FREIRE, M. A. O.; LUCENA, A. M. A.; VALE, L. S. Sequential defoliations influencing the development and yield components of castor plants (*Ricinus communis* L.). *Industrial Crops and Products*, v.32, p.400-404, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.06.007>

SEVERINO, L. S.; AULD, D. L. Seed yield and yield components of castor influenced by irrigation. *Industrial Crops and Products*, v.49, p.52-60, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.012>

SILVA, J. E. B.; GUERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; BARROS JÚNIOR, G.; FORMIGA, L. A. Produção e qualidade do fruto da mamona em semeio e rebrote sob estresse hídrico fenológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental*, v.17, n.11, p.1167-1172, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100006>

SILVA, L. J. Laercio: Duncan test, Tukey test and Scott-Knott test Version 1.0-1. 2010. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/laercio/index.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, p.147-157, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>

SIMÃO, F. R.; ANTUNES, A. J. Irrigação: manejo eficiente da água na agricultura irrigada em cenários de escassez hídrica. *Informe Agropecuário*, v.36, p.20-30, 2015.

SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S. 2015. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.449-455, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.1, p.3-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>

SOUZA, A. P., PEREIRA, J. B. A., SILVA, L. D. B., GUERRA, J. G. M., CARVALHO, D. F. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.33, p.15-22, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5527>

WATSON, K. K. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. *Water Resources Research*, v.2, p.709-715, 1966. <https://doi.org/10.1029/WR002i004p00709>

van GENUCHTEN, M. T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-898, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

LEITE, J. G. D. B.; SILVA, J. V.; VAN ITTERSUM, M. K. Integrated assessment of biodiesel policies aimed at family farms in Brazil. *Agricultural Systems*, v.131, p.64-76, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.004>