



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**WESLEY COSTA SILVA**

**SORGO SACARINO: INTERAÇÕES ENTRE DÉFICIT HÍDRICO E ÉPOCA DE COLHEITA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA, QUALIDADE DE CALDO E VIGOR DE SEMENTES**

**FORTALEZA**

**2020**

WESLEY COSTA SILVA

SORGO SACARINO: INTERAÇÕES ENTRE DÉFICIT HÍDRICO E ÉPOCA DE  
COLHEITA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA, QUALIDADE DE CALDO E VIGOR DE  
SEMENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Orientador: Prof. D.Sc. Alexandre Bosco de Oliveira.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S584s Silva, Wesley Costa.

Sorgo sacarino: interações entre déficit hídrico e época de colheita na produção de biomassa, qualidade de caldo e vigor de sementes / Wesley Costa Silva. – 2020.  
98 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Alexandre Bosco de Oliveira.

1. Irrigação intermitente. 2. Partição de biomassa. 3. Produção de etanol. 4. Produção de etanol. 5. Sorghum bicolor (L.) Moench. I. Título.

CDD 630

---

WESLLEY COSTA SILVA

SORGO SACARINO: INTERAÇÕES ENTRE DÉFICIT HÍDRICO E ÉPOCA DE COLHEITA NA PRODUÇÃO DE BIOMASSA, QUALIDADE DE CALDO E VIGOR DE SEMENTES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.

Aprovada em: 17/12/2020.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. D.Sc. Alexandre Bosco de Oliveira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. D.Sc. Alexsandro Oliveira da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. D.Sc. Felipe Thomaz da Camara  
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

---

Prof. D.Sc. Ciro de Miranda Pinto  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. D.Sc. Bruno França da Trindade Lessa  
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

À minha família: Maria Socorro, Antônio  
Carlos e Cinthya Costa.

À minha namorada: Joana Gomes de Moura.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela vida e por sempre estar iluminando meu caminho e abençoando minhas escolhas.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de fazer parte do programa de pós-graduação em agronomia/fitotecnia.

Ao Instituto Federal do Ceará – Campus Umirim e Limoeiro do Norte por todo apoio e que permitirem dar continuidade aos meus estudos.

Ao professor e orientador D.Sc. Alexandre Bosco de Oliveira, pelos ensinamentos, apoio e compreensão, que me permitiu idealizar este trabalho.

Aos membros da banca examinadora, o Prof. D.Sc. Alessandro Oliveira da Silva, Prof. D.Sc. Felipe Thomaz da Câmara, Prof. D.Sc. Ciro de Miranda Pinto e ao Prof<sup>o</sup> D.Sc. Bruno França da Trindade Lessa pelas valiosas contribuições para melhoria deste trabalho.

Aos professores Lamartine Soares Cardoso de Oliveira, Rosilene Oliveira de Mesquita e José Wagner da Silva Melo pelo exemplo de profissionalismo e por todo conhecimento repassado que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos: Leonardo Lenin Marques de Brito e Kleyton Chagas de Sousa pela amizade, apoio e inestimável ajuda na realização deste trabalho.

Aos meus filhos de coração Samuel Sales Silva, Débora da Silva Alves, Sandy Emanuelle Castro Braga Xavier e Gabrielle Pastichi Mesquita de Medeiros por toda amizade e ajuda que sempre deram no desenvolvimento deste trabalho e que sempre tiverem ao meu lado.

Aos meus colegas de trabalho José Lúcio Nascimento, Luenna Queiroz, Wanderson Lima, Jaiana Santos, Ana Késsia, Francisca Paulino, Marta Silvanere, Enilce Lima, Thais Loiola, Leidisan Paulino, Rozana Lemos, Sara Guimarães, Wanderson Andrade, Lorena de Menezes e Maria Adellane, pelas risadas, conversas e amizade, que fizeram toda diferença nessa fase.

À Prof<sup>a</sup> Ana Raquel e as alunas do IFCE – Campus Limoeiro do Norte, Cinthia Barbosa Nogueira e Maria Susana Silva Batista pelo apoio e contribuição que deram no desenvolvimento deste trabalho.

E a todos que, direta e indiretamente, contribuíram para conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do intervalo entre irrigações durante o estágio reprodutivo e a época de colheita sobre: a) a produção e partição de biomassa fresca e sorgo de plantas de sorgo sacarino; b) os parâmetros tecnológicos da cultura visando a produção de etanol e concentração foliar de macronutrientes; c) e a maturação fisiológica e vigor de sementes produzidas sob tais condições. Para isso foi conduzido dois experimentos em casa de vegetação, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará campus Umirim e campus Limoeiro do Norte, com a cultivar de sorgo sacarino BRS 511. Os fatores consistiram na realização de três manejos da irrigação durante a fase reprodutiva (irrigação plena; irrigação a cada 4 dias e 8 dias) e a colheita realizada em quatro diferentes épocas (86, 94, 102 e 110 dias após a semeadura - DAS) visando avaliar a produção de biomassa e duas épocas (102 e 110 DAS) para avaliação da maturação de sementes. A reposição de água a cada 8 dias provocou acentuada redução na área foliar, sendo verificada redução de 36,3% no 1º experimento e de até 100% no 2º experimento. A produção de matéria fresca total apresentou elevados valores médios sob irrigação contínua (1º experimento = 223,8 g planta<sup>-1</sup> e 2º experimento = 277,6 g planta<sup>-1</sup>). A maioria das variáveis apresentou redução dos seus valores com a realização tardia da colheita, exceto para a partição de matéria fresca e seca de caule no 1º experimento, que obtiveram aumento de 10,3 e 37,13%, respectivamente. A realização da colheita aos 102 após a semeadura apresentou um maior volume (82,52 ml planta<sup>-1</sup>) e eficiência na extração de caldo (40,26%). A aplicação da irrigação a cada 8 dias provocou respectivamente redução de até 26,4 e 29,2% no teor foliar de nitrogênio e fósforo. A produção de sementes por panícula e o peso de mil sementes foi significativamente influenciado pelo aumento do intervalo entre irrigações no 2º experimento, sendo observado respectivamente redução de 50,4 e 46,3%. Também houve redução de até 43,4% na primeira contagem de germinação e de 16,3% na germinação. Desta forma a reposição de água a cada 4 ou 8 dias associada a colheita tardia não favorece uma boa produção de biomassa e de sólidos solúveis, prejudicando o rendimento estimado de etanol. Visando a produção de sementes de elevada qualidade a cultura do sorgo sacarino deve ser irrigada diariamente durante o estágio reprodutivo.

**Palavras-chave:** Irrigação intermitente. Partição de biomassa. Produção de etanol. Sólidos solúveis totais. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the interval between irrigations during the reproductive stage and the harvest season on: a) the production and partition of fresh biomass and sorghum from sweet sorghum plants; b) the technological parameters of the culture aiming at ethanol production and leaf concentration of macronutrients; c) and the physiological maturation and vigor of seeds produced under such conditions. For this, or this, two experiments were conducted in a greenhouse, in Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará campus Umirim and campus Limoeiro do Norte, with the cultivar of sweet sorghum BRS 511. The factors consisted of three irrigation managements during the reproductive phase (full irrigation; irrigation every 4 days and 8 days) and the harvest was carried out at four different seasons (86, 94, 102 and 110 days after sowing - DAS) aiming to evaluate the biomass production and two seasons (102 and 110 DAS) to evaluate seed maturation. The replacement of water every 8 days caused a sharp reduction in the leaf area, with a reduction of 36.3% in the 1st experiment and up to 100% in the 2nd experiment. The production of total fresh matter showed high average values under continuous irrigation (1st experiment = 223.8 g plant<sup>-1</sup> and 2nd experiment = 277.6 g plant<sup>-1</sup>). Most of the variables showed a reduction in their values with the late completion of the harvest, except for the partition of fresh and dry stem material in the 1st experiment, which obtained an increase of 10.3 and 37.13%, respectively. The harvest at 102 after sowing showed a higher volume (82.52 ml plant<sup>-1</sup>) and broth extraction efficiency (40.26%). The application of irrigation every 8 days caused a reduction of up to 26.4 and 29.2% in the nitrogen and phosphorus leaf content, respectively. The production of seeds per panicle and the weight of a thousand seeds was significantly influenced by the increase in the interval between irrigations in the 2nd experiment, with a reduction of 50.4 and 46.3%, respectively. There was also a reduction of up to 43.4% in the first germination count and 16.3% in the germination. Thus, the replacement of water every 4 or 8 days associated with late harvest does not favor a good production of biomass and soluble solids, impairing the estimated ethanol yield. In order to produce high quality seeds, the culture of sweet sorghum must be irrigated daily during the reproductive stage.

**Keywords:** Intermittent irrigation. Biomass partition. Production ethanol. Total soluble solids. *Sorghum bicolor* (L.) Moench.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob a EUA para a MSC (A) no 1º experimento e feito da época de colheita na EUA para MSC, MSF e MST (B) no 2º ciclo de plantas de sorgo sacarino. .	29
Figura 2 -	Número de folhas (NF) de plantas de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigações (A); época de colheita (B) e interação entre os fatores (C). .....	31
Figura 3 -	Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob a matéria fresca de caule (MFC) (A/B) de plantas de sorgo sacarino em dois experimentos. Efeito da interação entre fatores sob a matéria fresca total no 1º experimento (C) e do intervalo entre irrigação no 2º experimento (D). ....	32
Figura 4 -	Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob o °Brix (A) no 2º Experimento, a produção estimada de etanol no 2º e 1º Experimento sob efeito isolado do intervalo entre irrigações (B e C) e da época de colheita (D) de plantas de sorgo sacarino.. .....	36
Figura 5 -	Desdobramento do intervalo entre irrigação vs época de colheita sob os sólidos solúveis totais (SST) (A) e razão entre SST/AT (B), e da época de colheita sob a peso de caldo (PC) (C). .....	54
Figura 6 -	Teor de água (%) de sementes de sorgo sacarino da época de colheita (A) e do intervalo entre irrigações (B) em dois experimentos. ....	71
Figura 7 -	Desdobramento entre os fatores sob a primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de sorgo sacarino (A) e germinação de sementes (G) de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigação (B) e época de colheita (C). .....	72
Figura 8 -	Comprimento da parte aérea sob efeito da época de colheita (A) e o desdobramento da interação entre os fatores para a massa fresca de raiz (B) e da parte aérea (C e D). .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Temperatura (Temp.) máxima (Máx), mínima (Min.) e média (Méd.); umidade relativa do ar (UR) média, medida durante a condução dos experimentos. ....	24
Tabela 2 -	Atributos químicos e físicos dos solos utilizados da camada de 0 a 0,20 m.	25
Tabela 3 -	Teor de umidade do solo observada de acordo os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino. ....	26
Tabela 4 -	Volume total de água aplicado e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita.. ....	28
Tabela 5 -	Resumo da análise de variância para a eficiência do uso da água (EUA) da matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF) e total (MST) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	29
Tabela 6 -	Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), massa fresca de caule (MFC) e massa fresca total (MFT) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	30
Tabela 7 -	Área foliar (AF), matéria fresca de folha (MFF) e de panícula (MFP) de plantas de sorgo sacarino (variedade BRS 511) submetido a diferentes intervalos entre irrigações no estágio reprodutivo e épocas de colheita. ...	33
Tabela 8 -	Matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF), de panícula (MSP) e total (MST) de plantas sorgo sacarino (variedade BRS 511) submetido a diferentes intervalos entre irrigações no estágio reprodutivo e épocas de colheita. ....	34
Tabela 9 -	Resumo da análise de variância para o massa seca de caule (MSC), sólidos solúveis totais (SST) e produção estimada de etanol (Etanol) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	35
Tabela 10 -	Partição (%) de matéria fresca de caule (MFC), de folha (MFF) e de panícula (MFP) de plantas de sorgo sacarino cultivadas em dois ciclos, irrigado com diferentes intervalos de irrigação durante o estágio reprodutivo e realizada a colheita em diferentes épocas após a semeadura.	37

Tabela 11 -	Partição (%) de matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF) e de panícula (MSP) de plantas de sorgo sacarino cultivadas em dois ciclos, irrigadas com diferentes intervalos de irrigação durante o estágio reprodutivo e realizada a colheita em diferentes épocas após a semeadura.	38
Tabela 12 -	Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento da camada de 0 a 0,20 m. Limoeiro do Norte-CE, 2020. ....	47
Tabela 13 -	Teor de umidade do solo observada de acordo os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino. ....	48
Tabela 14 -	Volume total de água aplicado e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita... ..	51
Tabela 15 -	Índice de maturação (1 - Inferior, 2 - Superior e 3 – Ponta), Acidez titulável (AT), Volume de caldo (Vcaldo) e Eficiência da extração de caldo (EfECaldo) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	52
Tabela 16 -	Resumo da análise de variância para o teor de fibra (Fibra), sólidos solúveis totais (SST), razão entre sólidos solúveis totais e acidez titulável (SST/AT) e peso de caldo (PC) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	53
Tabela 17 -	Resumo da análise de variância para o teor foliar de nitrogênio (N), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita ..	55
Tabela 18 –	Teor de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) em folhas de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigações e época de colheita.....	55
Tabela 19 –	Desdobramento da interação entre o intervalo entre irrigações vs época de colheita para o teor de Cálcio (Ca) e Enxofre (S) em folhas de sorgo sacarino. ....	56
Tabela 20 -	Temperatura (Temp.) máxima (Máx), mínima (Min.) e média (Méd.); umidade relativa do ar (UR) média, medida durante a condução dos experimentos. ....	66
Tabela 21 -	Atributos químicos e físicos do solo utilizando no experimento da camada de 0 a 0,20 m. ....	67
Tabela 22 –	Teor de umidade do solo observada de acordo os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino. ....	68

Tabela 23 –	Volume total de água aplicado e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita.....	70
Tabela 24 -	Resumo da análise de variância para o teor de água (TA), primeira contagem de germinação e germinação de sementes de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	70
Tabela 25 -	Resumo da análise de variância para o comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), matéria fresca de raiz e de parte aérea de plântulas de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	73
Tabela 26 -	Número de sementes por panícula (NSP), peso de mil sementes, comprimento de raiz (CR) e razão entre comprimento da parte aérea e da raiz (CPA/CR) de sorgo sacarino em dois ciclos (1 e 2) submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e períodos de colheita. ....	75
Tabela 27 -	Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica (CE) de sementes de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita. ....	76
Tabela 28 -	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ) de sementes da variedade sorgo sacarino BRS 511 em função do intervalo entre irrigações e da época de colheita, sob diferentes períodos de embebição. ....	77

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	14
2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	14
2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	14
3	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
3.1	<b>Restrição hídrica como ferramenta no manejo agrícola</b> .....	15
3.2	<b>Sorgo sacarino para produção de etanol</b> .....	16
3.2.1	<i>Déficit hídrico: efeitos sobre a partição de biomassa e maturação do sorgo sacarino</i> .....	18
3.2.2	<i>Qualidade de sementes produzidas sob baixa disponibilidade hídrica</i> .....	19
4	<b>EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA, PARTIÇÃO DE BIOMASSA E PRODUÇÃO DE ETANOL DE SORGO SACARINO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA</b> .....	21
5	<b>PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE COLHEITA E SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA ...</b>	44
6	<b>MATURAÇÃO FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA E ÉPOCA DE COLHEITA ....</b>	63
7	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	83
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	84

## 1 INTRODUÇÃO

A grande preocupação mundial com o uso de combustíveis fósseis tem provocado a busca por alternativas renováveis para produção de energia, como exemplo o uso de material vegetal na produção de biocombustíveis, em especial para o etanol (MACHADO, 2014; SILVA et al., 2016). Entretanto, as principais culturas utilizadas para a produção do bioetanol (milho e cana-de-açúcar) são matérias-primas na alimentação humana e animal, seu uso na geração de energia pode provocar uma intensa competição entre as duas cadeias produtivas a ponto de não atender a demanda do mercado (CHOHNAN et al., 2011; RATNAVATHI et al., 2011; PELOEWETSE, 2012; DALLA MARTA et al., 2014).

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) surge então como alternativa para produção de etanol, principalmente durante o período de entressafra da cana-de-açúcar, pois além de apresentar colmos ricos em açúcares fermentáveis (DALLA MARTA et al., 2014), a cultura apresenta experimento curto, boa tolerância a seca e a temperaturas elevadas, baixa exigência em fertilidade e alta produtividade de biomassa verde (SIPOS et al., 2008; RATNAVATHI et al., 2011; FERREIRA, 2015). Seu uso durante esse período pode ainda reduzir as flutuações de preço do ano, devido fornecer matéria prima para produção de etanol em período de baixa disponibilidade (SOUZA et al., 2013)

Por oferecer diversas vantagens potenciais sobre outras culturas biocombustíveis, principalmente para condições semiáridas, onde a produção agrícola em algumas localidades do Nordeste brasileiro já é fortemente afetada pelas mudanças nos padrões de precipitação, o sorgo sacarino vem ganhando destaque nos últimos anos e a busca por novas tecnologias que possibilitem a maximização da produção é de extrema importância (GETNET et al., 2015). Mas, diferente da cana-de-açúcar, a cultura do sorgo sacarino produz sementes em grande quantidade, podendo representar até 20% da biomassa total (MENGISTU et al., 2016).

A alocação das reservas energéticas para a produção de sementes pode ser desfavorável para produção de etanol, pois durante o enchimento dos grãos parte das reservas armazenadas no colmo são translocadas do colmo, reduzindo o rendimento e qualidade do caldo (TARI et al. 2013; WATT et al., 2014). A antecipação da colheita surge como uma boa alternativa, porém para que isso seja realizado, a planta deve ter atingido elevada concentração de açúcares, que irão favorecer o processo de fermentação e conseqüentemente elevada produção de etanol.

A aplicação de déficit hídrico pode beneficiar o processo de maturação do colmo, já que o estresse tende a induzir um maior acúmulo de sacarose, além de redução na competição entre os drenos da planta por fotoassimilados (ROBERTO et al., 2015). A pouca disponibilidade de água para irrigação não deve ser mais visto somente de modo a interferir negativamente na produtividade ou até mesmo impedir o cultivo. Quando aplicada no momento e níveis certos, pode proporcionar resultados semelhantes quando cultivada em ótimas condições ou até mesmo incrementar a qualidade final da produção (NAVARRO et al., 2010; MIRÁS-AVALOS et al., 2013; NAVARRO et al., 2015; NANGARE et al., 2016).

Entretanto, a adoção de um novo modelo de produção requer o conhecimento de como a cultura irá responder àquela condição. O desenvolvimento deste trabalho contribuirá com conhecimento para o meio científico, onde através dos resultados será possível avaliar os efeitos e limitações da restrição hídrica na cultura.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Determinar a melhor época de colheita para a cultura do sorgo sacarino sob condições de déficit hídrico durante o estágio reprodutivo.

### **2.2 Objetivos específicos**

1. Verificar a produção e distribuição de matéria fresca e seca em plantas de sorgo sacarino sob déficit hídrico;
2. Avaliar a qualidade industrial do caldo e a concentração foliar de macronutrientes em plantas de sorgo sacarino sob déficit hídrico;
3. Analisar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função da época de colheita e dos diferentes intervalos de irrigação.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Déficit hídrico como ferramenta no manejo agrícola

Nas últimas décadas, as condições climáticas vêm mudando dramaticamente os índices de precipitação de muitas localidades. Essa mudança acaba aumentando a demanda por água pelos cultivos agrícolas (PAPANIKOLAOU; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, 2014; ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012). Os sistemas de cultivo irrigados são os principais consumidores de água do planeta. Esse consumo acaba variando devido principalmente ao clima e a distribuição em particular de chuva (KATERJI e MASTRORILLI, 2014).

Quanto mais seco o clima, maior é a demanda de água pelas culturas cultivadas. A alocação de água nessas regiões para o uso da agricultura pode atingir 90% do total retirado (KATERJI e MASTRORILLI, 2014). Sendo um insumo limitado, a água deve ser cuidadosamente gerenciada, visando minimizar o desperdício e reduzir o custo na ordem para manter a sustentabilidade econômica do sistema (MANSOUR et al., 2017).

Na região semiárida do Brasil, a seca é considerada como um fator abiótico bastante crítico para a produção agrícola (FERRARI et al., 2015). Dependendo da intensidade, as plantas podem responder de diferentes formas. Uma das principais respostas à seca é a redução da atividade fotossintética, através do fechamento dos estômatos, evitando assim a perda de água devido à entrada de CO<sub>2</sub> (TAIZ et al., 2017). Entre outras características afetadas pela deficiência hídrica, destacam-se a redução na área foliar e número de folhas (XIE e SU, 2012), a senescência foliar (TAIZ et al., 2017), a altura das plantas e o diâmetro de colmo (FEITOSA, 2019). Isso acaba provocando redução no crescimento vegetativo, e conseqüentemente a produção de biomassa (SILVA et al., 2016a; SILVA et al., 2018b).

O setor agrícola tem buscado estratégias que permitam a gestão adequada dos recursos hídricos sem causar prejuízo a produção agropecuária (KATERJI E MASTRORILLI, 2014). Entre as ferramentas disponíveis para minimizar o uso de água na agricultura, a irrigação deficitária é uma boa opção visto que diversos autores concordaram que seu uso não apenas reduz a demanda de água em certas safras, mas também permite que os agricultores controlem a qualidade da safra (ADAMS e ERICKSON, 2018; BELL et al., 2018; COMAS et al., 2019; SANTOS et al., 2019).



A irrigação com déficit hídrico controlado tem como princípio básico realizar o volume de água aplicado sem que a redução no rendimento da cultura seja significativa em comparação com a economia de água obtida (CANTORE et al., 2016). Vale salientar ainda que esse planejamento da irrigação envolve também a determinação do momento apropriado da irrigação e a quantidade necessária de água a ser aplicada (PAPANIKOLAOU e SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, 2012).

Desta forma, a adoção de práticas que permitam a obtenção de produtividade satisfatória associado ao uso sustentável da água é de extrema importância para os dias atuais, que além de ter a produção de alimentos como foco principal, surge a busca de biomassa vegetal pra produção de energia.

### **3.2 Sorgo sacarino para produção de etanol**

A grande preocupação em função da emissão de dióxido de carbono gerada pelo uso de combustíveis fósseis e o risco em potencial do esgotamento desse recurso tem fortalecido o estudo e uso de alternativas renováveis na geração de energia (CHOHNAN et al., 2011; FREITA et al., 2014; MASSON et al., 2015; COLE et al., 2017; DAR et al., 2018). O etanol, umas das principais alternativas em questão, tem apresentado uma taxa de crescimento anual de 3,8%, podendo chegar em 2026 a aproximadamente 44 bilhões de litros. O Brasil e os Estados Unidos são atualmente os líderes mundiais, concentrando aproximadamente 85% da produção total de etanol (DEPEC, 2017; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2017; DAR et al., 2018).

O etanol pode ser produzido a partir de várias fontes de biomassa, como culturas ricas em amido (milho), açúcares (cana-de-açúcar, beterraba e sorgo sacarino) e material celulósico (madeira e resíduos de culturas) (WU et al., 2010). No Brasil atualmente a cana-de-açúcar é a principal matéria-prima e vem ganhando mercado a cada ano que passa, tanto na mistura com gasolina, como em veículos leves “*flex*” (AZEVEDO et. al., 2012; SILVA et al., 2016a). Devido apresentar elevados níveis de produtividades e de rendimento industrial, o setor tem se tornado um dos mais competitivos (MARTINS et al., 2017).

Entretanto, devido apresentar ciclo longo, há determinados períodos no ano em que as usinas ficam ociosas sem matéria-prima para produção de etanol, o que acaba resultando em baixa competitividade no mercado e elevando o preço ao consumidor final (DURÃES, 2011; SANTOS et al., 2011; HAN et al., 2012; FIORINI et al., 2016). Além de

que a produção de etanol através da cana-de-açúcar apresenta outras limitações, principalmente em áreas de baixo índice de chuvas, o que destaca a necessidade de adicionar outras matérias-primas materiais para a produção de etanol (LUO et al., 2009; SANTOS et al., 2011).

O sorgo sacarino então surge como alternativa para compor a matriz energética nacional, pois além de apresentar colmos ricos em açúcares fermentáveis e alta produtividade de biomassa verde (RATNAVATHI et al., 2011), a produção de bioetanol através da cultura pode ser feita também através dos grãos, bagaço e palha (DAR et al., 2018).

A cultura do sorgo é uma das cinco principais espécies cultivadas no mundo. Atualmente existem cinco tipos com diferentes aptidões (granífero, forrageiro, vassoura, biomassa e sacarino), possibilitando que seja utilizado como matéria prima para os mais variados fins (alimentação humana e animal, animal, recurso energético, fins industriais) (TARI et al., 2013; MATHUR et al., 2017; DAR et al., 2018). Por apresentar metabolismo fotossintético C4, essa espécie possui elevada eficiência na fixação e aproveitamento do CO<sub>2</sub>, o que favorece seu crescimento mesmo em condições de baixa precipitação (FERREIRA, 2015). Propagado sexuadamente, todas as etapas de cultivo (implantação à colheita) podem ser realizadas com auxílio de máquinas, o que reduz bastante os custos de produção, além de que após a colheita, em condições favoráveis, pode-se prosseguir com o cultivo da soca (ERICKSON et al., 2012).

O processo de industrialização do sorgo (colheita e beneficiamento) pode ser realizado utilizando todo o maquinário da cana-de-açúcar, o que viabiliza sua utilização na entressafra da cultura (FREITA et al., 2014; FERREIRA, 2015). Assim o uso de sorgo sacarino pode permitir a expansão da área para produção de bioenergia e aumentando a eficiência da produção de etanol (HAN et al., 2012; MAY et al., 2012).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos em todo o mundo, reforçando o potencial que a cultura tem para o setor energético (CHOHNAN et al., 2011; RATNAVATHI et al., 2011; PELOEWETSE et al., 2012; MASSON et al., 2015; FIORINI et al., 2016; SILVA et al., 2016a; COLE et al., 2017; DAR et al., 2018; SILVA et al. 2018a). Entretanto, apesar das características favoráveis, grande parte dos estudos em questão são relacionados a avaliação de diferentes variedades, arranjo populacional, nutrição de plantas, ficando algumas lacunas ainda a ser preenchidas, como é o caso do manejo da cultura em condições irrigadas.

A manutenção da biomassa, principalmente do de caule é um aspecto importante a ser considerado na escolha no manejo hídrico da cultura e o momento da colheita. Pois a

obtenção de baixos valores tende a proporcionar redução no volume de caldo e de açúcares da cultura, refletindo negativamente no rendimento de etanol (WANG et al., 2011; MENGISTU et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2017).

### ***3.2.1 Déficit hídrico: efeitos sobre a partição de biomassa e maturação do sorgo sacarino***

O processo de distribuição de assimilados nos diferentes órgãos da planta é denominado partição, resultado de um conjunto de processos metabólicos, das diferentes condições ambientes e de manejos, que podem alterar a força da fonte (taxa fotossintética), favorecendo ou não a força do dreno (demanda por assimilados) (DUARTE e PEIL, 2010; PEDÓ et al., 2011). Diferente de muitas culturas, durante o estágio vegetativo do sorgo sacarino, os fotoassimilados produzidos na fotossíntese não são direcionados somente aos órgãos em crescimento, mas também armazenados no caule. Com o início da fase reprodutiva, eles passam a ser translocados para os grãos na panícula (GUIYING et al., 2000; TARI et al. 2013; WATT et al., 2014).

O processo de maturação está relacionado ao armazenamento de açúcares em órgãos de reserva, de modo a possibilitar em uma situação adversa a sobrevivência da planta e também servir como fonte para a fase reprodutiva (CARDOZO e SENTELHAS, 2013). Ele tem início juntamente com o término do crescimento vegetativo da planta, provocando um intenso acúmulo de açúcares nos órgãos de reserva. Conforme a maturação avança, açúcares simples como frutose e glicose (monossacarídeos) são convertidos em sacarose (dissacarídeo) (VIEIRA et al., 2012). Em condições naturais, a maturação dos colmos ocorre da base para o ápice, o que geralmente provoca variação na qualidade do caldo dependendo da parte da planta. Caso a cultura seja colhida cedo ou tarde demais, o rendimento de açúcares pode estar comprometido, interferindo negativamente na produção de etanol (CHONG et al., 2010).

O déficit hídrico reduz fortemente a produtividade agrícola, contribuindo com a insegurança alimentar em muitas partes do mundo (ASHRAF, 2010). Sob condição de restrição hídrica, a fotossíntese é um dos primeiros parâmetros afetados negativamente (INMAN-BAMBER et al., 2002; FERERES e SORIANO, 2007), a severidade do estresse vai depender da intensidade e duração, podendo afetar qualquer estágio fenológico da planta (FAROOQ et al., 2009).

Entretanto, um dos grandes desafios atuais na agricultura é reduzir o máximo possível o uso de água, sem interferir negativamente no rendimento da produção agrícola

(FERERES e SORIANO, 2007; NAVARRO et al., 2015). Já é realidade em muitas localidades, a ocorrência de baixa disponibilidade de água destinada a produção agrícola, entretanto a necessidade de produzir não somente alimentos, mas também matéria prima para indústria tem provocado o desenvolvimento de novas técnicas e manejo alternativos a fim de minimizar os impactos de restrição hídrica.

Na cultura da cana-de-açúcar já é prática comum interromper o fornecimento de água no início da maturação da cultura (CARR e KNOX, 2011), pois além de evitar o florescimento da planta, o que provocaria mudanças na qualidade de caldo e com isso efeitos indesejáveis na produção de etanol (VIEIRA et al., 2013), o déficit hídrico facilita a colheita da cultura, devido a redução de folhas e melhor condições para passagem da colhedora. Quando o déficit hídrico ocorre durante o crescimento vegetativo da planta, ele tende a diminuir a produção e uso de fotoassimilados sintetizados durante a fotossíntese, pois tanto a assimilação de carbono como a respiração é reduzida. Isso acaba provocando o armazenamento na forma de açúcares nos órgãos de reserva (INMAN-BAMBER e SMITH 2005).

Assim, o déficit hídrico moderado pode beneficiar o processo de maturação do colmo, já que o estresse tende a induzir um maior acúmulo de sacarose, além de que há redução na competição entre os drenos da planta por fotoassimilados (ROBERTO et al., 2015). Porém é necessário cautela no uso desta prática, pois dependendo da época, intensidade e duração, o déficit hídrico pode reduzir o teor de sacarose no colmo das plantas (CARDOZO E SENTELHAS, 2013; VIEIRA et al., 2013; ROBERTO et al.; 2015).

### ***3.2.2 Qualidade de sementes produzidas sob baixa disponibilidade hídrica***

O uso de sementes de qualidade é um dos fatores determinantes para obtenção de elevada produtividade, pois proporcionam maior uniformidade do stand de plantas (SILVA et al., 2017). A qualidade das sementes pode ser expressa como a soma de diversos atributos (pureza física, genética, sanitária e fisiológica) (TUNES et al. 2008). Os quatro componentes da qualidade de sementes possuem importância equivalente, mas o potencial fisiológico fornece informações sobre a germinação e vigor, pelo qual permite identificar lotes de sementes que possuem maior probabilidade de apresentar desempenho desejado durante o armazenamento e em campo (MARCOS FILHO, 2015).

Entretanto, durante o processo de produção a cultura está sujeita aos efeitos de diversos fatores, dependendo do momento e intensidade, pode afetar negativamente diversos aspectos da cultura. A água é considerada como um dos principais fatores abióticos que limitam o desenvolvimento das plantas, cuja falta ou excesso afeta o crescimento, a sanidade e a produção das culturas (MONTEIRO et al. 2006).

Quando ocorre durante o estágio reprodutivo, pode resultar em decréscimo na produção de sementes, ocasionado pelo abortamento de flores, como redução na qualidade fisiológica das sementes (FARSIANI et al., 2011; PEDROSO et al. 2009). A baixa qualidade das sementes também ocorre devido a redução do fluxo de fotoassimilados, pois o transporte do material fotossintetizado depende do adequado teor de água na planta (BEWLEY et al., 2013).

O efeito negativo do déficit hídrico tem sido verificado na produção e qualidade de sementes de várias espécies cultivadas: milho (MACHADO et al., 2020), feijão-caupi (FREITAS et al., 2013), gergelim (SILVA et al., 2016b); trigo (ESKANDARI e ALIZADEH-AMRAIE, 2017) e soja (GHASSEMI-GOLEZANI et al., 2012 e JUMRANI e BATHIA, 2017). De maneira geral essa redução na qualidade das sementes está relacionada ao processo de enchimento, fato atribuído a diversos fatores, como: danos oxidativos no aparato fotossintético das plantas (FAROOQ et al., 2009), elevada taxa de senescência das folhas (BORRELL et al., 2000), redução da fixação e assimilação de carbono (ASADA, 2006), a esterilidade polínica (CATTIVELLI et al., 2008), dentre outros.

Apesar disso, diferentes respostas têm sido observadas em pesquisas relacionado a produção de sementes, provocando uma grande variabilidade, em relação aos seus efeitos na viabilidade e no vigor das sementes, reforçando a necessidade de novos estudos (PEDROSO et al. 2009).

## 4 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA, PARTIÇÃO DE BIOMASSA E PRODUÇÃO DE ETANOL DE SORGO SACARINO SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA

### RESUMO

O sorgo sacarino tem grande potencial como matéria prima para produção de biocombustíveis, podendo substituir a cana-de-açúcar e o milho em condições desfavoráveis. Considerado como um dos fatores abióticos que mais limitam as cultivos agrícolas, os efeitos do déficit hídrico entretanto podem variar em função da intensidade e do estágio de ocorrência. Desta forma objetivou-se com este trabalho, avaliar a produção e partição de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 511, em resposta a condições de restrição hídrica durante o estágio reprodutivo. Dois experimentos foram realizados em casa de vegetação (2019 e 2020). Os experimentos foram conduzidos no delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos completos. Os tratamentos foram distribuídos em esquema de parcela subdividida no tempo, sendo composto por 3 intervalos entre irrigações (0, 4 e 8) x 4 épocas de colheita (86, 94, 102 e 110 dias após a semeadura), totalizando 12 tratamentos e 48 parcelas experimentais. Em cada uma das colheitas foram avaliados o acúmulo de biomassa fresca e seca e as suas respectivas partições, além dos indicadores de eficiência do uso da água e sólidos solúveis totais, para determinação da produção estimada de etanol. A reposição de água a cada 8 dias provocou acentuada redução na área foliar, sendo verificado menor variação no 1º experimento (36,3%). A produção de matéria fresca total apresentou elevados valores médios sob irrigação contínua (1º Experimento = 223,8 g planta<sup>-1</sup> e 2º Experimento = 277,6 g planta<sup>-1</sup>). A produção estimada de etanol apresentou redução de até 31,5% no 2º experimento sob condições de restrição hídrica. A maioria das variáveis apresentou redução dos seus valores com a realização tardia da colheita, exceto para a partição de matéria fresca e seca de caule no 1º experimento, que obtiveram aumento de 10,3 e 37,13%, respectivamente. Para obtenção de máximo rendimento recomenda-se que a colheita seja realizada 86 dias após a semeadura sem interrupção da irrigação.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, BRS 511, Etanol, Irrigação intermitente, Sólidos Solúveis Totais.

## ABSTRACT

Sweet sorghum has great potential as a raw material for the production of biofuels, and can replace sugar cane and corn in unfavorable conditions. Considered as one of the abiotic factors that most limit agricultural crops, the effects of the water deficit may vary depending on the intensity and the stage of occurrence. The objective of this work was to evaluate the production and partition of sweet sorghum biomass cv. BRS 511, in response to water restriction conditions during the reproductive stage. Two experiments were carried out in a greenhouse (2019 and 2020). The experiments were conducted in a randomized block design, with 4 complete blocks. The treatments were distributed in a split-time plot, consisting of 3 intervals between irrigations (0, 4 and 8) x 4 harvest times (86, 94, 102 and 110 days after sowing), totaling 12 treatments and 48 experimental plots. In each of the harvests, the accumulation of fresh and dry biomass and their respective partitions were evaluated, in addition to the water use efficiency indicators and total soluble solids, to determine the estimated ethanol production. The replacement of water every 8 days caused a sharp reduction in the leaf area, with less variation in the 1st cycle (36.3%). The total fresh matter production showed high average values under continuous irrigation (1st experiment = 223.8 g plant<sup>-1</sup> and 2nd experiment = 277.6 g plant<sup>-1</sup>). Estimated ethanol production showed a reduction of up to 31.5% in the 2nd cycle under conditions of water restriction. Most of the variables showed a reduction in their values with late harvesting, except for the partition of fresh and dry stem material in the 1st experiment, which obtained an increase of 10.3 and 37.13%, respectively. To obtain maximum yield, it is recommended that the harvest be carried out 86 days after sowing without interrupting irrigation.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, BRS 511, Ethanol, Intermittent irrigation, Total Soluble Solids.

## Introdução

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) possui grande potencial como matéria prima para produção de etanol. A espécie pode ser cultivada em várias condições ambientais, inclusive em regiões com baixo índice pluviométrico, apresentando alto rendimento para a produção de biomassa (EKEFRE et al., 2017; SILVA et al., 2016; UCHINO et al., 2013). Além das vantagens mencionadas, após a extração do caldo, o bagaço pode ser aproveitado pela indústria, pois sua composição química é favorável para produção de etanol de segunda geração (ALMEIDA et al., 2019; ALMODARES e HADI, 2009).

Os componentes estruturais do sorgo sacarino possibilitam a produção de forragem ou de álcool, e qualquer alteração nestes pode interferir no rendimento final da cultura. Condições ambientais adversas podem alterar a produção de biomassa e de sua partição, sendo de grande importância sua análise nessas condições para melhorar o entendimento dos mecanismos envolvidos (TEJERA et al., 2007).

O déficit hídrico induz mudanças e respostas em vários níveis funcionais da planta, sendo um fator limitante na produção agrícola. Ainda não é conhecido o nível ótimo de água disponível no solo para ocorrência adequada do processo de maturação (CARDOZO e SENTELHAS, 2013). Compreender o processo de alocação de biomassa no sorgo sacarino em condições de déficit hídrico é um passo fundamental para avaliar o nível de tolerância da cultura à seca ou sua sensibilidade em determinado estágio fenológico. Permitindo identificar o momento ou intervalo de tempo mais adequado para se fazer a irrigação ou até mesmo encontrar estratégias para o cultivo em sequeiro (MAIA JUNIOR et al., 2016).

Os efeitos da restrição hídrica nos componentes de produção podem variar de acordo com o estágio e ao período de exposição (SANKARAPANDIAN et al., 2013; ZILIO, 2014). O estágio reprodutivo é considerado como um dos mais sensíveis ao déficit hídrico (ASSEFA et al., 2010; JUMRANI e BHATIA, 2017)., durante essa fase a planta de sorgo sacarino intensifica o acúmulo de sacarose no colmo, processo favorecido pela paralisação do crescimento vegetativo, aumento da concentração de sólidos solúveis e do processo de desidratação (CHONG et al., 2010).

Entretanto, a redução da disponibilidade de água deve ser adequadamente mensurada, pois a concentração de sacarose varia com a partição de biomassa para os colmos, a qual por sua vez, é alterada em função do rendimento da cultura (SILVA et al., 2014). Esse valor deve corresponder àquele que preserva a biomassa já produzida, favorece a



concentração de açúcar na planta e permite que o processo de síntese de sacarose continue ocorrendo (ARAÚJO et al., 2016). Principalmente para a cultura do sorgo sacarino em que o rendimento de etanol está diretamente correlacionado com o desenvolvimento do caule (MENGISTU et al., 2016).

Para alcançar um melhor planejamento dos recursos hídricos disponíveis e estabelecer estratégias de irrigação que otimizem o rendimento das culturas, é importante avaliar a eficiência do uso da água nessas condições de suprimento variável de irrigação. A eficiência no uso da água (EUA) é definida como a produtividade de biomassa acima do solo (biomassa fresca ou seca, frutas, grãos ou rendimento de sementes) por volume de água resposta (MENGISTU et al., 2016).

Diante o grande potencial que a cultura do sorgo sacarino possui como matéria prima para o setor de bioenergia e da possibilidade de ser cultivado em diversas regiões e épocas de baixa pluviosidade, hipotetiza-se que sob condições de baixa disponibilidade hídrica a cultura de sorgo sacarino acumula maior biomassa, sem causar perdas significativas a produção de etanol. Portanto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a suspensão periódica da irrigação durante o estágio reprodutivo na produção e partição de biomassa, eficiência do uso da água e produção de etanol de sorgo sacarino.

## **Material e métodos**

### ***Localização e caracterização da área experimental***

Foram realizados dois experimentos, ambos em casa de vegetação. O primeiro experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Umirim., localizado na Fazenda Floresta no município de Umirim, a 91 Km da cidade de Fortaleza, geograficamente situada entre os paralelos 3° 41' 09" de latitude Sul e os meridianos 39° 20' 28" de longitude Oeste de Greenwich, a uma altitude de 61 metros. O segundo experimento foi desenvolvido na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte, localizado no extremo leste do Estado do Ceará, geograficamente situados entre os 5° 06'38" de latitude Sul e os meridianos 37° 52'21" de longitude Oeste de Greenwich e altitude de 143 m.

O clima das duas regiões segundo a classificação de Köppen e Geiger é BSw'h', ou seja, semiárido com chuvas irregulares, apresentando duas estações climáticas bem

definidas, uma quente com chuvas de verão-outono, sendo o trimestre março-maio o período mais chuvoso e o período julho-dezembro o mais seco (ALVARES et al., 2013). Abaixo estão os dados de temperatura e umidade coletadas durante a condução dos experimentos.

Tabela 1 - Temperatura (Temp.) máxima (Máx), mínima (Min.) e média (Méd.); umidade relativa do ar (UR) média, medida durante a condução dos experimentos nas casas de vegetação.

Experimento	Período	Temp. média (°C)			UR média (%)
		Máx.	Méd.	Min.	Méd.
1°	Março/2019 a Julho/2019	35,6	29,2	23,9	85,3
2°	Dezembro/2019 a Abril/2020	39,4	31,2	24,5	82,4

### ***Delineamento experimental e tratamentos***

Os experimentos foram conduzidos no delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos completos. Os tratamentos foram distribuídos em esquema de parcela subdividida no tempo 3 x 4, totalizando 12 tratamentos e 48 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi composta por três plantas alocadas em um vaso (30 cm Ø) com 15 kg de solo. Os tratamentos testados foram: três intervalos entre irrigações durante o período reprodutivo e quatro diferentes épocas de colheita.

Para o tratamento referente ao intervalo entre irrigações, adotou-se três diferentes manejos para a cultura, tendo como referência a umidade do solo na capacidade de campo (Ucc). Assim, no nível de referência (L0), se manteve a umidade do solo a 70% da Ucc ao longo de todo o experimento, sendo a reposição da água feita diariamente utilizando uma proveta graduada. Os demais tratamentos (L4 e L8) correspondem a reposição de água até 70% da Ucc a cada 4 e 8 dias, respectivamente. A diferenciação do manejo da irrigação teve início após a floração (aproximadamente 62 dias após a semeadura - DAS). As colheitas foram realizadas respectivamente aos 86, 94, 102 e 110 DAS.

### ***Procedimento experimental***

O solo utilizado no primeiro experimento foi um Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e o do segundo foi um Cambissolo Vermelho-amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2018). Para fins de correção foi retirada uma amostra do tipo composta representando a camada de 0 a 0,20 m de profundidade de cada uma das localidades e enviada para o

laboratório para determinação de atributos químicos e físicos, como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Atributos químicos e físicos dos solos utilizados da camada de 0 a 0,20 m.

Atributos Químicos													
Exp.	cmolc dm <sup>-3</sup>						g kg <sup>-1</sup>		(%)	(H <sub>2</sub> O)	(dS m <sup>-1</sup> )		
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	C	M.O.	V	pH	C.E.
1º	3,20	2,00	0,40	0,34	2,31	0,35	5,9	8,21	4,89	8,44	72	4,7	1,75
2º	95,3	20,9	1,12	26,4	-	-	143,7	143,7	10,2	17,03	100	7,6	1,34
Atributos Físicos													
Exp.	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )				Classificação Textural		Capacidade de campo (%)						
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila									
1º	432	290	142	136	Franco arenosa		24						
2º	246	233	251	258	Franco argilo arenoso		34						

Exp. - Experimento; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> - Acidez potencial; SB - Soma de bases; CTC - Capacidade de troca catiônica; M.O - Matéria orgânica; V - Saturação por bases; C.E. - Condutividade elétrica.

Para enchimento dos vasos foi coletado solo na camada de 0-20 m de profundidade. No preenchimento dos vasos colocou-se 15 kg de solo, ficando cerca de 4 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso, facilitando a irrigação e evitando o transbordamento da água durante as irrigações, que foram realizadas manualmente, utilizando-se proveta graduada (500 mL).

Antes da semeadura, foi realizada a adubação com N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando respectivamente ureia (45%) e superfostato simples (18%). Além da adubação da semeadura, realizou-se uma adubação de cobertura com N e K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio em pó - 60%) aos 21 DAS conforme recomendações de Aguiar et al. (2014). A adubação de cobertura foi realizada diluindo o adubo em 30 ml de água e sendo colocando ao lado das plantas após realizada a irrigação.

A semeadura foi realizada com a abertura de três covas e colocando-se 5 sementes por cova da cultivar se sorgo sacarino BRS 511 a uma profundidade de 1 cm. Dez dias após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste deixando-se a plântulas mais vigorosas de cada cova (totalizando três plantas vaso<sup>-1</sup>).

A água utilizada para irrigação foi proveniente do sistema de abastecimento de cada uma das localidades. O suprimento de água para as plantas foi realizado com frequência de uma irrigação diária, até os 62 DAS para todas as parcelas experimentais. Do 63º DAS até cada umas das colheitas, foi adotado a frequência de acordo cada tratamento. Na tabela 3 observa-se a variação no teor de umidade observado em função do período sem irrigação.

Tabela 3 – Teor de umidade do solo observada de acordo com os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino.

Intervalo entre irrigação (dias)	Teor de umidade (%)	
	1º Experimento	2º Experimento
0*	16,4 ±0,3	23,0 ±0,25
4	7,9 ± 0,5	9,5 ±0,3
8	4,8 ±0,27	5,2 ±0,37

\*O valor obtido nesse tratamento corresponde a variação da umidade do solo no intervalo de 1 dia.

As colheitas foram realizadas na época correspondente a cada tratamento (86, 94, 102 e 110 DAS), sendo retiradas as três plantas de cada parcela experimental.

### *Variáveis analisadas*

Após coletada as plantas de cada parcela experimental, determinou-se a matéria fresca total (MFT). Posteriormente todas as partes da planta foram separadas (folha, caule e panícula) sendo contabilizado o número de folhas (NF) (foi considerada somente as folhas que apresentassem no mínimo 50% da sua área foliar verde), massa da matéria fresca de folha (MFF), colmo (MFC) e panícula (MFP). Após determinado a massa fresca os materiais foram levados para estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65°C até obter massa constante e assim determinação da matéria seca (MSF, MSC e MSP). A massa da matéria seca total (MST) foi determinada com o somatório da massa de matéria seca das partes.

A área foliar foi determinada pelo método AFUFT (SOUSA et al., 2015), que baseia-se na obtenção da área foliar através da medida de três partes da folha:

$$AF (AFUFT) = [(MedC) \times \left(\frac{MedA}{2}\right)] / 2 + \left[\left(\frac{MedC + MedB}{2}\right) \times \left(\frac{MedA}{2}\right)\right] \quad (1)$$

Em que:

MedA – comprimento total;

MedB – largura da base do limbo;

MedC - largura no meio do limbo.

Antes dos colmos serem colocados para secar na estufa, foi realizada a extração do caldo dos colmos com auxílio de uma moenda, homogeneizado e determinado os sólidos solúveis (°Brix) utilizando um refratômetro. O teor total de açúcar foi calculado com base na

sua correlação com os valores do grau °Brix, usando a seguinte equação estimada por Liu et al. (2008):

$$TTA = (0,8111 \times SST) - 0,3728 \quad (2)$$

Em que:

TTA - Teor total de açúcar (%);

SST – Sólidos solúveis totais (°Brix).

Para o cálculo da produção teórica de etanol a partir de biomassa fresca de sorgo, foi utilizada a seguinte equação relatada por Sakellariou Makrantonaki et al. (2007) e Zhao et al. (2009) e modificada por Vasilakoglou et al., (2011):

$$\text{Etanol} = TTA \times MFC \times 6,5 \times 0,85 \times \frac{1,00}{0,79} \quad (3)$$

Em que:

Etanol (ml planta<sup>-1</sup>)

TTA – Teor total de açúcar (%);

MFC – Massa fresca de caule (g);

0,65 - fator de conversão de etanol a partir de açúcar;

0,85 - eficiência do processo de fermentação a partir de açúcar;

1,00/0,65 - gravidade específica do etanol (g mL<sup>-1</sup>).

Os valores de EUA do sorgo sacarino foram calculados considerando-se o valor acumulado da biomassa seca da cultura em cada época de colheita (Y1), representados pela produção dos colmos (MSC, g); de folhas (MSF, g) e total da parte aérea (MST, g), bem como pelo valor total de água utilizado até aquele período (VTA, Litros), obtendo-se EUA para a MSC, MSF e MST. A seguinte expressão foi utilizada no cálculo do EUA:

$$EUA_{Y1} = \frac{Y1}{VTA} \quad (4)$$

### *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilks) e homogeneidade (Bartlett), atendendo a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) pelo teste F (5%). Quando significativo foi aplicado o teste de Scott-Knott (5%) para os diferentes intervalos entre irrigação e análise de regressão para as diferentes épocas de colheita. Quando houve interação significativa, aplicou-se o teste de Scott-Knott (5%).

As variáveis que não atenderam a pelo menos uma das pressuposições, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Quando o fator intervalo entre irrigação foi significativo aplicou-se o teste de Dunn com comparações múltiplas por pares a um nível de significância a 5%.

### **Resultados**

A quantidade de água que as culturas consomem é necessária para o eficiente gerenciamento do manejo da irrigação (HANSAON; MAY, 2006). Desta forma, calculou-se a quantidade demandada de água para cada tratamento em virtude da época de colheita (Tabela 4).

Tabela 4 – Volume total de água aplicado e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita.

Época de colheita	Volume total de água aplicado		Lâmina de irrigação	
	L vaso <sup>-1</sup>		mm ciclo <sup>-1</sup>	
	1º Experimento	2º Experimento	1º Experimento	2º Experimento
86	21,84	49,82	309,13	705,17
94	24,58	52,09	347,91	737,29
102	27,31	56,82	386,55	804,25
110	30,04	62,05	425,19	878,27

### *Eficiência do uso da água*

Para a eficiência do uso da água (EUA) (Tabela 5), nota-se efeito significativo ( $F_{6,27}=3,82$ ;  $p<0,01$ ) somente para a matéria seca de caule em da interação entre os fatores. No 2º experimento houve efeito significativo quanto a época de colheita ( $p<0,05$ ) para a EUA (MSC, MSF e MST).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para a eficiência do uso da água (EUA) da matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF) e total (MST) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	EUA					
		MSC <sup>1</sup>	MSF <sup>1</sup>	MST <sup>1</sup>	MSC <sup>2</sup>	MSF <sup>2</sup>	MST <sup>2</sup>
Quadrados médios							
Bloco	3	0,03 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>	0,91 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	0,13*	0,16 <sup>NS</sup>	0,45 <sup>NS</sup>	0,03 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
Erro 1	6	0,01	0,19	0,72	0,04	0,02	0,06
Colheita (C)	3	0,75**	0,36 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	0,71**	0,17**	3,75**
I x C	6	0,19**	0,17 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
Erro 2	27	0,05	0,16	0,52	0,06	0,03	0,13
Total	47	-	-	-	-	-	-
CV (I)	%	7,01	44,71	23,17	9,89	16,59	8,38
CV (C)	%	11,58	41,15	19,67	12,91	21,14	11,7

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente; F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.

A eficiência do uso da água (EUA) em cada experimento de produção pode ser observada nas Figuras 4A e 4B, respectivamente. Para a  $EUA_{MSC}$ , observa-se aumento da EUA ( $g\ MS\ litro^{-1}\ H_2O$ ) quando a colheita foi realizada a partir dos 102 DAS. A maior variação observada foi sob o intervalo de irrigação de 4 dias entre a colheita realizada aos 86 e 102 DAS (34,5%).

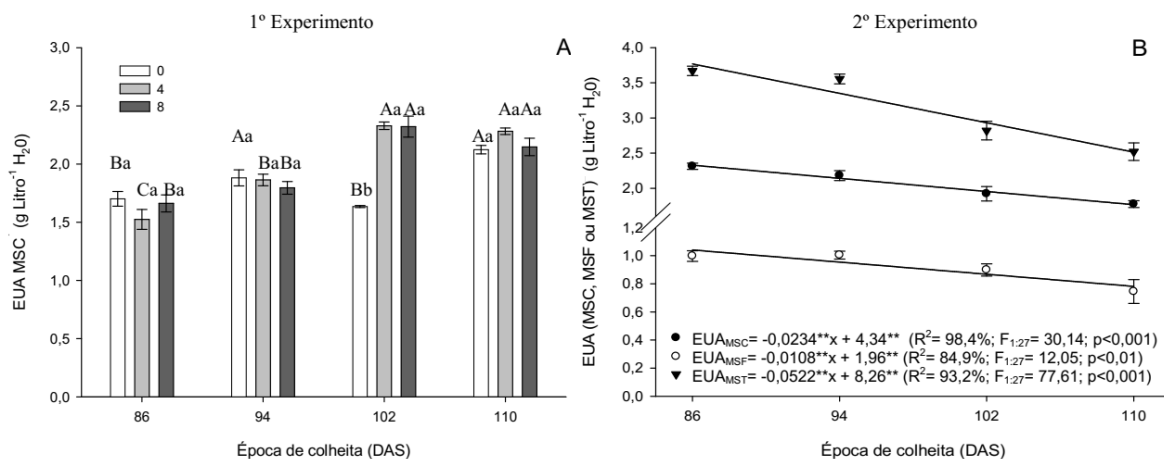


Figura 1 - Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob a EUA para a MSC (A) no 1º experimento e do feito da época de colheita na EUA para MSC, MSF e MST (B) no 2º experimento de plantas de sorgo sacarino.

<sup>1,2</sup> Primeiro e segundo experimento, respectivamente. Mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) para época de colheita e minúsculas para o intervalo entre irrigações pelo teste de Scott-Knott (5%).

No 2º experimento a equação de regressão de cada variável se ajustou ao modelo linear, com máximos valores observados aos 86 DAS ( $EUA_{MSC} = 2,31$ ;  $EUA_{MSF} = 0,99$  e  $EUA_{MST} = 3,67$  g Litro<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O). A maior variação observada foi para  $EUA_{MST}$ , com redução de até 31,3% (equivalente a 1,14 g Litro<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O), entre a primeira e última colheita.

### *Número de folhas, área foliar e produção de massa fresca e seca*

Observa-se na Tabela 6 que o número de folhas de sorgo sacarino foi afetado significativamente em ambos os experimentos. Sendo no primeiro de forma isolada para os diferentes intervalos entre irrigação ( $F_{2,17} = 28,26$ ;  $p < 0,001$ ) e época de colheita ( $F_{3,27} = 23,15$ ;  $p < 0,0001$ ). No 2º experimento houve interação significativa ( $F_{6,27} = 3,12$ ;  $p < 0,05$ ) entre os fatores.

Para MFC em ambos os experimentos houve interação significativa entre os fatores ( $^1F_{6,27} = 2,58$ ;  $p < 0,05$ /  $^2F_{6,27} = 2,42$ ;  $p < 0,05$ ). A matéria fresca total (MFT) no 1º Experimento apresentou interação significativa ( $F_{6,27} = 2,81$ ;  $p < 0,05$ ) entre os fatores, já no 2º Experimento o efeito significativo obtido foi para o intervalo entre irrigação ( $F_{2,27} = 5,85$ ;  $p < 0,05$ ). A matéria seca de caule (MSC) apresentou efeito significativo ( $F_{2,27} = 6,72$ ;  $p < 0,05$ ) para o intervalo entre irrigações no 2º experimento.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para o número de folhas (NF), massa fresca de caule (MFC) e massa fresca total (MFT) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	Quadrados médios						
		NF <sup>1</sup>	NF <sup>2</sup>	MFC <sup>1</sup>	MFC <sup>2</sup>	MFT <sup>1</sup>	MFT <sup>2</sup>	MSC <sup>2</sup>
Bloco	3	1,3 <sup>NS</sup>	0,1 <sup>NS</sup>	231,9 <sup>NS</sup>	1677,1 <sup>*</sup>	735,9 <sup>NS</sup>	2513,1 <sup>NS</sup>	8,3 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	21,8 <sup>**</sup>	95,7 <sup>**</sup>	678,2 <sup>NS</sup>	1371,9 <sup>NS</sup>	3021,8 <sup>**</sup>	7104,5 <sup>*</sup>	99,7 <sup>*</sup>
Erro 1	6	0,7	0,2	167,9	1265,9	269,3	1213,7	14,8
Colheita (C)	3	28,3 <sup>**</sup>	1,2 <sup>**</sup>	2307,8 <sup>*</sup>	219,5 <sup>NS</sup>	7686,3 <sup>**</sup>	703,3 <sup>NS</sup>	12,6 <sup>NS</sup>
I x C	6	0,9 <sup>NS</sup>	0,5 <sup>*</sup>	1697,5 <sup>*</sup>	1661,1 <sup>*</sup>	2891,1 <sup>*</sup>	1689,8 <sup>NS</sup>	32,2 <sup>NS</sup>
Erro 2	27	1,3	0,2	658,6	686,1	1029,8	854,1	24,2
Total	47	-	-	-	-	-	-	-
CV (I)	%	17,69	18,02	9,07	16,85	7,89	13,71	10,32
CV (C)	%	22,65	16,75	17,96	12,4	15,42	11,5	13,19

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente; F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.



As plantas submetidas ao intervalo entre irrigação de 8 dias, reduziram o número de folhas em até 36,3% (Figura 2A). Quanto a época de colheita (Figura 2B) nota-se que a equação de regressão se ajustou ao modelo linear, com variação de 53,3% entre a primeira (86 DAS) e a última colheita (110 DAS). No 2º experimento (Figura 1C), nota-se menores valores nas épocas mais tardias de colheita sob irrigação constante, variando 25,8% (Equivalente a 1,44 folhas).

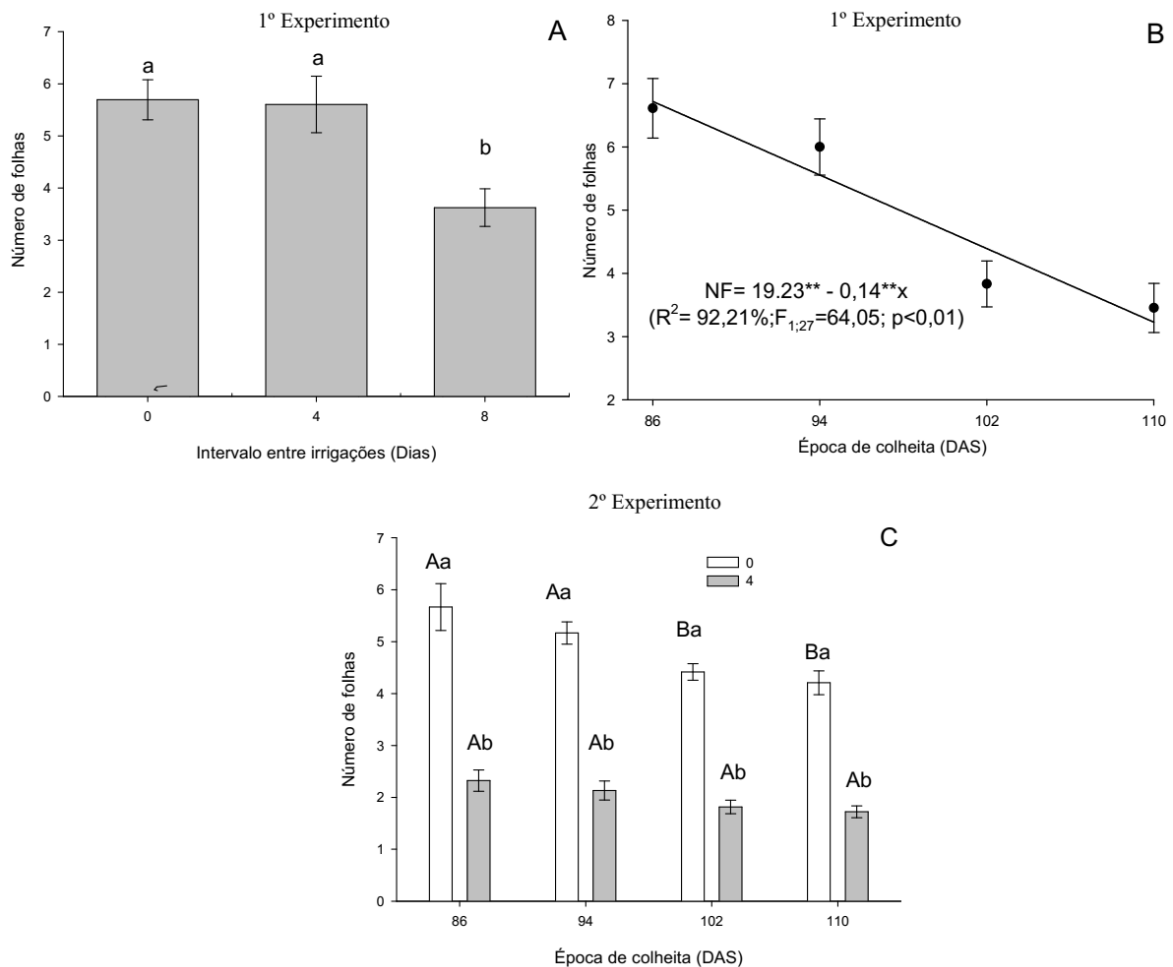


Figura 2 - Número de folhas (NF) de plantas de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigações (A); época de colheita (B) e interação entre os fatores (C).

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento, respectivamente. Mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) para época de colheita e minúsculas para o intervalo entre irrigações pelo teste de Scott-Knott (5%). Plantas irrigadas a cada 8 dias no 2º experimento não apresentarem folhas com no mínimo 50% da sua área fotossinteticamente ativa, não sendo contabilizada.

Para a MFC pode-se observar que aos 86 DAS no 1 e 2º Experimento (Figura 3A e B) que plantas irrigadas a cada 8 dias, apresentaram médias inferiores aos demais tratamentos, diferindo estatisticamente.

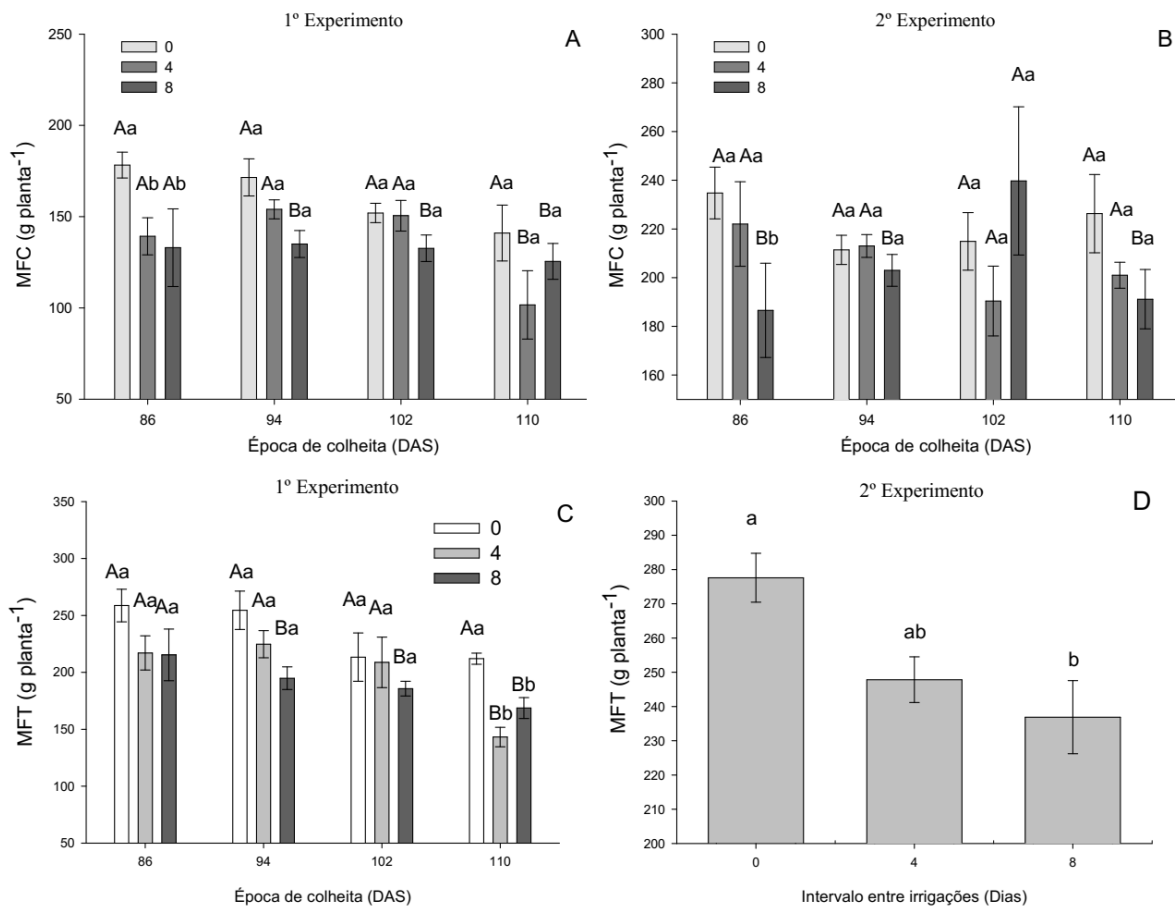


Figura 3 - Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob a matéria fresca de caule (MFC) (A/B) de plantas de sorgo sacarino em dois experimentos. Efeito da interação entre fatores sob a matéria fresca total no 1º experimento (C) e do intervalo entre irrigação no 2º experimento (D).

<sup>1,2</sup> Primeiro e segundo experimento, respectivamente. Mesmas letras maiúsculas não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) para época de colheita e minúsculas para o intervalo entre irrigações pelo teste de Scott-Knott (5%).

A matéria fresca total (MFT) no 1º Experimento (Figura 3C), apresentou somente aos 110 DAS, diferença significativa entre os três intervalos de irrigação, onde as plantas submetidas a déficit apresentaram valores inferiores. No 2º Experimento o efeito significativo obtido foi para o intervalo entre irrigação ( $F_{2,27}=5,85$ ;  $p < 0,05$ ) em que o aumento do intervalo entre irrigações reduziu em até 14,7% a MFT sob o intervalo de 8 dias entre irrigações (Figura 3D).

Variáveis como a área foliar ( $AF^{1,2}$ ), matéria fresca de folha ( $MFF^{1,2}$ ), matéria fresca de panícula ( $MFP^{1,2}$ ), matéria seca de caule ( $MSC^1$ ), de folha ( $MSF^{1,2}$ ), de panícula ( $MSP^{1,2}$ ) e total ( $MST^{1,2}$ ) não atenderam a pelo menos um dos pressupostos de normalidade ou homogeneidade, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares pelo teste de Dunn (5%).

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento, respectivamente.

A área foliar (AF) (Tabela 7) em ambos os experimentos obteve comportamento semelhante ao NF, apresentando redução significativa nos valores observados com o aumento do intervalo entre irrigações e quando a colheita foi realizada mais distante do início do estágio reprodutivo. Entretanto nota-se que no 2º experimento a reposição de água a cada 4 dias não foi suficiente pra manutenção das folhas, diferente do observado no 1º experimento, obtendo um valor equivalente a 72,4% inferior a testemunha (L0).

Tabela 7 – Área foliar (AF), matéria fresca de folha (MFF) e de panícula (MFP) de plantas de sorgo sacarino (variedade BRS 511) submetido a diferentes intervalos entre irrigações no estágio reprodutivo e épocas de colheita.

Fator	Trat	AF <sup>1</sup>		AF <sup>2</sup>		MFF <sup>1</sup>		MFF <sup>2</sup>		MFP <sup>1</sup>		MFP <sup>2</sup>	
		cm <sup>2</sup>				g planta <sup>-1</sup>							
Irrigações (I)	0	1325,6	a	1313,8	a	46,54	a	40,27	a	27,88	a	15,47	a
	4	1243,1	a	362,4	b	40,87	ab	28,12	b	21,18	a	13,09	a
	8	683,6	b	0*	c	33,15	b	22,93	c	25,96	a	8,83	b
p-valor		<0,001		<0,001		<0,01		<0,001		0,073		<0,001	
Colheita (C)	86	1525,24	a	623,01	a	51,53	a	34,83	a	28,64	ab	12,36	a
	94	1397,88	a	617,48	a	40,69	a	31,77	a	30,50	a	12,09	a
	102	729,41	b	524,26	a	30,50	c	28,26	a	21,39	b	14,56	a
	110	683,97	b	470,14	a	38,03	b	26,92	a	19,50	c	10,85	a
p-valor		<0,001		0,758		<0,001		0,244		<0,05		0,585	
CV <sup>1</sup> (%)		17,27		22,77		9,95		12,03		32,25		23,04	
CV <sup>C</sup> (%)		24,64		11,31		19,84		17,65		30,6		27,29	

Trat.: Tratamento; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) pelo teste não paramétrico de Dunn (5%).

<sup>1,2</sup> Primeiro e segundo experimento, respectivamente; \*Plantas irrigadas a cada 8 dias não apresentarem folhas com no mínimo 50% da sua área fotossinteticamente ativa, não sendo contabilizada.

Em condições de déficit hídrico a MFF apresentou redução nos seus valores de acordo o aumento do intervalo entre irrigações, sendo observada maior redução sob o intervalo L8 (1º experimento = 28,8% e 2º experimento = 43,1%), quando comparadas com as plantas sem estresse (L0). Com relação a época de colheita nota-se diferença significativa no 1º experimento, sendo observado aos 86 DAS um valor 68,95% superior ao menor valor observado (102 DAS = 30,5 g planta<sup>-1</sup>).

Quanto a massa fresca de panícula, nota-se que no 1º experimento que os valores médios variaram de acordo com a época de colheita, apresentando menor valor aos 110 DAS (19,5 g), o que corresponde a uma redução de 36,1% se comparada ao máximo valor observado (94 DAS = 30,5 g planta<sup>-1</sup>). No 2º experimento o efeito significativo foi do intervalo entre irrigações, onde a irrigação com intervalos de 8 dias apresentou diferença

significativa aos demais intervalos, redução esta de até 42,9%, quando comparado com o maior valor observado (L0= 15,47 g).

A matéria seca de caule (Tabela 8) apresentou efeito significativo no 1º experimento quanto a época de colheita, sendo observada variação de até 30,8% (Equivalente a 10,39 g) entre o maior (44,11 g planta<sup>-1</sup>) e o menor (33,72 g planta<sup>-1</sup>) valor observado. No 2º experimento a diferença significativa foi entre os intervalos entre irrigação, apresentando maior média sob L0 (40,1 g planta<sup>-1</sup>).

Tabela 8 – Matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF), de panícula (MSP) e total (MST) de plantas sorgo sacarino (variedade BRS 511) submetido a diferentes intervalos entre irrigações no estádio reprodutivo e épocas de colheita.

Fator	Trat	g planta <sup>-1</sup>							
		MSC <sup>1</sup>	MSC <sup>2</sup>	MSF <sup>1</sup>	MSF <sup>2</sup>	MSP <sup>1</sup>	MSP <sup>2</sup>	MST <sup>1</sup>	MST <sup>2</sup>
Irrigação (I)	0	39,6 a	40,1 a	19 a	17,1 a	16,4 a	10,5 a	74,9 a	67,7 a
	4	37,7 a	36,7 b	19,7 a	15,5 b	12,4 a	9,1 a	69,9 a	61,3 b
	8	37,4 a	35,2 b	19,4 a	16,9 a	15,6 a	6,5 b	72,4 a	58,6 b
p-valor		0,696	<0,05	0,958	<0,01	0,352	<0,05	0,606	<0,01
Colheita (C)	86	35,1 c	38,4 a	23,6 a	16,6 a	19,3 a	5,9 b	78,1 a	60,9 a
	94	40,1 b	37,9 a	17,3 b	17,4 a	23,6 a	6,5 b	81,1 a	61,7 a
	102	33,7 c	36,2 a	15,1 b	15,4 a	8,6 b	9,7 a	57,4 b	61,8 a
	110	44,1 a	36,8 a	21,3 a	16,9 a	7,8 b	12,5 a	73,2 a	65,6 a
p-valor		<0,001	0,671	<0,001	0,328	<0,001	<0,001	<0,001	0,676
CV <sup>E</sup> (%)		11,01	10,32	23,5	17,37	40,12	27,77	13,61	9,87
CV <sup>C</sup> (%)		16,43	13,19	19,43	20,94	33,13	32,03	12,02	12,91

Trat.: Tratamento; <sup>1,2</sup> Primeiro e segundo experimento, respectivamente; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (p>0,05) pelo teste não paramétrico de Dunn (5%).

Para a MSF houve efeito significativo no 1º experimento quanto época de colheita, sendo observado um incremento de 57,1% quando realizada a colheita aos 94 DAS. No 2º experimento observa-se efeito significativo do aumento do intervalo entre irrigações, provocando redução de até 9,2% nos valores obtidos.

Comportamento semelhante a MSC do 1º experimento, foi observado para MSP, onde maiores valores foram observados em L0, sendo que este aumento correspondeu respectivamente a 31,5 e 62,6%, quando comparados aos menores valores observados. Quanto a época de colheita nota-se comportamento distinto entre os experimentos, onde no 1º experimento maiores valores foram obtidos aos 86 e 94 DAS, variando até 202,3%. No 2º experimento os maiores valores foram obtidos aos 102 e 110 DAS, apresentando variação 111,95%.

Para MST nota-se que em ambos os experimentos a realização da irrigação diariamente proporcionou maiores valores, chegando a proporcionar incremento de até 15,48%. Quanto a época de colheita nota-se maiores médias quando realizada próximo o início do estágio reprodutivo, valores este até 41,2% superior.

### ***Sólidos solúveis totais e produção estimada de etanol***

Observa-se na Tabela 9 o efeito significativo da interação ( $F_{6;27}=7,49$ ;  $p \leq 0,001$ ) entre fatores sob os sólidos solúveis totais (SST) no 2º experimento. Quanto a produção de etanol no 2º Experimento (Figura 6B) houve efeito significativo apenas quanto ao intervalo entre irrigação ( $F_{2;27}= 42,92$ ;  $p < 0,001$ ). No 1º experimento a significância obtida foi tanto do intervalo entre irrigações ( $F_{2;27}=5,21$ ;  $p < 0,05$ ) como da época de colheita ( $F_{3;27}=3,99$ ;  $p < 0,05$ )

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para o massa seca de caule (MSC), sólidos solúveis totais (SST) e produção estimada de etanol (Etanol) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	SST <sup>1</sup>	SST <sup>2</sup>	Etanol <sup>1</sup>	Etanol <sup>2</sup>
		Quadrados médios			
Bloco	3	7,84 <sup>NS</sup>	4,91 <sup>NS</sup>	3,7 <sup>NS</sup>	5,44 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	0,15 <sup>NS</sup>	36,06*	28,79*	180,53**
Erro 1	6	4,25	3,96	5,33	4,66
Colheita (C)	3	2,51 <sup>NS</sup>	1,79 <sup>NS</sup>	75,01*	6,16 <sup>NS</sup>
I x C	6	5,28 <sup>NS</sup>	24,93**	24,22 <sup>NS</sup>	23,88 <sup>NS</sup>
Erro 2	27	4,41	3,32	18,48	7,72
Total	47	-	-	-	-
CV (I)	%	10,52	13,62	11,44	11,77
CV (C)		10,71	12,47	21,31	15,16

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente; F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste de Scott-Knott..

Observa-se na Figura 4A o efeito significativo da interação entre fatores sob os sólidos solúveis totais (SST) no 2º experimento, onde a realização de irrigação a cada 8 dias, reduziu os valores observados em todas as colheitas. Analisando o intervalo entre irrigações em cada colheita, nota-se que não houve variação significativa no L0 (15,8° Brix) e L4 (15,1° Brix), exceto no L8 onde aos 110 DAS as plantas obtiveram menor valor (10,3° Brix).

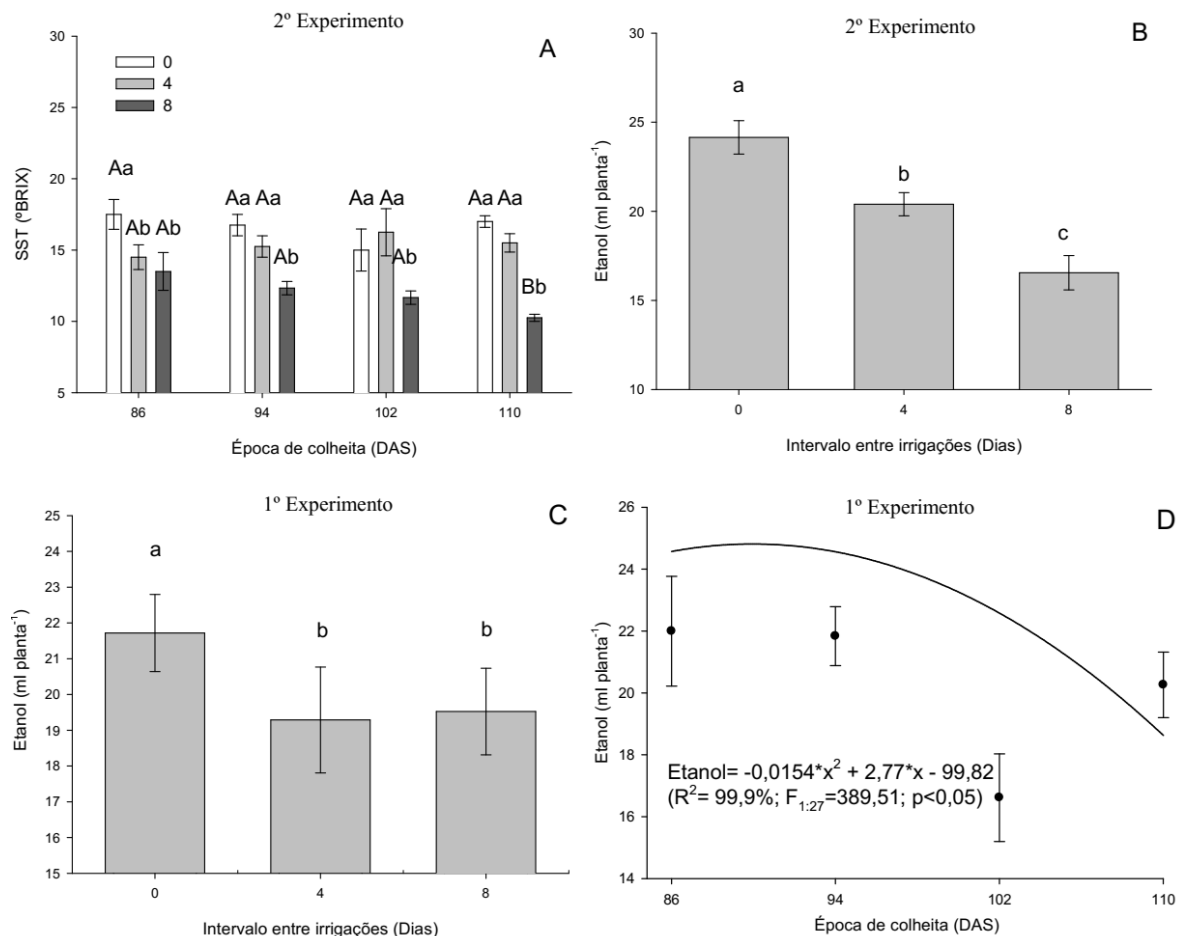


Figura 4 - Desdobramento do intervalo entre irrigações vs época de colheita sob o °Brix (A) no 2º Experimento, a produção estimada de etanol no 2º e 1º Experimento sob efeito isolado do intervalo entre irrigações (B e C) e da época de colheita (D) de plantas de sorgo sacarino.

Mesmas letras maiúsculas não diferem significamente ( $p > 0,05$ ) entre épocas de colheitas e minúsculas sob o intervalo entre irrigações pelo teste de Scott-Knott (5%).

Quanto a produção de etanol no 2º experimento (Figura 4B), nota-se redução nos valores obtidos com o aumento do intervalo, diferença essa equivalente a 31,5% ( $\neq 7,6$  ml). No 1º experimento, pode-se notar redução nos valores observados com o aumento do intervalo entre irrigação (Figura 4C), com redução de até 11,2% quando comparada com L0 (21,7 ml planta<sup>-1</sup>). Com relação à época de colheita (Figura 4D), a equação de regressão se ajustou ao modelo quadrático ( $p < 0,05$ ), apresentando ponto máximo aos 90 DAS e uma produção de etanol de 22,4 ml planta<sup>-1</sup>, seguindo de uma redução de 24,2% (110 DAS).

### Partição de massa fresca e seca

A partição de massa fresca e seca de folha, caule e panícula não atenderam a pelo menos um dos pressupostos de normalidade ou homogeneidade, em ambos experimentos, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares pelo teste de Dunn (5%).

Quanto a partição (%) de matéria fresca das estruturas (colmo, folha e panícula) que compõe a parte aérea do sorgo sacarino, observa-se na tabela 10 que o aumento do intervalo entre irrigações afetou positivamente a MFC em ambos os experimentos, com menores médias obtidas em plantas conduzidas com irrigação contínua (66,47<sup>1°</sup> e 79,94<sup>2°</sup>%), diferindo estatisticamente das demais (p<0,05).

Resposta diferente foi observada para MFF, onde o aumento do intervalo entre irrigação reduziu o valores observados, apresentando uma diferença percentual 23,4% no primeiro experimento e de 32,3 % no segundo experimento. Para MFP houve diferença significativa somente (p<0,05) somente no segundo experimento, obtendo menor valor (3,76%) com aplicação de água a cada 8 dias.

Tabela 10 - Partição (%) de matéria fresca de caule (MFC), de folha (MFF) e de panícula (MFP) de plantas de sorgo sacarino cultivadas em dois experimentos, irrigado com diferentes intervalos de irrigação durante o estágio reprodutivo e realizada a colheita em diferentes épocas após a semeadura.

Fator	Trat.	MFC <sup>1</sup> MFF <sup>1</sup> MFP <sup>1</sup> MFC <sup>2</sup> MFF <sup>2</sup> MFP <sup>2</sup>											
		(%)											
Irrigação (I)	0	66,47	b	21,12	a	12,41	a	79,94	c	14,50	a	5,57	a
	4	68,84	ab	20,48	a	10,68	a	83,32	b	11,40	b	5,28	a
	8	70,98	a	16,17	b	12,85	a	86,39	a	9,85	b	3,76	b
	p-valor	<0,05		<0,001		0,222		<0,001		<0,001		<0,001	
Colheita (C)	86	64,68	b	22,74	a	12,58	a	82,02	a	13,20	a	4,79	a
	94	68,51	ab	18,02	b	13,47	a	82,84	a	12,42	ab	4,74	a
	102	70,51	a	17,40	b	12,09	a	83,28	a	11,13	ab	5,59	a
	110	71,35	a	18,88	b	9,77	a	84,73	a	10,92	b	4,35	a
p-valor	<0,01**		0,001*		0,066*		0,364**		<0,05*		0,796**		
CV <sup>E</sup> (%)		4,14		9,36		27,47		3,28		16,2		24,6	
CV <sup>C</sup> (%)		5,39		15,99		27,79		2,59		16,84		25,09	

Trat.: Tratamento; <sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento, respectivamente; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Dunn (5%).

Com relação a época de colheita a porcentagem de MFC em relação a MFT apresentou aumento nos dois experimentos, sendo observado maior valor aos 110 DAS

(71,35<sup>1</sup>% e 84,73<sup>2</sup>%). Diferente resposta foi observada para a MSF que apresentou redução dos valores (23,48<sup>1</sup> e 17,27<sup>2</sup>%), com a realização da colheita em épocas mais tardias. Quanto a MFP a época de colheita não apresentou diferença significativa ( $p>0,05$ ).

Para a partição de matéria seca (Tabela 11) o aumento do intervalo entre irrigações afetou significativamente ( $p<0,05$ ) somente a MSF no 2º experimento, com maior valor obtido com irrigações realizadas a cada 8 dias (28,04%), valor este 9,05% superior ao menor valor observado.

Com relação a colheita em diferentes épocas, houve efeito significativo ( $p<0,001$ ) para a MSC em ambos os experimentos. Entretanto o comportamento observado foi distinto entre os experimentos, com maior partição aos 110 dias (59,94%) no primeiro experimento e aos 86 dias (63,08%) no segundo experimento. Essas partições observadas representam respectivamente um aumento de 32,14 e 14,44% com relação aos menos valores observados (45,36<sup>1</sup> e 55,12<sup>2</sup>%).

Tabela 11 - Partição (%) de matéria seca de caule (MSC), de folha (MSF) e de panícula (MSP) de plantas de sorgo sacarino cultivadas em dois experimentos, irrigadas com diferentes intervalos de irrigação durante o estágio reprodutivo e realizada a colheita em diferentes épocas após a semeadura.

Fator	Trat.	%											
		MSC <sup>1</sup>		MSF <sup>1</sup>		MSP <sup>1</sup>		MSC <sup>2</sup>		MSF <sup>2</sup>		MSP <sup>2</sup>	
Irrigação (I)	0	52,97	a	25,79	a	21,24	a	59,25	a	25,53	b	15,22	a
	4	55,20	a	27,69	a	17,11	a	59,98	a	25,50	b	14,52	a
	8	52,65	a	26,83	a	20,52	a	61,01	a	28,04	a	10,96	a
p-valor		0,224		<0,98		0,429		0,908		<0,01		0,086	
Colheita (C)	86	45,36	b	30,21	a	24,43	a	63,08	a	27,13	a	9,79	b
	94	49,82	b	21,54	b	28,64	a	61,21	a	28,40	a	10,39	b
	102	59,30	a	25,99	a	14,70	b	60,91	b	23,84	a	15,25	a
	110	59,94	a	29,34	a	10,72	b	55,12	b	26,04	a	18,83	a
p-valor		<0,001		<0,001		<0,001		<0,001		0,143		<0,001	
CV <sup>E</sup> (%)		13,42		13,97		26,98		9,34		16,11		20,44	
CV <sup>C</sup> (%)		10,12		13,52		25,52		9,76		20,98		24,26	

Trat.: Tratamento; <sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento, respectivamente; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste não paramétrico de Dunn (5%).

A MSF obteve comportamento similar a massa fresca, com redução na partição quando a colheita foi realizada mais próximo ao fim do experimento da cultura, diferindo estatisticamente ( $p<0,05$ ). Diferença no comportamento entre os experimentos também foi observado para a MSP, entretanto diferente da MSC, no primeiro experimento houve redução na partição de massa na panícula, atingindo menor valor aos 110 DAS (10,72%). No segundo



experimento a menor partição foi observada aos 86 DAS (9,79%) e máximo valor aos 102 DAS (18,83%).

## **Discussão**

O aumento do intervalo entre irrigações e a realização tardia da colheita, reduziu a produção de biomassa (fresca e seca), a qualidade de caldo e o rendimento de etanol do sorgo sacarino. Diferente do que é dito sobre a tolerância da cultura à seca por muitos autores, dependendo da intensidade do déficit hídrico, há redução significativa no rendimento da cultura, refletindo negativamente na produção de etanol.

Após o sorgo sacarino atingir sua maturidade fisiológica (máxima produção de biomassa e concentração de açúcar), a cultura passa à apresentar redução de biomassa fresca, em virtude da desidratação natural da planta e consumo de biomassa seca (TEIXEIRA et al., 2017). Essa redução pode ser mais acentuada quando a planta se encontra em condições de baixa disponibilidade hídrica e elevada temperatura, o que provoca a ativação de alguns processos fisiológicos e morfológicos que passam a acontecer como medida de proteção.

Durante o estágio vegetativo os fotoassimilados produzidos nas folhas são armazenados no colmo. Com o início da floração ocorre mudança no sentido desse fluxo, onde os açúcares produzidos passam a ser transportados e armazenados nas sementes (DALLA MARTA et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2017). A perda de biomassa do colmo pode ser intensificada devido o transporte e armazenamento de reservas para os órgãos de propagação (sementes) (BORRELL et al, 2000). Ainda segundo os autores, a maior parte (80%) do aumento no crescimento da panícula ocorre durante a segunda metade do enchimento das sementes, dependendo da cultivar utilizada, parte dessas reservas, podem ser mobilizadas do colmo. No entanto, até os 110 DAS não foi observada redução na MSC<sup>1</sup>, indicando que o crescimento da panícula até esse período foi amplamente dependente da produção de fotoassimilados.

Quanto a matéria fresca e seca de panícula nota-se que época de colheita afetou negativamente o acúmulo de biomassa. O sorgo sacarino é uma cultura selecionada para acumulação de açúcares no colmo, o uso de uma variedade com baixo acúmulo no colmo e elevada produção de sementes, tende a reduzir o rendimento e qualidade de caldo, em virtude da mobilização de fotoassimilados para as sementes (BORRELL et al., 2000; MAY et al.,

---

<sup>1</sup> Primeiro experimento

2012; DALLA MARTA et al., 2014). Essa redução refletiria em menor rendimento de etanol por tonelada de caule processado, já que o etanol vem da fermentação do açúcar (TEIXEIRA et al., 2017).

A severidade do nível de estresse hídrico durante o estágio reprodutivo deve ser atentamente acompanhada. Quando a planta de sorgo sacarino se encontra num nível elevado de deficiência hídrica, o colmo tem a tendência de perder umidade, ficando com um aspecto esponjoso. Como a planta de sorgo sacarino possui porte alto (>3,0m), o excesso de grãos nas panículas, no ápice das plantas, tende a favorecer o acamamento (MAY et al., 2012). O elevado índice de acamamento é um importante parâmetro a ser levada em consideração, tanto com relação a escolha do genótipo como do manejo hídrico da cultura, pois além de dificultar a colheita, pode provocar perdas na produção de biomassa e na qualidade de caldo (BIONDO et al., 2019; PEREIRA FILHO et al., 2013).

Quanto a partição de biomassa fresca de caule em relação a biomassa total, nota-se que o aumento do intervalo entre irrigações interferiu positivamente, obtendo valores de até 70,98 e 86,39%, respectivamente no 1 e 2º experimento. Resultados semelhantes foram observados por Xie e Su (2012) que obtiveram elevada partição de biomassa fresca no caule (83,1%) em plantas de sorgo sacarino em condições de baixa disponibilidade de água (CC= 50±5% e Umidade = 11,6±1%).

Os resultados demonstraram que em geral, o melhor momento para a colheita de sorgo sacarino é aos 86 DAS. Tanto em termos de apresentar elevado teor de sólidos solúveis como produção de biomassa (DALLA MARTA et al., 2014; WANG et al., 2011). Esses resultados corroboram com os obtidos por Lessa et al. (2018), que ao avaliar a produção de etanol de cultivares de sorgo sacarino, não observou muita variação na qualidade de caldo entre 90 e 110 DAS, possibilitando a colheita antecipada da cultura.

O teor de sólidos solúveis (°Brix) do sorgo sacarino é um importante parâmetro a ser analisada na cultura do sorgo sacarino. Pois além de poder ser realizado ainda no campo com auxílio de um refratômetro, seu resultado está positivamente relacionado ao teor de açúcar do caldo (BIONDO et al., 2019; GUIGOU et al., 2011; KAWAHIGASHI et al., 2013).

A realização tardia da colheita pode causar perdas significativas a produção de etanol, pois além da redução dos valores de °Brix e no conteúdo de açúcares, ocorre o aumento do teor de amido (ZEGADA-LIZARAZU e MONTI, 2012). O amido é um açúcar indesejável para a indústria de etanol (SILVA et al., 2016), por não ser fermentável é

necessária a adição de enzimas, objetivando a hidrólise deste polissacarídeo a açúcares fermentáveis (FERREIRA, 2015).

Segundo Dalla Mata et al. (2014) é inviável a manutenção da cultura do sorgo sacarino após o florescimento, pois a partir deste estágio a produção de açúcares é direcionada para enchimento dos grãos. O acúmulo de biomassa no colmo biomassa é suspenso e pode ocorrer redução no teor de açúcares que foram acumulados durante o estágio vegetativo, inviabilizando a manutenção da cultura em campo. Ainda segundo os autores, tendo como foco a produção de etanol através do caldo, o prolongamento do período de cultivo não é justificada do ponto de vista de gestão sustentável dos recursos hídrico.

Quanto ao rendimento do etanol, nota-se redução com o aumento do intervalo entre irrigações. Vasilakoglou et al. (2011) ao reduzir 20% (90 mm) do volume de água aplicado no sorgo sacarino, observou uma diminuição de 41% no rendimento teórico de etanol, devido a redução na produção de biomassa, caldo e açúcar total. Segundo os autores essa redução pode ser atribuída ao conteúdo reduzido de clorofila, rendimento quântico do fotossistema II, fechamento estomático e diminuição relação K/Na da folha de sorgo. Em condições de baixa disponibilidade hídrica o sorgo sacarino é considerado como uma boa alternativa para produção de etanol, quando comparado com outras culturas com potencial bioenergético (SCHITTENHELM e SCHROETTER, 2014; MAW et al., 2017).

Destá forma, verifica-se que apesar da cultura do sorgo sacarino necessitar de menor volume de água durante seu ciclo e apresentar maior resistência ao déficit hídrico, quando comparado com outras culturas utilizadas para produção de biomassa e etanol, o aumento do intervalo entre irrigações, além de reduzir significamente a produção de biomassa de sorgo sacarino, afeta diretamente o teor de sólidos solúveis totais e a produção estimada de etanol. Ressalta-se ainda que, devido ocorrer redução na produção de biomassa e qualidade do caldo após os 86 DAS, independente do manejo de irrigação, é recomendado a antecipação da colheita, objetivando uma maior produção de etanol.

## **Conclusões**

O aumento do intervalo entre irrigações intensifica a perda de biomassa do sorgo sacarino ao longo do tempo.

Ocorre redução do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) e da produção de etanol com a realização da reposição de água no solo a cada 4 e 8 dias.

A época ideal para realização da colheita da cultivar BRS 511 de sorgo sacarino visando a produção de fitomassa e de etanol é aos 86 DAS.

## 5 PARÂMETROS TECNOLÓGICOS DO SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE COLHEITA E SOB RESTRIÇÃO HÍDRICA

### RESUMO

A realização da colheita no ponto ideal é de extrema importância no cultivo de sorgo sacarino, pois o uso de matéria-prima de qualidade pode interferir significativamente na produção de etanol. Sob condições de déficit hídrico pode haver variação na época de colheita e na qualidade final da matéria-prima, variando em função da intensidade e do estágio de ocorrência. Desta forma objetivou-se com este trabalho, avaliar a qualidade tecnológica e o teor foliar de macronutrientes em plantas de sorgo sacarino cv. BRS 511 em resposta ao déficit hídrico durante o estágio reprodutivo. Durante a condução do experimento as plantas foram submetidas a diferentes intervalos entre irrigações (irrigação constante, irrigação a cada 4 e 8 dias) e foram realizadas quatro colheitas, em cada uma foi avaliado: o índice de maturação, teor de sólidos solúveis totais, taxa de extração, volume e peso de caldo, além do teor foliar de macronutrientes. O delineamento experimental utilizado foi o delineamento em blocos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. Os dados foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis (5%) quando não normais e análise de variância com teste de Scott-Knott (5%) e regressão para os dados normais. A realização da colheita aos 102 após a semeadura apresentou um maior volume (82,52 ml planta<sup>-1</sup>) e eficiência na extração de caldo (40,26%). A aplicação da irrigação a cada 8 dias provocou respectivamente redução de até 26,4 e 29,2% no teor foliar de nitrogênio e fósforo. O aumento do intervalo entre irrigação reduz a qualidade tecnológica e teor macronutriente em plantas de sorgo sacarino.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Índice de maturação, Manejo de irrigação. Nutriente essenciais. Qualidade tecnológica.

## ABSTRACT

Harvesting at the ideal point is extremely important in the cultivation of sweet sorghum, as the use of quality raw material can significantly interfere with the production of ethanol. Under conditions of water deficit, there may be variation in the time of harvest and in the final quality of the raw material, varying according to the intensity and the stage of occurrence. Thus, the objective of this work was to evaluate the technological quality and the leaf content of macronutrients in sweet sorghum plants cv. BRS 511 in response to water deficit during the reproductive stage. During the conduction of the experiment, the plants were submitted to different intervals between irrigations (constant irrigation, irrigation every 4 and 8 days) and four harvests were carried out, in each one it was evaluated: the maturation index, total soluble solids content, rate of extraction, volume and weight of juice, besides the leaf content of macronutrients. The experimental design used was a randomized block design, in a split plot scheme with four replications. The data were submitted to the Kruskal-Wallis test (5%) when not normal and analysis of variance with the Scott-Knott test (5%) and regression to normal data. The harvest at 102 after sowing showed a greater volume (82.52 ml plant<sup>-1</sup>) and broth extraction efficiency (40.26%). The application of irrigation every 8 days caused a reduction of up to 26.4 and 29.2% in the leaf nitrogen and phosphorus content, respectively. The increase in the interval between irrigation reduces the technological quality and macronutrient content in sweet sorghum plants.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Maturation index, Irrigation management. Essential nutrients. Technological quality.

## Introdução

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tornou-se uma promissora matéria-prima para a produção de biocombustíveis, pois além de apresentar grande potencial de produção de biomassa, o caldo da cultura apresenta elevados níveis de açúcares, substrato essencial no processo de fermentação para produção de etanol (BIONDO et al., 2019; COLE et al. 2017; DALLA MARTA et al., 2014; HAN et al., 2012). Podendo ser cultivada com insumos reduzidos, a cultura apresenta boa capacidade de crescimento nas mais diversas condições ambientais (EKEFRE et al., 2017; KHALIL et al., 2015; SILVA et al., 2016a).

Apresentando ciclo curto e baixa demanda hídrica, seu cultivo pode ser feito na entressafra da cana-de-açúcar, possibilitando o aumento de matéria prima para produção de combustível durante esse período. Além disso, os equipamentos utilizados para a colheita, carregamento, transporte e beneficiamento são os mesmos utilizados na cultura da cana-de-açúcar (APPIAH-NKANSAH et al., 2019; LOURENÇO et al., 2007). Apesar da rusticidade, pouco se sabe sobre os efeitos do déficit hídrico, durante o estágio reprodutivo, pois no cultivo irrigado de cana-de-açúcar é comum a suspensão total ou aumento do intervalo entre irrigações durante a fase de maturação, com o objetivo reduzir a umidade do solo e aumentar a concentração de açúcares (CARR e KNOX, 2011; ARAUJO et al., 2016).

O entendimento sobre processo de maturação pode ser considerado um aspecto importante na cultura do sorgo sacarino, pois a maximização do retorno econômico da cultura ocorre quando atinge o maior nível de sacarose, definindo o ponto ideal para a colheita (CHONG et al., 2010). Segundo Cardozo e Sentelhas (2013) esse processo de amadurecimento não é considerado como sinônimo de envelhecimento ou maturidade do caule, mas é um processo natural de acumulação de sacarose como reserva para condições ambientais adversas.

Crusciol (2017) destaca que o manejo nutricional da cultura deve ser levado em consideração na obtenção de uma matéria-prima de qualidade. Ainda segundo o autor o processo de síntese, transporte, acúmulo e armazenamento de açúcar na planta envolve a participação de nutrientes chaves, sobretudo N, P, K, Mg, Zn e B. Todos estes elementos participam direta ou indiretamente na fotossíntese, ativação enzimática e transporte de carboidratos e, portanto, são os responsáveis pela produção de sacarose e açúcares redutores.

Entretanto, mesmo em condições normais de cultivo, essas concentrações diminuem significativamente, o que pode influenciar no volume e qualidade do caldo, e

consequentemente na produção final de etanol. Assim, o monitoramento da maturação, pode permitir a determinação da época em que a concentração de açúcares esteja próxima do nível ideal para conversão em etanol (FERNANDES et al., 2014).

A disponibilidade de água no solo também tem papel importante na absorção, translocação, acúmulo e utilização de nutrientes minerais pela planta. Quando ocorre durante o estágio vegetativo, ocorre redução no crescimento da planta, pois devido os espaços porosos do solo estar preenchido mais por ar, os íons tornam-se menos móveis, aumentando a tortuosidade e a força de retenção iônica pelos colóides do solo (FERREIRA et al., 2008).

Desta forma, o déficit hídrico controlado pode ser considerado como uma boa estratégia em áreas irrigadas, desde que não reduza a produção. Além de evitar o uso desnecessário de água, permite economizar energia e trabalho (OLIVEIRA et al., 2016; SIMÕES et al., 2018). A hipótese formulada é que sob déficit hídrico controlado, a cultura do sorgo sacarino apresenta maior concentração de açúcares, possibilitando a antecipação da colheita sem reduzir o rendimento de etanol.

Portanto, com base nas considerações feitas, o presente estudo avaliou o efeito da restrição hídrica durante a fase de maturação do sorgo sacarino, BRS 511, na qualidade de caldo e teor foliar de macronutrientes.

## **Material e métodos**

### ***Localização e caracterização da área experimental***

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte (IFCE). Localizado no extremo leste do Estado do Ceará e inserida no zoneamento do projeto de irrigação Jaguaribe Apodi, cujas coordenadas geográficas são 5° 06'38" de latitude Sul, 37° 52'21" de longitude a Oeste de Greenwich e altitude de 143 m.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen e Geiger é BSw'h', ou seja, semiárido com chuvas irregulares, apresentando duas estações climáticas bem definidas, uma quente com chuvas de verão-outono, sendo o trimestre março-maio o período mais chuvoso e o período julho-dezembro o mais seco (ALVARES et al., 2013).



### *Delineamento experimental e tratamentos*

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, com 4 blocos completos. Os tratamentos foram distribuídos em esquema de parcela subdividida no tempo 3 x 4, totalizando 12 tratamentos e 48 parcelas experimentais. As parcelas experimentais foram compostas por três plantas alocadas em um vaso (30 cm Ø) com capacidade para 18 litros. Os tratamentos testados foram: três manejos de irrigação durante o período reprodutivo e quatro diferentes épocas de colheita.

Para o tratamento manejo da irrigação ao longo da fase reprodutiva, adotou-se três intervalos entre irrigações para a cultura, tendo como referência a umidade do solo na capacidade de campo (Ucc). Assim, no nível de referência (L0), se manteve a umidade do solo a 70% da Ucc ao longo de todo o experimento, sendo a reposição da água feita diariamente. Os demais tratamentos (L4 e L8) corresponde a reposição de água até 80% da Ucc a cada 4 e 8 dias, respectivamente. A diferenciação do manejo da irrigação se teve início após da transição entre as fases vegetativas e reprodutivas (aproximadamente 62 DAS). Quanto a colheita esta foi realizada em 4 épocas (86, 94, 102 e 110 DAS).

### *Procedimento experimental*

O solo utilizado foi um Cambissolo Vermelho-amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2018), para fins de correção foi retirada uma amostra do tipo composta representando a camada de 0 a 0,20 m de profundidade de toda área e enviada ao Laboratório de Solo, Água e Tecido Vegetal (LABSAT) localizado no IFCE – campus Limoeiro do Norte. Como pode-se observar na Tabela 12, não foi necessário realizar correção do pH, sendo a análise utilizada somente para fins de correção da fertilidade.

Tabela 12 – Atributos químicos e físicos do solo utilizado no experimento da camada de 0 a 0,20 m. Limoeiro do Norte-CE, 2020.

Atributos Químicos													
----- cmolc dm <sup>-3</sup> -----						----- g kg <sup>-1</sup> -----		(%)	(H <sub>2</sub> O)	(dS m <sup>-1</sup> )			
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	C	M.O.	V	pH	C.E.	
95,3	20,9	1,12	26,4	-	-	143,7	143,7	10,2	17,03	100	7,6	1,34	
Atributos Físicos													
----- Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> ) -----				Classificação Textural				Capacidade de campo (%)					
Areia grossa		Areia fina		Silte	Argila								
246		233		251	258		Franco Argilo Arenoso			34			

H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> – Acidez potencial; SB – Soma de bases; CTC – Capacidade de troca catiônica; M.O – Matéria orgânica; V – Saturação por bases; C.E. – Condutividade elétrica.

Para enchimento dos vasos foi coletado solo na camada de 0-20 cm de profundidade. No preenchimento dos vasos colocou-se 15 kg de solo, ficando cerca de 4 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso, facilitando a irrigação e evitando o transbordamento da água durante as irrigações, que foram realizadas manualmente, utilizando-se proveta graduada (500 mL).

Antes da semeadura, foi realizada a adubação com N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando respectivamente ureia (45%) e superfostato simples (18%). Além da adubação da semeadura, realizou-se uma adubação de cobertura com N e K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio em pó – 60%) aos 21 DAS conforme recomendações de Aguiar et al. (2014). A adubação de cobertura foi realizada diluindo o adubo em 30 ml de água e sendo colocando ao lado das plantas após realizada a irrigação.

A semeadura foi realizada com a abertura de três covas e colocando-se 5 sementes por cova da cultivar de sorgo sacarino BRS 511 a uma profundidade de 1 cm. Dez dias após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste deixando-se a plântulas mais vigorosas de cada cova (totalizando três plantas vaso<sup>-1</sup>).

A água utilizada para irrigação foi proveniente do sistema de abastecimento da UEPE – IFCE campus Limoeiro do Norte. O suprimento de água para as plantas foi realizado com frequência de uma irrigação diária, até os 62 dias após a semeadura (DAS) para todas as parcelas experimentais, do 63º DAS até a colheita, foi adotada a frequência de acordo cada tratamento. Em cada irrigação, foi aplicado volume de água suficiente para elevar a umidade do solo até 70% da Ucc. Na tabela 13 observa-se a variação no teor de umidade em função do período sem irrigação.

Tabela 13 – Teor de umidade do solo observada de acordo os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino.

Intervalo entre irrigação (dias)	Teor de umidade (%)
0*	23,0 ±0,25
4	9,5 ±0,3
8	5,2 ±0,37

\*O valor obtido nesse tratamento corresponde a variação da umidade do solo no intervalo de 1 dia.

As colheitas foram realizadas na época correspondente a cada tratamento (86, 94, 102 e 110 DAS), sendo retiradas as três plantas de cada parcela experimental e feita a remoção da panícula e retirada das folhas, mantendo os colmos limpos. Pare realização da

análise nutricional a terceira folha de cada planta contando a partir do ápice foi separada.

### *Variáveis analisadas*

Para determinação do índice de maturação (IM) uma pequena fração do caldo foi extraída em quatro porções do colmo: base, intermediário inferior, intermediário superior e ponta do colmo (BARBOSA, 2015) e com o auxílio de um refratômetro portátil e com o valor do °Brix, foram calculados os índices de maturação pelas equações abaixo:

$$IM1 = \frac{\text{Brix}_{\text{inferior}}}{\text{Brix}_{\text{base}}} \quad (1)$$

$$IM2 = \frac{\text{Brix}_{\text{superior}}}{\text{Brix}_{\text{base}}} \quad (2)$$

$$IM3 = \frac{\text{Brix}_{\text{ponta}}}{\text{Brix}_{\text{base}}} \quad (3)$$

Em que:

IM1; IM2 e IM3 – índices de maturação para as diferentes porções do colmo;

Brix<sub>base</sub> - brix representativo da base do colmo, em °Brix;

Brix<sub>inferior</sub> - brix representativo da porção média inferior do colmo, em °Brix;

Brix<sub>superior</sub> - brix representativo da porção média superior do colmo, em °Brix;

Brix<sub>ponta</sub> - brix representativo da ponta do colmo, em °Brix.

Sendo considerada que a planta está em processo de maturação quando o IM2 apresentar valores entre 0,60 e 0,85, madura quando estiver entre 0,85 e 1,00 e em processo de declínio da sacarose quando obter valor superior a 1,00 (ROSSETO et al., 2007).

Após esse procedimento o caldo dos colmos foi extraído com o auxílio de uma moenda manual, e assim determinado: volume do caldo (VC); peso do caldo (PC); EfEcaldo = (M2/M1) x 100: obtido pela razão entre a massa de volume de caldo extraído (M2) e a massa de colmo utilizado na extração de caldo (M1); Fibra %: determinada pela obtenção do peso do bagaço úmido (PBU), logo após a prensagem e também o peso do bagaço seco (PBS) após ser seco em estufa com circulação forçada de ar e aplicado a método de Tanimoto (BARBOSA, 2015).

O caldo extraído foi colocado em frascos de plástico (200 ml) e armazenado em freezer a -20°C para posterior determinação dos sólidos solúveis totais – SST (°Brix): realizada em triplicada utilizando um refratômetro eletrônico, modelo Optronic Abbe

Refractometer, à temperatura de 28 °C e o resultado expresso em °Brix; Determinação do pH: avaliado utilizando pHmetro de bancada; Ácidez titulável (AT): foi medida por titulação do filtrado com NaOH 0,1 N padronizado seguindo a técnica potenciométrica (IAL, 2008), sendo os resultados expressos em porcentagem (%) de ácido cítrico; Relação SST/AT: obteve-se a relação SST/AT por meio da divisão do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) pelo percentual de acidez titulável (% ácido cítrico).

Para determinação do teor nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas, separou-se a 3ª folha de cada planta, contando a partir do ápice. O material vegetal amostrado foi lavado com água destilada e secado em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, até peso constante. Após a secagem as amostras foram pesadas, trituradas em moinho tipo Wiley, acondicionados em sacos de papel e devidamente identificados para determinação dos teores de macronutrientes. Os teores de N foram determinados em soluções obtidas de extratos preparados por digestão sulfúrica pelo método micro-Kjeldahl. Após a obtenção do extrato nitroperclórico, o teor de K foi determinado por fotometria de chama, os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica e o de P por colorimetria (MALAVOLTA et al., 1997). A quantidade dos nutrientes foi calculada pelo produto da matéria seca total versus o teor do nutriente, expressos em g Kg<sup>-1</sup>.

### *Análise estatística*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade, atendendo a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) pelo teste F (5%). Quando significativo foi aplicado o teste de Scott-Knott (5%) para os diferentes intervalos entre irrigação; análise de regressão para as diferentes épocas de colheita e Scott-Knott (5%) entre as interações.

As variáveis que não atenderam a pelo menos uma das pressuposições, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, quando significativo aplicou-se o teste de Dunn com comparações múltiplas por pares a um nível de significância a 5%.

### **Resultados**

A quantidade de água que as culturas consomem é necessária para o eficiente gerenciamento do manejo da irrigação (HANSAON; MAY, 2006). Desta forma, calculou-se a

quantidade demandada de água para cada tratamento em virtude da época de colheita (Tabela 14).

Tabela 14 – Demanda de água e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita.

Época de colheita	Volume de água aplicado	Lâmina de irrigação
	L vaso <sup>-1</sup>	mm ciclo <sup>-1</sup>
86	49,82	705,17
94	52,09	737,29
102	56,82	804,25
110	62,05	878,27

Variáveis como a o índice de maturação (IM1;IM 2 e IM3), acidez titulável (AT), volume de caldo (VCaldo), eficiência de extração de caldo (EfECaldo) e o teor foliar de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) não atenderam a pelo menos um dos pressupostos de normalidade ou homogeneidade, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares pelo teste de Dunn (5%).

Para o índice de maturação (IM) nota-se na tabela 15 o efeito significativo do intervalo entre irrigações ao se avaliar a porção média inferior (IM1), que o melhor resultado foi obtido em E0 = 0,93, diferindo estatisticamente das demais.

Comparando-se a porção média superior do colmo (IM2) nota-se que a época de colheita apresentou efeito significativo, com o menor valor sendo observado aos 86 DAS (0,91), valor este 42,4% inferior ao maior valor observado (110 DAS – 1,59). Para o VCaldo nota-se diferença significativa quanto a época de colheita, apresentando maior média aos aos 102 DAS, valor este até 25,61% superior aos demais observados. Comportamento semelhante foi obtido para EfECaldo onde se obteve uma taxa de 40,26% (102 DAS), resultado este 24,12% superior ao menor valor observado (30,55% - 86DAS).

Tabela 15 – Índice de maturação (IM1 - Inferior, IM 2 - IM Superior e 3 – Ponta), Acidez titulável (AT), Volume de caldo (Vcaldo) e Eficiência da extração de caldo (EfECaldo) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

Fator	Trat	IM1		IM2		IM3		AT		VCaldo		EfECaldo	
										ml planta <sup>-1</sup>			
				-				%				%	
Intervalo entre irrigações (I)	0	0,93	a	1,13	a	1,22	a	2,31	a	73,33	a	35,06	a
	4	0,91	ab	1,43	a	1,50	a	2,26	a	68,23	a	35,25	a
	8	0,72	b	1,05	a	1,28	a	2,19	a	67,62	a	34,38	a
	p-valor	<0,05		0,417		0,45		0,676		0,481		0,926	
Época de Colheita (E)	86	0,83	a	0,91	c	1,17	a	2,11	b	61,39	b	30,55	b
	94	0,80	a	1,05	c	1,23	a	2,10	b	67,22	b	34,31	b
	102	0,76	a	1,27	b	1,34	a	2,17	b	82,52	a	40,26	a
	110	1,02	a	1,58	a	1,59	a	2,62	a	67,78	b	34,46	b
p-valor	0,216		<0,001		0,58		<0,01		<0,05		<0,01		
CV <sup>I</sup> (%)	31,9		41,5		41,0		15,5		30,8		13,2		
CV <sup>E</sup> (%)	31,1		46,9		40,5		12,8		21,1		17,7		

Trat – Tratamento; Médias seguidas da mesma letra em uma coluna não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (5%), com comparações múltiplas por pares pelo teste de Dunn (5%).

Na tabela 16 observa-se que o teor de fibra (Fibra) não apresentou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para nenhum dos fatores isolados ou em interação. Os sólidos soluveis totais (SST) e a razão entre SST/AT apresentaram interação significativa ( $F_{6,27}=7,49$ ;  $p \leq 0,001$ /  $F_{6,27}=3,92$ ;  $p < 0,01$ ) entre os fatores.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para o teor de fibra (Fibra), sólidos solúveis totais (SST), razão entre sólidos solúveis totais e acidez titulável (SST/AT) e peso de caldo (PC) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	Fibra	SST	SST/AT	PC
		Quadrados médios			
Bloco	3	1,14 <sup>NS</sup>	4,91 <sup>NS</sup>	0,47 <sup>NS</sup>	216,15 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	1,44 <sup>NS</sup>	36,06*	5,07**	173,83 <sup>NS</sup>
Erro 1	6	0,79	3,96	0,38	444,38
Colheita (C)	3	0,77 <sup>NS</sup>	1,79 <sup>NS</sup>	7,81**	850,57*
I x C	6	0,93 <sup>NS</sup>	24,93**	1,35**	294,15 <sup>NS</sup>
Erro 2	27	0,76	3,32	0,34	234,39
Total	47	-	-	-	-
CV (I)	%	19,02	13,62	9,46	28,55
CV (C)		18,65	12,47	8,95	20,74

F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.

Os sólidos soluveis totais (°Brix) (Figura 5A) apresentaram menores valores sob um intervalo entre irrigações de 8 dias, sendo verificado uma variação de até 39,7% aos 110 DAS.

Em relação a razão entre SST/AT (Figura 5B) nota-se efeito significativa entre os fatores ( $F_{6,27}=3,92$ ;  $p<0,01$ ), onde com relação ao fator intervalo entre irrigações somente houve diferença a partir dos 94 DAS, com menor média em L8. Com relação a época de colheita nota-se que sob os intervalos L0 e L4, somente houve diferença aos 110 DAS. Resultado este bem diferente do obtido em L8, onde aos 94 DAS já observa menor razão.

Quanto ao peso de caldo (Figura 5C) observa-se efeito significativo ( $F_{3,27}= 3,63$ ,  $p<0,05$ ) isolado quanto a época de colheita. Aa equação de regressão se ajustou ao modelo quadrático, apresentando ponto máximo estimado aos 101 DAS (equivalente a  $83,9 \text{ g planta}^{-1}$ ) seguido de uma redução de 7,5% até os 110 DAS.

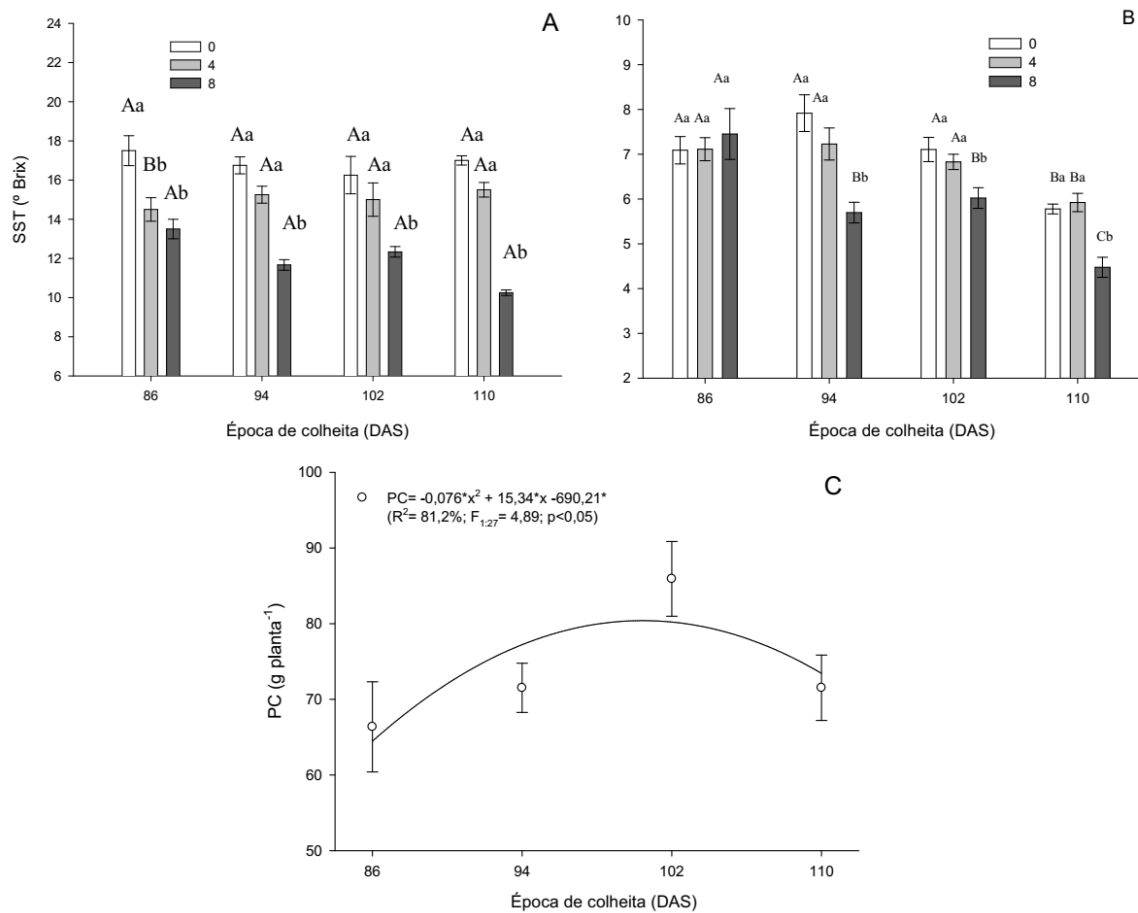


Figura 5 - Desdobramento do intervalo entre irrigação vs época de colheita sob os sólidos sóluveis totais (SST) (A) e razão entre SST/AT (B), e da época de colheita para o peso de caldo (PC) (C).

Mesmas letras maiúsculas não diferem entre épocas de colheitas e mesmas letras minúsculas não diferem ( $p > 0,05$ ) sob o intervalo entre irrigações significativamente pelo teste de Scott-Knott (5%).

### ***Teor foliar de macronutrientes***

Na tabela 17 observa-se que para o teor foliar de magnésio (Mg) não apresentou efeito significativo ( $p > 0,05$ ) para nenhum dos fatores isolados ou em interação. Para o teor de N houve efeito significativo quanto ao intervalo entre irrigação e para ( $F_{2;27} = 14,55$ ;  $p < 0,01$ ), Ca ( $F_{6;27} = 5,56$ ;  $p < 0,001$ ) e S ( $F_{6;27} = 3,96$ ;  $p < 0,01$ ) interação entre os fatores.



Tabela 17 - Resumo da análise de variância para o teor foliar de nitrogênio (N), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) de plantas de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	N	Ca	S	Mg
		g kg <sup>-1</sup> MSF			
Bloco	3	2,56 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	0,05 <sup>NS</sup>	12,71 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	57,39**	3,42**	0,29*	18,75 <sup>NS</sup>
Erro 1	6	3,94	0,28	0,02	10,47
Colheita (C)	3	13,25 <sup>NS</sup>	24,02**	0,31**	23,05 <sup>NS</sup>
I x C	6	10,19 <sup>NS</sup>	2,01**	0,06**	18,74 <sup>NS</sup>
Erro 2	27	5,75	0,35	0,01	9,6
Total	47	-	-	-	-
CV (I)	%	16,29	10,91	17,43	81,91
CV (C)		19,67	12,28	13,28	78,44

F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV – Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.

Na tabela 18, observa-se o efeito significativo ( $p < 0,05$ ) do intervalo entre irrigações para o teor de N e P, onde se observou, respectivamente, maiores médias sob L4 (14,22 e 2,74 g Kg<sup>-1</sup>), valores estes 16,4 e 29,3% superior aos menores valores observados.

Tabela 18 – Teor de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) em folhas de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigações e época de colheita.

Fator	Tratamento	N	P	K
		g kg <sup>-1</sup> MSF		
Intervalo entre irrigações (I)	0	10,46b	2,06b	14,42a
	4	14,22a	2,74a	14,07a
	8	11,89b	1,94b	15,50a
p-valor		<0,01*	<0,01**	0,776**
Época de colheita (C)	86	12,68a	1,68b	13,78b
	94	13,44a	2,35a	15,94a
	102	11,40a	2,42a	12,89b
	110	11,24a	2,55a	16,05a
p-valor		0,10*	<0,01**	<0,05**
CV <sup>I</sup> (%)		16,29	17,51	7,58
CV <sup>C</sup> (%)		19,67	18,80	11,03

\*,\*\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si ( $p > 0,05$ ), respectivamente pelo teste de Scott-Knott (5%) e de Dunn (5%).

Quanto a época de colheita nota-se que aos 86 DAS houve menor teor de P em plantas de sorgo sacarino, valor este 34% inferior ao máximo valor observado, 2,55 g Kg<sup>-1</sup> aos

110 DAS. Valor máximo também foi observado aos 110 DAS para o teor de K ( $16,05 \text{ g Kg}^{-1}$ ), valor este 14,2% superior ao obtido aos 86 DAS.

Na tabela 19, nota-se o efeito significativo da interação entre fatores para o teor de Ca e S. Onde analisando o efeito de cada época de colheita dentro de cada intervalo entre irrigação, para ambos nutrientes houve efeito significativo a partir dos 102 DAS.

Tabela 19 – Desdobramento da interação entre o intervalo entre irrigações vs época de colheita para o teor de Cálcio (Ca) e Enxofre (S) em folhas de sorgo sacarino.

Intervalo entre irrigações	Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ MSF)			
	Época de colheita (DAS)			
	86	94	102	110
0	2,46Ca	4,99Ba	6,84Aa	6,89Aa
4	3,15Ba	5,11Aa	5,78Ab	5,86Ab
8	2,87Ba	5,14Aa	4,65Ac	4,87Ac
Intervalo entre irrigações	S ( $\text{g kg}^{-1}$ MSF)			
	Época de colheita (DAS)			
	86	94	102	110
0	0,76Aa	0,96Aa	0,79Ab	0,82Ab
4	0,74Ba	1,10Aa	1,04Aa	1,29Aa
8	0,77Ba	1,11Aa	1,22Aa	1,27Aa

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ( $p > 0,05$ ), maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Scott-Knott (5%).

Quanto ao intervalo entre irrigações dentro de cada época de colheita, nota-se para o Ca, sob as três frequências de irrigação, que a menor concentração foi aos 86 DAS, diferindo estatisticamente das demais épocas de colheita, sendo observado diferença de até 64,3% sob irrigação constante. Para o teor de S, nota-se diferença significativa sob L4 e L8, com menores médias observadas aos 86 DAS, valores estes respectivamente 43,2 e 39,9% inferior ao máximo observado (110 DAS).

## Discussão

O aumento do intervalo entre irrigações e a realização tardia da colheita, provocou alteração na maturação de colmo e qualidade de caldo do sorgo sacarino. Durante o crescimento do sorgo sacarino boa parte dos fotoassimilados produzidos são direcionados para o desenvolvimento do colmo. Quando as taxas de crescimentos são reduzidas, os açúcares passam a se acumular principalmente na forma de sacarose, dando início ao processo

de maturação. Entretanto, vale reforçar que a determinação do °Brix de uma porção do colmo não indicará necessariamente a maturidade da planta, pois devido o processo de maturação se iniciar na parte basal da planta, prolongando-se por todo o colmo com o passar do tempo, pode haver variação dependendo do momento da análise (CARDOZO e SENTELHAS, 2013; CHONG et al., 2010).

O comportamento no estudo em questão, onde aos 86 DAS a cultura já apresentava uniformidade da concentração de SST entre a base e o terço médio superior do colmo, indicando a maturidade fisiológica ( $0,85 < IM < 1,00$ ). A partir dos 94 DAS, verifica-se o aumento do IM ( $> 1,00$ ), atingindo aos 110 DAS valor entre 1,02 a 1,59. Valores acima de 1,00 podem indicar início do processo de degradação da sacarose na base da planta, devido ao início ao processo de senescência. Esse comportamento já é esperado, haja vista que ao final do ciclo da cultura a sacarose tende a se acumular na extremidade superior do colmo, enquanto que na base, há redução no teor de SST devido a sua degradação (TAVARES et al., 2017). O índice de maturação é um bom indicador da uniformidade de maturação ao longo do colmo, possibilitando uma tomada de decisão mais precisa (BARBOSA et al., 2015).

Entender o processo de maturação torna-se uma importante prática na gestão da cultura do sorgo sacarino, pois para maximizar o retorno econômico, a colheita deve ser realizada no ponto mais elevado de sacarose (CHONG et al., 2010). Segundo Teixeira et al. (2017) ela corresponde ao período em que planta apresenta máximo rendimento de biomassa fresca e teor de açúcar no caule. Entretanto, em condições adversas, tanto a biomassa como o teor de açúcar podem variar, sendo necessário antecipar a colheita conforme observado no experimento (ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012; CARDOZO e SENTELHAS, 2013).

A respeito do volume de caldo, apesar do aumento do intervalo entre irrigações diminuir a disponibilidade de água do solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Comportamento diferente do obtido por Silva et al. (2016b), que observou redução de até 78,3% no volume de caldo de diferentes cultivares de sorgo sacarino com redução de 34,2% do teor de água no solo. Uma planta menos hidratada tende a apresentar menor quantidade de caldo, podendo até mesmo apresentar uma maior concentração de açúcares devido ao menor teor de água e não devido ao aumento nos açúcares (BATISTA et al., 2018).

Quanto a época de colheita, nota-se que o maior volume de caldo foi obtido aos 102 DAS, com posterior queda aos 110 DAS. Segundo Fiorini et al. (2016) durante o processo de senescência da planta ocorre uma intensa perda de água nos colmos, iniciando-se

na base para o ápice. A época de colheita é considerada como um fator importante da determinação da qualidade do caldo, pois se colhido em estágio avançado de maturação, há aumento do acúmulo de amido e redução no volume de caldo, reduzindo assim a qualidade. O período ideal para a colheita do sorgo em termos quantitativos e qualitativos para maximizar o rendimento, é no estágio pastoso (leitoso) dos grãos (ZEGADA-LIZARAZU; MONTI, 2012).

Quanto a eficiência de extração de caldo, pode-se notar que a extração próxima ao início da floração (86 DAS) apresentou o menor valor (30,55%) diante das demais épocas de colheita. Comportamento semelhante foi observado por Cole et al. (2017), que ao avaliarem a produção de diferentes cultivares de sorgo sacarino obteve uma eficiência do processo de extração de caldo variando entre 29 a 38%. Segundo os autores, a baixa eficiência no processo de extração do caldo pode ter sido em função da maturidade da cultura e até mesmo por fatores ambientais. Valores estes bem abaixo do obtido por Teixeira et al. (2017), que ao avaliarem a taxa de extração de caldo na variedade de sorgo sacarino BRS 511 observaram elevados valores até os 100 DAS (69%). Ainda segundo os autores, a extração de suco é uma das variáveis que influenciam substancialmente a exploração do potencial produtivo do sorgo doce, indicando em porcentagem, quanto de suco no caule pode ser extraído.

Para o teor de sólidos solúveis totais (°Brix), a partir dos 94 DAS a cultura apresentou menores valores sob um intervalo de 8 dias entre irrigação, sendo observado variação de até 30,3% entre o maior (17 °Brix) e o menor valor (10,3° Brix). Segundo Teixeira et al. (2017), após o florescimento, a variedade de sorgo sacarino BRS 511 apresenta um aumento expressivo nos SST, atingindo uma concentração de até 16,3 ° Brix aos 125 DAS. Após esse período a cultura apresentou redução de até 14,3%. A redução de SST no caldo durante o estágio reprodutivo está relacionada com o transporte e a conversão destes compostos, principalmente açúcares, em amido nos grãos como material de reserva e em material fibroso, sob a forma de celulose (GOMES, 2014; FERREIRA 2015). Esse comportamento é diferente do que geralmente ocorre em plantas sob déficit hídrico ou em estágio de senescência, pois devido apresentarem menor umidade há uma elevação no teor de SST (SILVA et al., 2016b; OLIVEIRA e BRAGA, 2019).

Sob um intervalo de quatro dias entre irrigações, observou-se que a partir dos 96 DAS houve aumento do teor de SST. Esses resultados podem estar relacionados com a ocorrência de períodos repetitivos de seca ao longo do experimento, o que pode ter condicionado à uma adaptação da planta, permitindo a manutenção no teor de SST nas colheitas seguintes (FERREIRA et al., 2002). O SST é um importante parâmetro a ser

utilizado para determinação da colheita da cultura pela indústria sucroenergética, pois além de ser facilmente medido, seu valor está positivamente relacionado ao teor de açúcar do caldo (BIONDO et al., 2019; GUIGOU et al., 2011; KAWAHIGASHI et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2017). Para a cultura do sorgo sacarino recomenda-se iniciar a avaliação do teor de SST após a antese, pois geralmente esse é o período que se inicia o processo de maturação (MARTINS et al., 2017; TEIXEIRA et al., 2017).

Segundo May et al. (2012), a determinação do ponto de maturação da cultura define o período de utilização industrial (PUI), sendo recomendado quando seu valor esteja acima de 14,5%, o que pode corresponder a uma concentração de açúcares redutores totais acima de 12,5% e extração de açúcar superior a 80 kg t<sup>-1</sup>, estando assim apto para a colheita. Entretanto, não necessariamente, este é o período mais adequado para colheita, além dos SST outros parâmetros devem ser considerados para se determinar a época de colheita, pois muitas vezes a obtenção de elevado valor pode ser em função de respostas fisiológicas da planta a condições de déficit hídrico, onde acarreta um menor teor de água na planta e maior concentração de açúcares (SOUZA et al., 2011; TEIXEIRA et al., 2017).

Os nutrientes têm funções essenciais e específicas no metabolismo das plantas. O suprimento adequado de água promovida pela irrigação e a ocorrência de elevadas temperaturas durante o ciclo da cultura, podem proporcionar aumento na atividade metabólica das folhas, concentrando neste componente os nutrientes mais móveis na planta (N, P e K) (OLIVEIRA et al., 2011). A maior concentração de N nas folhas de sorgo sacarino sob um intervalo de 4 dias entre irrigações, pode estar relacionado aos distúrbios provocados pela deficiência hídrica nos tecidos do floema, reduzindo a translocação para outros órgãos (OLIVEIRA et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2015). Já sob um intervalo maior entre irrigações (8 dias) nota-se que o comportamento foi inverso, com redução no teor foliar de N. Comportamento semelhante foi observado por Asgharipour e Heidari (2011) que ao manter a umidade do solo a 30% da Ucc observaram um aumento de 8,5% no teor de N foliar em plantas de sorgo.

A planta responde de diversas formas a baixa disponibilidade hídrica, visualmente observa-se menor crescimento dos colmos e folhas, seguido de senescência e redução da área foliar (INMAN-BAMBER et al., 2012). A ocorrência de senescência foliar em plantas sob deficiência hídrica pode estar relacionada com a remobilização de reservas para as folhas mais novas ou grãos em desenvolvimento (ASGHARIPOUR e HEIDARI, 2011; BIANCHI et al., 2016) e também associada como estratégia da planta em diminuir a superfície transpirante e o

gasto metabólico para manutenção dos tecidos (INMAN-BAMBER et al., 2008; TAIZ et al., 2017).

O teor nitrogênio foliar pode variar em função do estágio da planta. Estando no estágio reprodutivo é comum ver decréscimos nos teores foliares de N, devido a mobilização do nutriente para os grãos (FRANÇA et al., 2011). Entretanto, mesmo fornecido em quantidades adequadas, muitas atividades fisiológicas das plantas são reduzidas com o déficit hídrico (absorção de nutrientes, fotossíntese, transpiração, síntese de proteínas, etc), com ela a produção e consumo de energia (ATP) acaba sendo diretamente influenciado. O P é um dos principais constituintes da molécula de ATP, sua deficiência pode acarretar redução no crescimento da planta. Com a baixa demanda pela planta devido a redução nas atividades fisiológicas, o P tende a se acumular, até que a deficiência hídrica seja suprimida (TAIZ et al., 2017).

Já quanto a época de colheita, nota-se aumento do teor de P com a realização da colheita mais distante do início do estágio reprodutivo (61 DAS). Devido a planta se encontrar em estágio avançado de senescência, ocorre elevada deterioração celular e a demanda por energia (ATP) para manutenção dos processos fisiológicos reduzem, com isso o P assimilado do solo, tende a se acumular na planta (FLEXAS e MEDRANO, 2002).

Os macronutrientes secundários (Ca, Mg e S) também possuem um papel importante para os vegetais, entretanto quando a planta é exposta a baixa disponibilidade hídrica pode ocorrer alterações no teor foliar, tanto devido a baixa absorção, como mobilização para outros órgãos. O Ca, por exemplo, atua como mensageiro secundário nas plantas, quando expostas a condições ambientais adversas (TAIZ et al., 2017).

A concentração desses nutrientes pode não seguir um mesmo comportamento. Ferreira et al. (2008) ao avaliarem o teor de S em dois híbridos de milho encontraram respostas diferentes entre os materiais, em que com o aumento do intervalo entre irrigações de 1 para 7 dias, em um dos híbridos não houve diferença no teor de S nas folhas, mas no outro houve aumento do teor de S com o aumento do intervalo. Segundo Soares (2013) a quantidade acumulada de S pode variar de acordo com o material genético, sendo que em alguns híbridos de sorgo sacarino a concentração assemelha-se aos valores obtidos pelo sorgo forrageiro e granífero (FRANCO, 2011).

Desta forma, verifica-se que apesar da cultura do sorgo sacarino exigir menos água, quando comparado a outras culturas energéticas, o aumento do intervalo entre irrigações

durante o estágio reprodutivo além de não favorecer uma maturação uniforme do colmo, reduziu a concentração de SST do caldo e teor foliar de macronutrientes.

### **Conclusões**

O aumento do intervalo entre irrigações reduz o teor de sólidos solúveis totais do caldo de sorgo sacarino.

Aos 86 DAS a cultura apresentou índice de maturação adequado pra realizar a colheita.

O máximo volume de caldo e eficiência de extração de caldo foi obtido aos 102 DAS.

A restrição hídrica reduz os teores foliares de N, P e Ca do sorgo sacarino BRS 511.

## 6 MATURAÇÃO FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE SORGO SACARINO EM FUNÇÃO DA RESTRIÇÃO HÍDRICA E ÉPOCA DE COLHEITA

### RESUMO

O sorgo sacarino tem se mostrado como boa alternativa na produção de etanol em diversas regiões. Propagado sexuadamente, o uso de sementes de qualidade se torna um fator importante para obtenção de adequado estande e consequentemente boa produtividade. Desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar a produção e qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino cv. BRS 511, em resposta ao intervalo entre irrigações durante o período reprodutivo e a época de colheita. Dois experimentos foram realizados (2019 e 2020), sendo o primeiro no município de Umirim e outro em Limoeiro do Norte, ambos no estado do Ceará. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial 3 x 2, correspondendo a três intervalos entre irrigações (0, 4 e 8 dias) e duas épocas de colheita (102 e 110 dias após a semeadura). Os dados foram submetidos ao teste de Kruskal-Wallis (5%) quando não normais e análise de variância com teste de Scott-Knott (5%) para os dados normais. Foram avaliadas a partir das panículas coletadas: quantidade de sementes, peso de mil sementes, teor de água, germinação, primeira contagem de germinação, emergência em areia e velocidade de emergência, condutividade elétrica e vigor das plântulas. A produção de sementes por panícula e o peso de mil sementes foi significativamente influenciado pelo aumento do intervalo entre irrigações no 2º experimento, sendo observado respectivamente redução de 50,4 e 46,3%. A reposição de água a cada 8 dias provocou redução de até 43,4% na primeira contagem de germinação e de 16,3% na germinação. A produção e qualidade de sementes de sorgo sacarino reduz em função do aumento do intervalo entre irrigações, apresentado taxas de germinação abaixo do mínimo exigido para comercialização.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, BRS 511, Irrigação intermitente, Produção de sementes, Vigor.



## ABSTRACT

Sweet sorghum has been shown to be a good alternative in ethanol production in several regions. Sexually propagated, the use of quality seeds becomes an important factor for obtaining an adequate shelf and consequently good productivity. Thus, the objective of this work was to evaluate the production and physiological quality of sweet sorghum seeds cv. BRS 511, in response to the interval between irrigations during the reproductive period and the harvest season. Two experiments were carried out (2019 and 2020), the first in the municipality of Umirim and the other in Limoeiro do Norte, both in the state of Ceará. The experimental design adopted was in randomized blocks, with four replications in a 3 x 2 factorial scheme, corresponding to three intervals between irrigations (0, 4 and 8 days) and two harvest times (102 and 110 days after sowing). The data were submitted to the Kruskal-Wallis test (5%) when not normal and analysis of variance with Scott-Knott test (5%) for normal data. Were evaluated from the collected panicles: number of seeds, weight of a thousand seeds, water content, germination, first germination count, emergence in sand and emergence speed, electrical conductivity and vigor of seedlings. The production of seeds per panicle and the weight of a thousand seeds was significantly influenced by the increase in the interval between irrigations in the 2nd experiment, with a reduction of 50.4 and 46.3%, respectively. Replacing water every 8 days caused a reduction of up to 43.4% in the first germination count and 16.3% in germination. The production and quality of sweet sorghum seeds reduces due to the increase in the interval between irrigations, with germination rates below the minimum required for commercialization.

**Keywords:** *Sorghum bicolor* (L.) Moench, BRS 511, Intermittent irrigation, Seed production, Vigor.

## Introdução

O sorgo sacarino é considerado como uma promissora matéria-prima para produção de etanol, devido sua rusticidade e possuir colmos ricos em açúcares fermentáveis. A cultura surge como uma boa alternativa para o cultivo na entressafra da cana-de-açúcar ou épocas de baixa disponibilidade hídrica (COLE et al., 2017; RATNAVATHI et AL., 2011). Propagado sexuadamente, todas as etapas de cultivo (implantação à colheita) podem ser realizadas com auxílio de máquinas, o que reduz bastante os custos de produção (ALMEIDA et al., 2019; ERICKSON et al., 2011; SOLANO et al., 2018).

Atualmente a produção agrícola é fortemente afetada por mudanças nos padrões de precipitação, assim a água se tornou uma questão crítica e um fator limitante para as culturas (ALMEIDA et al., 2019). Entretanto, além dos prejuízos econômicos que os fatores abióticos podem causar às culturas, a produtividade e qualidade das sementes nos campos de produção também podem ser afetadas. O uso de sementes de baixa qualidade pode comprometer o estande inicial de plantas na lavoura, reduzindo a rentabilidade e produtividade da cultura (TAVARES et al., 2013). Apesar da importância que a cultura vem ganhando nos últimos anos, ainda é baixa a oferta do produto e de pesquisas realizadas envolvendo a produção de sementes de sorgo sacarino (MAY e DURÃES, 2012).

A qualidade das sementes é expressa pelo vigor, sendo considerado como um importante fator a ser consideração na escolha da semente para plantio e obtenção de boa produtividade. Os objetivos básicos dos testes de vigor são: avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica de lotes com germinação semelhante; distinguir com segurança e classificar lotes em diferentes níveis de vigor, (MARCOS FILHO, 2015). O uso de sementes de alto vigor é justificado em todas as culturas para garantir além da população de plantas adequadas, indivíduos resistentes a estresses abióticos, como por exemplo o déficit hídrico do solo (OLIVEIRA; GOMES-FILHO, 2011; SILVA et al., 2017).

Quando o estresse hídrico ocorre durante a fase reprodutiva, pode ocorrer diminuição na produção e qualidade das sementes, pois a deficiência hídrica reduz a atividade fotossintética da planta, provocando morte progressiva das folhas, iniciando-se pelas mais velhas e seguindo para as mais novas, redução na assimilação e acúmulo de reservas nos órgãos drenos (PEDROSO et al. 2009; MARCOS FILHO, 2015). Também é observada elevada taxa de aborto das flores e mau desenvolvimento das sementes, reduzindo a produção devido a menor massa por planta (ZILIO, 2014).

O déficit hídrico pode provocar alterações no ciclo da cultura, antecipando a maturação e dispersão das sementes. Esse encurtamento no período de enchimento de grãos pode causar redução do peso da semente e conseqüentemente redução do rendimento (QUAIN et al., 2014). A antecipação ou o atraso da colheita podem ser fatores determinantes no rendimento e qualidade fisiológicas das sementes, mas quando realizada no momento ideal, podendo reduzir os danos no campo devido às condições climáticas adversas (DINIZ et al., 2012; LESSA et al., 2017; MATHIAS et al., 2017).

O processo de maturação fisiológica consiste em uma sequência ordenada de vários tipos diferentes de mudanças, sendo obtida quando a semente atinge o máximo teor de matéria seca possível, passando a se deteriorar a partir de então, diminuindo sua qualidade. Entretanto, vale ressaltar, que a semente não necessariamente, apresenta maior qualidade quando atinge a maturidade fisiológica, variando entre espécies e condições que esteja exposta (ELLIS, 2019). Os principais índices tecnológicos desejados ao final da maturação são: teor adequado de água, maior teor de matéria seca, alto percentual de germinação e alto nível de vigor (MARCOS FILHO, 2015).

Sabendo dos efeitos da baixa disponibilidade hídrica sobre vários aspectos das plantas e que essa resposta pode variar em função do estágio e intensidade, hipotetiza-se que a aplicação de déficit hídrico durante o estágio reprodutivo antecipa o processo de maturação de sementes de sorgo sacarino sem provocar perdas na qualidade. De acordo com o que foi mencionado, o objetivo deste trabalho foi avaliar a maturação e qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino em função da intensidade do déficit hídrico durante a fase reprodutiva e diferentes épocas de colheita.

## **Material e métodos**

### ***Localização e caracterização da área experimental***

Foram realizados dois experimentos, ambos em casa de vegetação. O primeiro entre março a julho de 2019 no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Umirim, localizado dentro da região do Vale do Curu, no município de Umirim no Estado do Ceará, geograficamente situada entre os paralelos 3° 41' 09" de latitude Sul e os meridianos 39° 20' 28" de longitude Oeste, a uma altitude de 61 metros. O segundo experimento foi conduzido entre dezembro de 2019 a abril de 2020 na Unidade de Ensino,

Pesquisa e Extensão (UEPE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Limoeiro do Norte, localizado dentro do perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, no município de Limoeiro do Norte no Estado do Ceará, geograficamente situada entre os paralelos 5° 06' 38" de latitude Sul e os meridianos 37° 52' 21" de longitude Oeste, a uma altitude de 143 metros.

O clima das duas localidades, segundo a classificação de Köppen e Geiger é BSw'h', ou seja, semiárido com chuvas irregulares, apresentando duas estações climáticas bem definidas, uma quente com chuvas de verão-outono, sendo o trimestre março-maio o período mais chuvoso e o período julho-dezembro o mais seco (ALVARES et al., 2013). Na tabela 20 pode-se visualizar a média da temperatura e umidade reativa do ar, nas duas localidades, durante a execução dos trabalhos.

Tabela 20 - Temperatura (Temp.) máxima (Máx), mínima (Min.) e média (Méd.); umidade relativa do ar (UR) média, medida durante a condução dos experimentos nas casas de vegetação.

Experimento	Período	Temp. média (°C)			UR média (%)
		Máx.	Méd.	Min.	Méd.
1°	Março/2019 a Julho/2019	35,6	29,2	23,9	85,3
2°	Dezembro/2019 a Abril/2020	39,4	31,2	24,5	82,4

### ***Delineamento experimental e tratamentos***

Os experimentos foram conduzidos no delineamento em blocos casualizados. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 3 x 2 com 4 repetições, totalizando 24 parcelas experimentais. As parcelas experimentais foram compostas por três plantas alocadas em um vaso (30 cm Ø) com 15 kg de solo. Os tratamentos testados foram: três manejos de irrigação durante o período reprodutivo e duas épocas de colheita.

Para o tratamento lâmina de irrigação adotou-se três manejos de irrigação para a cultura, tendo como referencia a umidade do solo capacidade de campo (Ucc)o. Assim, no nível de referência (L0), se manteve a umidade do solo a 70% da Ucc ao longo de todo o experimento, sendo a reposição da água feita diariamente. Os demais tratamentos (L4 e L8) corresponde a reposição de água até 70% da Ucc a cada 4 e 8 dias, respectivamente. A diferenciação do manejo da irrigação se teve inicio no inicio da floração (aproximadamente 62 DAS). Quanto à colheita, esta foi realizada em duas épocas (102 e 110 DAS).

### Procedimento experimental

O solo utilizado no primeiro experimento foi um Argissolo vermelho-amarelo eutrófico e o do segundo foi um Cambissolo Vermelho-amarelo eutrófico (SANTOS et al., 2018). Para fins de correção foi retirada uma amostra do tipo composta representando a camada de 0 a 0,20 m de profundidade de cada uma das localidades e enviada para laboratório para determinação de atributos químicos e físicos, como pode ser observado na tabela 21.

Tabela 21 – Atributos químicos e físicos do solo utilizando no experimento da camada de 0 a 0,20 m.

Atributos Químicos	Experi	cmolc dm <sup>-3</sup>						
	mento	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	
	1°	3,20	2,00	0,40	0,34	2,31	0,35	
	2°	9,53	2,09	0,11	2,64	N. D.	N. D.	
Atributos Químicos	Experi	cmolc dm <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>		(%)	(H <sub>2</sub> O)	(dS m <sup>-1</sup> )
	mento	S	T	C	M.O.	V	pH	C.E.
	1°	5,9	8,3	4,89	8,44	72	4,7	1,75
	2°	14,4	14,4	10,23	17,63	100	7,6	1,34
Atributos Físicos	Experi	Composição Granulométrica (g kg <sup>-1</sup> )						
	mento	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classificação Textural	C.C. (%)	
	1°	432	290	142	136	Franco arenosa	24	
	2°	248	233	261	258	Frango argilo arenoso	34	

1° Experimento – Umirim; 2° Experimento – Limoeiro do Norte; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> – Acidez potencial; S – Soma de bases; T – Capacidade de troca catiônica; M.O – Matéria orgânica; V – Saturação por bases; C.E. – Condutividade elétrica. C. C. Capacidade de campo do solo.

Para enchimento dos vasos foi coletado solo na camada de 0-20 m de profundidade. No preenchimento dos vasos colocou-se ao fundo sombrite e 15 kg de solo, ficando cerca de 3 cm entre a superfície do solo e a borda superior do vaso, para facilitar a irrigação, buscando-se evitar possível transbordamento da água durante as irrigações, que foram realizadas manualmente com o auxílio de uma proveta graduada (500 mL).

Antes da semeadura, foi realizada a adubação com N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando respectivamente ureia (45%) e superfostato simples (18%). Além da adubação da semeadura, realizou-se uma adubação de cobertura com N e K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio em pó – 60%) aos 21 DAS conforme recomendações de Aguiar et al. (2014). A adubação de cobertura foi realizada diluindo o adubo em 30 ml de água e sendo colocando ao lado das plantas após realizada a irrigação.

A semeadura foi realizada com a abertura de três covas e colocando-se 5 sementes por cova da cultivar se sorgo sacarino BRS 511 a uma profundidade de 1 cm. Dez dias após a

emergência das plântulas, foi realizado o desbaste deixando-se a plântulas mais vigorosas de cada cova (totalizando três plantas vaso<sup>-1</sup>).

A água utilizada para irrigação foi proveniente do sistema de abastecimento de cada um dos locais. O suprimento de água para as plantas foi realizado com frequência de uma irrigação diária, até os 62 dias após a semeadura (DAS) para todas as parcelas experimentais, do 63º DAS até a colheita, foi adotado a frequência de acordo cada tratamento. Em cada irrigação, foi aplicado volume de água suficiente para elevar a umidade do solo até 70% da Ucc. Na tabela 22 observa-se a variação no teor de umidade em função do período sem irrigação.

Tabela 22 – Teor de umidade do solo observada de acordo os diferentes intervalos de irrigação no cultivo de sorgo sacarino.

Intervalo entre irrigação (dias)	Teor de umidade (%)	
	1º Experimento	2º Experimento
0*	16,4 ±0,3	23,0 ±0,25
4	7,9 ± 0,5	9,5 ±0,3
8	4,8 ±0,27	5,2 ±0,37

\*O valor obtido nesse tratamento corresponde a variação da umidade do solo no intervalo de 1 dia.

Para analisar a qualidade das sementes, as três panículas foram coletadas de cada unidade experimental, estas foram levadas ao Laboratório de Sementes (IFCE) para pesar as panículas e extrair e beneficiar as sementes.

### ***Variáveis analisadas***

As sementes foram submetidas às seguintes análises: **Teor de água (TA)** - pelo método DAE estufa a 105°C (± 2°C) por 24 h, utilizando 50 sementes por repetição; **Número de sementes por panícula (NSP)** – obtido da média do número de sementes das três panículas de cada parcela experimental; **Peso de mil sementes (PMS)** - utilizando oito repetições de 100 sementes, multiplicando o valor médio por 10 quando o coeficiente de variação for inferior a 4% (BRASIL, 2009); **Germinação** - quatro repetições de 50 sementes de cada lote foram colocados entre papel germitest, umedecidas até três vezes o peso do papel seco, e colocadas em um germinador do tipo B.O.D. ajustado a 25°C. As contagens foram realizadas no quarto dia (**Primeira contagem - PC**) e no décimo dia (**Germinação final - G**) após a semeadura (BRASIL, 2009); **Comprimento de raiz (CR) e parte aérea (CPA) das plântulas**: realizado em conjunto com o teste de germinação, as raízes e a respectivas partes aéreas de 20 plântulas de cada repetição foram medidas com o auxílio de uma régua graduada

em centímetros, após a contagem final do teste de germinação; **Massa fresca de raiz e da parte aérea:** ao final do teste de germinação, as raízes e a parte aérea foram seccionadas e pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, para determinação da massa fresca.

**Emergência de plântulas (E):** para essa avaliação, quatro repetições de 25 sementes foram semeadas em bandejas plásticas contendo areia. As irrigações foram realizadas sempre que necessário, visando o fornecimento de água para a germinação das sementes e emergência das plântulas. As avaliações foram feitas quatro dias após a semeadura, sendo contabilizado a porcentagem de plântulas normais; **Índice de velocidade de emergência (IVE):** foi realizado juntamente com o teste de emergência, sendo contabilizado diariamente a partir da primeira contagem o número de plântulas normais. A contagem prosseguiu até à estabilização da emergência das plântulas; **Teste de condutividade elétrica (CE):** quatro repetições de 50 sementes foram pesadas com precisão de duas casas decimais (0,0001g) e colocadas para embeber em tubos de ensaio (75 mL), contendo 50 mL de água destilada e mantidas a temperatura de 25 °C (NUNES et al., 2019) por um período de 24 horas. Após o período de imersão, a condutividade elétrica da solução foi medida em 9 períodos de imersão (1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 e 24 hs) com um condutivímetro de bancada, com resultados expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ . A leitura de cada repetição foi realizada logo após a retirada do material da incubadora, de modo gradativo, agitando-se, cuidadosamente, cada recipiente, com o intuito de uniformizar os eletrólitos lixiviados na solução.

### *Análises estatísticas*

Os dados foram submetidos a testes de normalidade (Shapiro-Wilks) e homogeneidade (Bartlett), atendendo a tais pressuposições foi feita análise de variância (ANAVA) pelo teste F (5%). Quando significativo foi aplicado o teste de Scott-Knott (5%) para os diferentes intervalos entre irrigação e para as diferentes épocas de colheita.

As variáveis que não atenderam as pressuposições, foram submetidos ao teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Quando significativo aplicou-se o teste de Dunn com comparações múltiplas por pares a um nível de significância a 5%.

## Resultados

A quantidade de água que as culturas consomem é necessária para o eficiente gerenciamento do manejo da irrigação (HANSAON; MAY, 2006). Desta forma, calculou-se a quantidade demandada de água para cada tratamento em virtude da época de colheita (Tabela 23).

Tabela 23 – Volume total de água aplicado e lâmina de irrigação da cultura do sorgo sacarino em função da época de colheita.

Época de colheita	Volume de água aplicado		Lâmina de irrigação	
	L vaso <sup>-1</sup>		mm ciclo <sup>-1</sup>	
	1º Experimento	2º Experimento	1º Experimento	2º Experimento
102	27,31	56,82	386,55	804,25
110	30,04	62,05	425,19	878,27

Na tabela 24, nota-se que no 1º experimento que para o teor de água (TA) houve efeito significativo ( $F_{1;15} = 29,75$ ;  $p < 0,0001$ ) quanto à época de colheita, já o 2º experimento houve diferença significativa ( $F_{2;15} = 74,37$ ;  $p < 0,05$ ) quanto ao intervalo entre irrigações. Para a primeira contagem de germinação (PCG) houve interação significativa ( $F_{2;15} = 5,79$ ;  $p < 0,05$ ) entre os fatores no 2º experimento. A germinação apresentou efeito significativo somente do 2º experimento, sendo esta de forma isolada para o fator estresse ( $F_{2;15} = 12,41$ ;  $p < 0,001$ ) e colheita ( $F_{1;15} = 8,21$ ;  $p < 0,05$ ).

Tabela 24 - Resumo da análise de variância para o teor de água (TA), primeira contagem de germinação e germinação de sementes de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	TA <sup>1</sup>	TA <sup>2</sup>	PCG <sup>1</sup>	PCG <sup>2</sup>	G <sup>1</sup>	G <sup>2</sup>
		Quadrados médios					
Bloco	3	2,03 <sup>NS</sup>	17,04 <sup>NS</sup>	42,83 <sup>NS</sup>	15,33 <sup>NS</sup>	3,11 <sup>NS</sup>	89,11 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	1,44 <sup>NS</sup>	74,37*	28,16 <sup>NS</sup>	723,5**	1,16 <sup>NS</sup>	533,16**
Colheita (C)	1	31,05**	36,08 <sup>NS</sup>	4,16 <sup>NS</sup>	5400**	2,66 <sup>NS</sup>	352,66*
I x C	2	3,08 <sup>NS</sup>	1,28 <sup>NS</sup>	33,16 <sup>NS</sup>	255,5*	7,16 <sup>NS</sup>	54,16 <sup>NS</sup>
Erro	15	1,04	12,95	36,83	44,13	5,91	42,97
Total	23	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	13,17	31,23	6,57	13,16	2,5	8,76

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente; F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.



Analisando o teor de água das sementes de sorgo sacarino (Figura 6), nota-se que no 1º experimento (A) obteve-se maior média (8,89%) aos 102 DAS. Já no 2º experimento (B) as sementes apresentaram menor valor (8,01%) quando realizada a irrigação a cada 8 dias. Valor este até 41% inferior ao máximo obtido (TA L0=13,49%).

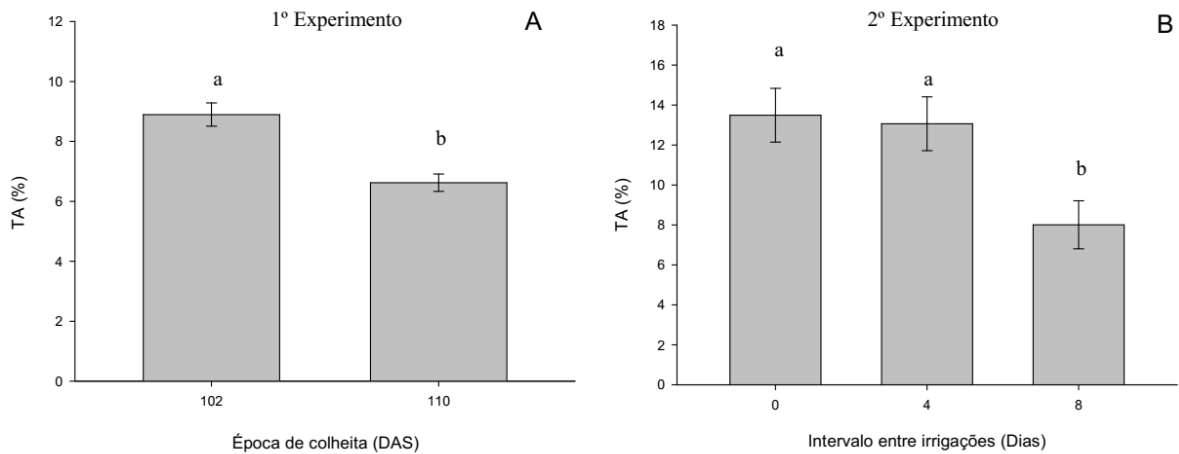


Figura 6 - Teor de água (%) de sementes de sorgo sacarino da época de colheita (A) e do intervalo entre irrigações (B) em dois experimentos.

Mesmas letras não diferem entre si ( $p > 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott (5%).

Analisando primeiramente as épocas de colheita dentro de cada manejo de irrigação para a PCG (Figura 7A), nota-se que independente da frequência entre irrigação, os menores valores foram observados nas sementes colhidas aos 110 DAS. Diferença esta chegando a até 60,2% (L8).

Quanto a análise dos intervalos entre irrigação em cada época de colheita, nota-se comportamento semelhante entre ambas, apresentando médias superiores em L0 (102 = 79% e 110=41,5%) e redução dos valores observados com o aumento do intervalo entre irrigações (L8 102= 59% e 110= 23,5%).

A reposição diária de água no solo, proporcionou maior taxa de germinação das sementes de sorgo sacarino (84,3%) (Figura 7B). Entretanto, o aumento do intervalo entre irrigações, reduziu esses valores, sendo observada uma taxa de germinação de 70,5% em L8, valor este 16,3% inferior ao obtido em L0. Quanto à época de colheita (Figura 7C), a maior média foi obtida aos 102 DAS (78,6%).

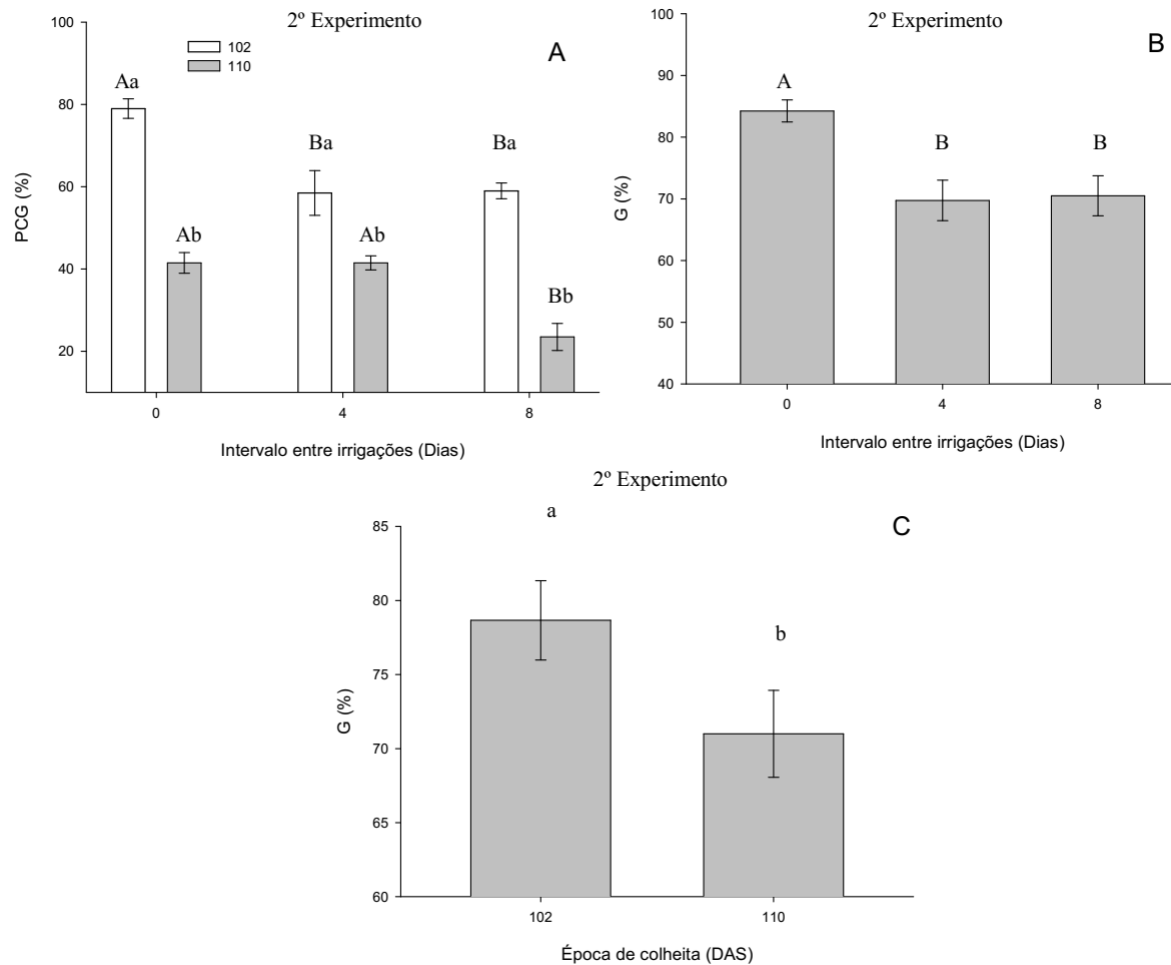


Figura 7 - Desdobramento entre os fatores sob a primeira contagem de germinação (PCG) de sementes de sorgo sacarino (A) e germinação de sementes (G) de sorgo sacarino em função do intervalo entre irrigação (B) e época de colheita (C).

Mesmas letras maiúsculas não diferem significamente ( $p > 0,05$ ) quanto o intervalo entre irrigações e mesmas letras minúsculas não diferem a época de colheita pelo teste de Scott-Knott (5%).

O comprimento da parte aérea (Tabela 25) apresentou efeito significativo ( $F_{1;15}=11,19$ ;  $p < 0,01$ ) com relação a época de colheita no 1º experimento. Observa-se ainda a interação significativa ( $F_{2;15}=4,83$ ;  $p < 0,05$ ) para a matéria fresca de raiz (MFR) no 1º experimento e para matéria fresca de parte aérea em ambos experimentos (1ºExperimento:  $F_{2;15}=4,98$ ;  $p < 0,05$ / 2ºExperimento:  $F_{2;15}=4,03$ ;  $p < 0,05$ ).

O comprimento da parte aérea (Figura 8A) apresentou menor valor (4,95 cm) aos 110 DAS. Analisando a época de colheita dentro de cada intervalo de irrigação, nota-se redução de 50,9% na MFR (Figura 8B) aos 110 DAS em L0. Quanto a época de colheita em relação aos intervalos entre irrigações, nota-se menor valor (9,9 cm) em L8 aos 102 DAS, valor este 37,9% inferior ao maior obtido (L0= 16,1 cm).

Tabela 25 - Resumo da análise de variância para o comprimento de parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), matéria fresca de raiz e de parte aérea de plântulas de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	CPA <sup>1</sup>	CPA <sup>2</sup>	CR <sup>1</sup>	CR <sup>2</sup>	MFR <sup>1</sup>	MFR <sup>1</sup>	MFPA <sup>1</sup>	MFPA <sup>2</sup>
		Quadrados médios							
Bloco	3	0,42 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	1,71 <sup>NS</sup>	115,44**	7,93 <sup>NS</sup>	23,08 <sup>NS</sup>	13,89 <sup>NS</sup>	11,89 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	0,86 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	4,01 <sup>NS</sup>	6,16*	26,29 <sup>NS</sup>	51,05 <sup>NS</sup>	0,39 <sup>NS</sup>	432,21**
Colheita (C)	1	3,21**	0,5 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	6,13*	3,48 <sup>NS</sup>	89,63 <sup>NS</sup>	586,67**	175,77*
I x C	2	0,14 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	2,24 <sup>NS</sup>	0,52 <sup>NS</sup>	82,33*	49,85 <sup>NS</sup>	223,71*	129,27*
Erro	15	0,28	0,17	1,09	1,02	17,04	26,13	44,91	32,09
Total	23	-	-	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	10,07	9,88	6,45	9,26	39,78	44,68	12,38	13,67

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente; F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.

Para MFPA nota-se na figura 8C e D que no 1º experimento houve redução dos valores observados nas sementes colhidas aos 110 DAS quando a irrigação foi realizada com intervalos de 4 e 8 dias. No 2º experimento ((Figura 3D) a maior variação (37,85%) observada foi aos 110 DAS dentro dos diferentes manejos de irrigação, com menor valor observado sob L8 = 31,7 mg.

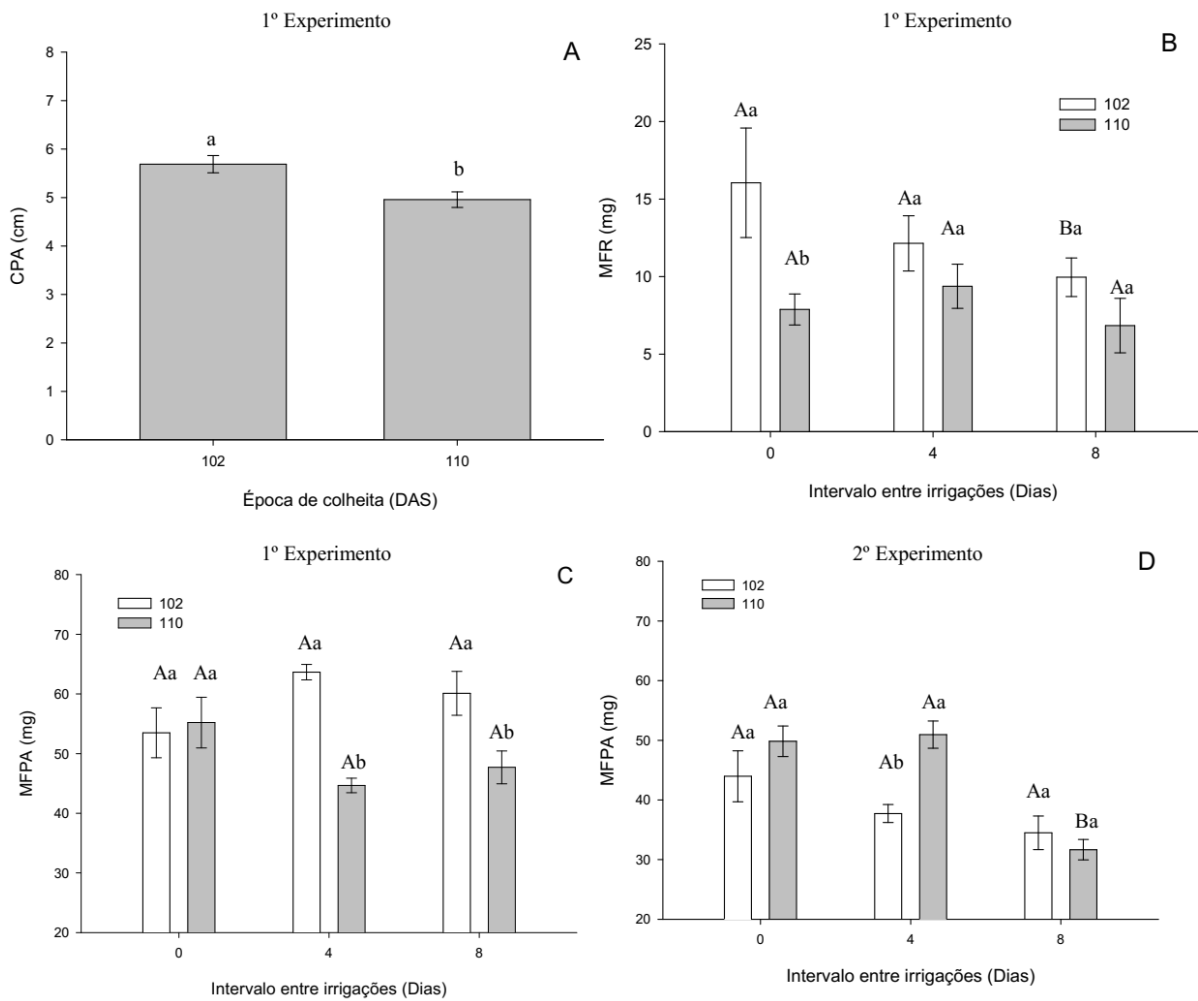


Figura 8 - Comprimento da parte aérea sob efeito da época de colheita (A) e o desdobramento da interação entre os fatores para a massa fresca de raiz (B) e da parte aérea (C e D).

Mesmas letras maiúsculas não diferem significativamente ( $p > 0,05$ ) quanto o intervalo entre irrigações e mesmas letras minúsculas não diferem a época de colheita pelo teste de Scott-Knott (5%).

Variáveis como o número de sementes por panícula ( $NSP^{1,2}$ ), peso de mil sementes ( $PMS^{1,2}$ ), o índice de velocidade de emergência ( $IVE^{1,2}$ ), e condutividade elétrica de sementes ( $CE^2$ ) não atenderam a pelo menos um dos pressupostos de normalidade ou homogeneidade, sendo aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com comparações múltiplas por pares pelo teste de Dunn (5%).

Quanto ao NSP (Tabela 26) nota-se que houve efeito significativo quanto a aplicação de diferentes intervalos entre irrigações no segundo experimento. Onde a reposição de água a cada 8 dias reduziu em até 50,4% a produção de sementes.

<sup>1, 2</sup>Primeiro e segundo experimento, respectivamente.

Tabela 26 – Número de sementes por panícula (NSP), peso de mil sementes, comprimento de raiz (CR) e razão entre comprimento da parte aérea e da raiz (CPA/CR) de sorgo sacarino submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e períodos de colheita.

Fator	Trat	NSP <sup>1</sup>	NSP <sup>2</sup>	PMS <sup>1</sup>	PMS <sup>2</sup>	IVE <sup>1</sup>	IVE <sup>2</sup>
		sementes panícula <sup>-1</sup>		----- g -----		-	
Irrigação	0	1005,6 a	1000,2 a	21,21 a	18,28 a	16,73 b	4,96 a
	4	988,7 a	855,7 a	19,97 ab	16,45 b	17,17 ab	5,44 a
	8	853,3 a	496,2 b	19,28 b	9,81 c	17,26 a	4,47 b
p-valor		0,327	<0,01	0,022	0,001	0,029	0,013
Colheita	102	986,5 a	864,8 a	20,70 a	15,50 a	17,04 a	4,73 a
	110	945,5 a	703,3 a	19,61 a	14,19 a	17,07 a	5,17 a
p-valor		0,643	0,453	0,116	0,543	0,839	0,133
CV (%)		29,93	31,37	9,88	12,38	2,46	13,54

<sup>1,2</sup>Primeiro e segundo experimento respectivamente. Trat – Tratamento; Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si respectivamente pelo teste não paramétrico de Dunn ( $p>0,05$ ).

O PMS sofreu efeito significativo em função do intervalo entre irrigações nos dois experimento, sendo que no 1º observa-se maior média no L0 (21,21 g). Comportamento diferente do observado no 2º experimento, em que o aumento do intervalo entre irrigações reduziu os valores obtidos em até 46,3% (PMS L8= 9,81g). Quanto ao fator época de colheita, apesar de ser observado menores médias aos 110 DAS, não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) para o PMS. O CR e E<sup>1</sup> a não apresentou efeito significativo ( $p>0,05$ ) em função de nenhum dos fatores.

Ainda na tabela 26 nota-se para o IVE efeito significativo em função do aumento do intervalo entre irrigações, sendo que no 1º experimento foi observado valor superior na sementes produzidas em L8, valor este 3,1% superior a menor média. No 2º experimento nota-se efeito contrastante ao observado no 1º experimento, apresetando média inferior em L8.

Para condutividade elétrica no 1º experimento não se observou diferença significativa do intervalo entre irrigações e época de colheita e nem da interação entres os fatores, em nenhum dos períodos de embebição (Tabela 27).

Tabela 27 - Resumo da análise de variância para a condutividade elétrica (CE) de sementes de sorgo sacarino oriundos de plantas submetidas a diferentes intervalos entre irrigações e épocas de colheita.

F.V.	G.L.	CE				
		Período de embebição				
		1	2	3	4	6
		Quadrados médios				
Bloco	3	24,32 <sup>NS</sup>	39,36 <sup>NS</sup>	53,74 <sup>NS</sup>	61,19 <sup>NS</sup>	79,21 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	122,71 <sup>NS</sup>	49,71 <sup>NS</sup>	49,55 <sup>NS</sup>	66,83 <sup>NS</sup>	87,84 <sup>NS</sup>
Colheita (C)	1	3,72 <sup>NS</sup>	54,72 <sup>NS</sup>	53,92 <sup>NS</sup>	31,97 <sup>NS</sup>	46,14 <sup>NS</sup>
I x C	2	56,19 <sup>NS</sup>	97,58 <sup>NS</sup>	155,7 <sup>NS</sup>	189,11 <sup>NS</sup>	227,68 <sup>NS</sup>
Erro	15	36,42	49,29	52,41	60,6	72,36
Total	23	-	-	-	-	-
CV	(%)	37,63	30,67	26,62	25,94	23,59

F.V.	G.L.	CE			
		Período de embebição			
		8	10	12	24
		Quadrados médios			
Bloco	3	92,17 <sup>NS</sup>	132,37 <sup>NS</sup>	185,11 <sup>NS</sup>	139,78 <sup>NS</sup>
Irrigações (I)	2	102,43 <sup>NS</sup>	100,24 <sup>NS</sup>	103,19 <sup>NS</sup>	182,59 <sup>NS</sup>
Colheita (C)	1	38,51 <sup>NS</sup>	33,13 <sup>NS</sup>	28,16 <sup>NS</sup>	184,59 <sup>NS</sup>
I x C	2	167,57 <sup>NS</sup>	181,74 <sup>NS</sup>	199,78 <sup>NS</sup>	217,68 <sup>NS</sup>
Erro	15	60,44	75,7	94,85	80,12
Total	23	-	-	-	-
CV	(%)	19,79	20,4	21,18	15,93

F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; CV - Coeficiente de variação; <sup>NS</sup> Não significativo; \*,\*\* Significativo respectivamente a 5 e 1%.

Observa-se na tabela 28, que o intervalo entre irrigações apresentou diferença significativa em todos os períodos de embebição nas sementes produzidas no 2º experimento, apresentando maior lixiviação de solutos sob L8.

Tabela 28 - Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) de sementes da variedade sorgo sacarino BRS 511 em função do intervalo entre irrigações e da época de colheita, sob diferentes períodos de embebição.

		1º Experimento									
Fator	Trat	Período de embebição (horas)									
		1	2	3	4	6	8	10	12	24	
Irrigação	0	12,6a	22,6a	27,1a	30,1a	36,4a	40,3a	44,3a	48,2a	60,6a	
	4	20,4a	25,4a	29,7a	32,9a	39,2a	42,2a	45,1a	47,9a	59,9a	
	8	15,1a	20,5a	24,8a	27,1a	32,6a	35,3a	38,6a	41,9a	51,1a	
	p-valor	0,062	0,388	0,412	0,357	0,324	0,217	0,295	0,361	0,136	
Colheita	102	16,4a	24,4a	28,7a	31,2a	37,5a	40,6a	43,8a	47,1a	58,9a	
	110	15,6a	21,4a	25,7a	28,9a	34,7a	38,1a	41,5a	44,1a	53,4a	
	p-valor	0,753	0,309	0,331	0,479	0,437	0,427	0,518	0,594	0,149	
	CV (%)	37,63	30,67	26,62	25,94	23,59	19,79	20,4	21,18	15,93	
		2º Experimento									
Fator	Trat	Período de embebição (horas)									
		1	2	3	4	6	8	10	12	24	
Irrigação	0	9,8b	14,4b	16,6b	19,2b	22,1b	25,7b	28,9b	32,1b	36,5c	
	4	15,3b	17,9b	22,6b	25,5b	30,1b	33,1b	36,5b	39,9b	51,3b	
	8	31,3a	41,3a	45,8a	50,6a	57,5a	64,1a	68,8a	73,5b	89,3a	
	p-valor	<0,01	<0,001	<0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Colheita	102	19,9a	25,1a	29,3a	33,9a	39,6a	43,9a	46,6a	49,3a	61,5a	
	110	17,7a	23,9a	27,3a	29,6a	33,5a	38,1a	42,9a	47,7a	56,5a	
	p-valor	0,386	0,355	0,225	0,184	0,184	0,184	0,418	0,773	0,488	
	CV (%)	32,2	20,26	20,03	18,46	18,35	15,08	15,75	17,47	19,3	

Trat – Tratamento; Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ( $p>0,05$ ) no 1º experimento e não-paramétrico de Dunn ( $p>0,05$ ) no 2º experimento.

## Discussão

O uso de sementes de qualidade é uma das primeiras escolhas a ser feita pelo produtor que almeja obter elevada produtividade. Pois além de conter toda carga genética que pode permitir que a planta expresse ao máximo suas características fenotípicas, através dela é possível a obtenção de um stand uniforme, fator essencial para obtenção de boa produtividade (GHASSEMI-GOLEZANI et al., 2015). Para que isso seja possível é necessário que durante o processo de produção de sementes, a planta não tenha sido exposta a nenhum tipo de estresse (abiótico ou biótico), que possa ter afetado significativamente seu desenvolvimento.

Entretanto, nem todos os fatores que podem interferir na produção agrícola podem ser controlados, entre eles pode-se citar os fatores ambientais, como: a precipitação, temperatura, luminosidade, etc. A disponibilidade hídrica do solo é um importante fator a ser

considerado quanto à produção e qualidade final das sementes, pois dependendo do momento de ocorrência e da intensidade, pode acarretar redução no crescimento, atraso na maturidade e diminuição no rendimento final da cultura (PAYERO et al., 2006; FARSIANI et al., 2011).

Observou-se no 2º experimento que as sementes produzidas sob condições restritas de água (L8) apresentaram baixo TA. Essa redução observada pode ser atribuída à associação da menor disponibilidade de água e altas temperaturas observadas. Pois devido às sementes serem hidrocópicas e durante o período de condução do experimento a temperatura atingiu máxima de 39,4º C, pode ter ocasionado a perda excessiva de água e como possível consequência danos irreparáveis a qualidade das sementes (OLIVEIRA et al., 2015; MATHIAS et al., 2017).

O momento da colheita deve ser adequadamente determinado, pois se realizada precocemente, o produtor pode colher um material com elevada umidade, o que é indesejável para o produtor. Pois, além de serem mais suscetíveis a danos mecânicos durante a colheita, podem reduzir a qualidade do material colhido, elevando os custos de produção devido a necessidade de se realizar secagem artificial (SILVA et al., 2001; FERREIRA et al., 2013). Por esses motivos, recomenda-se que as sementes de sorgo sejam mantidas no campo até atingirem o teor de umidade aproximado de 18%, valor considerado ideal para que a colheita provoque menos danos (SILVA et al., 2001).

Segundo Lessa et al. (2017), a realização da colheita tardia visando a produção de sementes pode ser benéfica ao produtor, pois o material colhido pode se encontrar em condições para armazenagem (baixa umidade e elevada germinação), ou estar ápta para uso imediato, sem precisar passar por nenhum processo de secagem. Entretanto, esse momento deve ser adequadamente determinado, pois a diminuição da qualidade da semente de sorgo tem início quando a mesma ainda se encontra no campo. A semente atinge sua maturidade fisiológica, quando acumula o máximo de massa de matéria seca possível, período este que deve corresponder a elevada capacidade germinativa e vigor. A partir de então, a semente começa a perder qualidade, razão por que seria desejável que a colheita fosse realizada logo depois desse ponto ser atingido (SILVA et al., 2001).

No 2º experimento, a PCG apresentou redução dos valores, tanto em função da época de colheita como no aumento do intervalo entre irrigações. A primeira contagem de germinação reflete a expressão de um conjunto de características que determinam o potencial de emergência rápida e uniforme de plântulas (MARCOS FILHO, 2015). Considerado como um importante fator que pode interferir nas características qualitativas das sementes, o atraso



da colheita após atingir a maturidade fisiológica, pode influenciar negativamente na qualidade final das sementes produzidas (PELÚZIO et al., 2008; GHASSEMI-GOLEZANI et al., 2015).

O teste de germinação no 2º experimento revelou baixa qualidade fisiológica das sementes produzidas sob condições de restrição hídrica ( $G^2 < 70\%$ ). Este percentual de germinação está fora do mínimo exigido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que é de 70% para sementes básicas e 80% para outras categorias (BRASIL, 2013). A ocorrência de déficit hídrico durante o estágio reprodutivo reduz significativamente o rendimento das plantas, prejudicando diretamente a produção de sementes. Pois diferente da ocorrência de déficit hídrico durante o estágio vegetativo, a planta nessa fase não possui tanta plasticidade, a ponto de recuperar a matéria seca perdida em decorrência do estresse, sem afetar a produção final (JUMRANI e BHATIA, 2017).

Como pode-se observar, o PMS no segundo experimento apresentou menores valores com o aumento do intervalo entre irrigações. O enchimento dos grãos é dependente dos fotoassimilados produzidos pelas folhas. Sob condições de déficit hídrico severo pode dar-se ao início de uma prematura senescência e abscisão foliar, reduzindo conseqüentemente assim a disponibilidade de fotoassimilados para enchimentos das sementes (BORRELL et al., 2000; MENDES et al. 2007; XIE e SU, 2012; TAIZ et al., 2017). Carvalho e Nakagawa (2012) consideram o peso de sementes como um importante aspecto para avaliação do vigor, pois sementes com maiores tamanhos e densidade apresentam, geralmente, embriões com elevadas quantidades de reserva, sadios e bem formados e dão origem a plantas com maior vigor.

Lessa et al. (2017), ao produzir sementes de sorgo sacarino variedade BRS 511 na região semiárida do Ceará sob secagem natural, obteve PMS superior (21,8 g) aos resultados observados nesse trabalho, ao realizar a colheita aos 109 DAS. Ainda segundo os autores a secagem de sementes eleva o custo de produção, sendo geralmente necessária somente em regiões de alta umidade. Entretanto, o que pode justificar esse peso superior é o elevado teor de água (14%) se comparado ao observado nessa pesquisa ( $TA < 9\%$ ). A demanda por água aumenta à medida que as plantas crescem, maximizando durante e após a floração. Durante o período de enchimento das sementes, a ocorrência de déficit hídrico reduz o tamanho final das sementes. Se o estresse for extremo, a semente será pequena, murcha e deformada (YOUNESI e NORADI, 2009).

Para o comprimento de raiz não houve diferença significativa entre os tratamentos analisados. Entretanto, ressalta-se que em locais com chuvas irregulares, o comprimento das

raízes é uma das características que ajudam a planta a se manter no ambiente; pois são capazes de absorver água nas camadas mais subsuperficiais, proporcionando um maior suprimento de água a planta em condições de seca (SILVA et al., 2017).

Quanto ao teste de condutividade elétrica, nota-se que as sementes produzidas sob irrigação diária (L0) apresentaram valores inferiores (9,79 – 1 h e 36,46 – 24 h) aos obtidos por Nunes et al. (2019), que ao avaliar a condutividade elétrica de diferentes lotes de sementes de sorgo sacarino (Cultivar BRS 506) obteve valores CE de 39,84  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  mantidas sob embebição por um período de 24 horas.

Diferentes respostas foram observadas na solução de sementes produzidas sob condições de baixa disponibilidade hídrica (L8), onde se observou elevada CE em todos os períodos de embebição, atingindo elevado valor após 24 h (89,28  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ). Este valor representa uma diferença de 52,82  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$  (equivalente a 144,87%) em comparação ao menor obtido em L0. Machado et al. (2020) ao avaliar a qualidade de sementes de milho produzidas em condições de déficit hídrico apresentaram maior valor da CE (54,47  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ ), indicando maior liberação de nutrientes e portanto, baixa viabilidade.

Elevados valores da CE em sementes indicam degradação das membranas celulares e início no processo de deterioração (MARCOS FILHO, 2015; ULLMANN et al., 2015; MARQUES e DUTRA, 2018). Sementes mais deterioradas apresentam menor velocidade de restabelecimento da integridade das membranas celulares durante o processo de embebição, liberando maior quantidade de lixiviados na água (MARCOS FILHO, 2015). O teste de condutividade elétrica possui características desejáveis para uso de rotina em laboratório de análise de sementes, pois além de fácil execução, simples e rápido, ele permite realizar a separação efetiva de lotes com qualidade distinta (MURARO et al., 2017; CASTILHO et al., 2019; NUNES et al., 2019).

Em geral, as sementes produzidas no presente trabalho já estavam em condições de ser armazenadas (baixa umidade) ou em condições de uso imediato, sem a necessidade de qualquer intervenção tecnológica. Entretanto as sementes submetidas a diferentes intervalos entre irrigação apresentaram menor qualidade (menor peso de sementes, baixa germinação e elevada taxa de deterioração), não atendendo a exigência mínima de germinação para comercialização.

## **Conclusões**

O aumento do intervalo entre irrigações reduz a produção e qualidade de sementes de sorgo sacarino (cultivar BRS 511).

Fatores externos, como tipo de solo e temperatura ambiental, provocam respostas diferentes na produção de sementes em plantas de sorgo sacarino.

## **7 COSIDERAÇÕES FINAIS**

À aplicação de restrição hídrica durante o estágio reprodutivo do sorgo sacarino não favorece o aumento da produção de etanol, sendo verificada também a redução na produção de biomassa (fresca e seca) e na qualidade de caldo. Sendo nesse caso indicada a realização da colheita da cultura, ainda no início do estágio reprodutivo. Com relação a qualidade de sementes, o aumento do intervalo entre irrigação provoca redução no rendimento e vigor, inviabilizando sua produção nessas condições a nível de comercialização. Diante disso, fica evidente que apesar da cultura ser considerada tolerante a seca, dependendo da intensidade do déficit hídrico, pode ocorrer perdas significativas na produção da cultura.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, C. B.; ERICKSON, J. E. Yield enhancement by short-term imposition of severe water deficit in the vegetative growth stage of grain sorghum. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 203, n. 4, p. 309-314, may 2018.
- AGUIAR, A. T. da E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 7. ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452 p. (Boletim IAC, n. 200).
- ALMEIDA, L. G. F.; PARRELLA, R. A. da C.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. de O.; SANTOS, A. S.; COSTA, A. S. V.; GUIMARÃES, A. G.; SCHAFFERT, R. E. Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, Cambridge, v. 122, p. 343-348, mar. 2019.
- ALMODARES, A., HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 4, n. 9, p. 772-780, oct. 2009.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Amsterdam, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013.
- APPIAH-NKANSAH, N. B.; LI, J.; ROONEY, W.; WANG, D. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. **Renewable Energy**, New York, v. 143, p. 1121-1132, dez. 2019.
- ARAUJO, R. ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P. Variation in the sugar yield in response to drying-off of sugarcane before harvest and the occurrence of low air temperatures. **Bragantia**, Campinas, v. 75, n. 1, p.118-127, jan./mar. 2016.
- ASADA, K. Production and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts and their functions. **Plant physiology**, Rockville, v. 141, n. 2, p. 391-396, jun. 2006.
- ASGHARIPOUR, M. R.; HEIDARI, M. Effect of potassium supply on drought resistance in sorghum: plant growth and macronutrient content. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, Pakistan, v. 48, n. 3, p. 197-204, sept. 2011.
- ASHRAF, M. Inducing drought tolerance in plants. **Biotechnological Advances**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 169-183, jan./feb. 2010.
- ASSEFA, Y.; STAGGENBORG, S. A.; PRASAD, V. P. V. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. **Crop Management**, Madison, v. 9, p. 1-11, nov. 2010.
- AZEVEDO, M. S.; SANTOS, R. V. O; MAGALHÃES, T. V. Produção de etanol no Brasil. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 151-154, 2012.

BARBOSA, F. da S. **Produtividade de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento: interações entre variedades, lâminas e intensidade do déficit hídrico na fase de maturação.** 2015. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

BATISTA, V. A. P.; BATISTA, V. Z. P.; PIMENTEL, L. D.; BARROS, A. F.; MOREIRA, S. da T.; DIAS, L. A. dos S. Produção de açúcares no caldo de sorgo sacarino avaliado em duas épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 2., p. 263-273, set. 2018.

BELL, J. M. SCHWARTZ, R.; MEINNES, K. J.; HOWELL, T.; MORGAN, C. L. S. Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 203, p. 289-296, abr. 2018.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HENK, W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy.** 3rd ed. New York: Springer Science Business Media. 407 p. 2013.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. de A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 15-32, dez. 2016.

BIONDO, J. C.; MEDEIROS, S. L. P.; NUNES, S. C. P.; SANGOI, P. R.; BANDEIRA, A. H.; SILVA, N. G. Atributos qualitativos e maturação de genótipos de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 3, p.1-8, jun. 2019.

BORRELL, A. K.; HAMMER, G. L.; HENZELL, R. G. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? II Dry matter production and yield. **Crop Science**, Madison, v. 40, p. 1037-1048, jun. 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa, nº 45, de 17 de Setembro de 2013.** Brasília, DF: MAPA, 2013. Disponível em:

[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy\\_of\\_INN45de17desetembrede2013.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrede2013.pdf). Acesso em: 29 de jul. de 2020

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes.** Vitória da Conquista, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 395 p.

CANTORE, V.; LECHKAR, O.; KARABULUT, E.; SELLAMI, M.H.; ALBRIZIO, R.; BOARI, F.; STELLACCI, A.M.; TODOROVIC, M. Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 167, p. 53-61, mar. 2016.

CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, p. 449-456, nov./dez. 2013.

CARR, M. K. V. AND KNOX, J. W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): a review. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, p.1-25, jan. 2011.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Campinas: FUNEP, 2012.

CASTILHO, I. M.; CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F.; MARINKE, L de S.; MARTINS, G. Z.; MENEZES, J, B. de C. Teste de condutividade elétrica na avaliação do potencial fisiológico de sementes de grão-de-bico. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 3, p. 691-697, set. 2019.

CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F.W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A.M.; FRANCA, E.; STANCA, A.M. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 105, n. 1-2, p. 1-14, jan. 2008.

CHOHNAN, S.; NAKANE, M.; RAHMAN, H.; NITTA, Y.; YOSHIURA, T.; OHTA, H.; KURUSU, Y. Fuel ethanol production from sweet sorghum using repeated-batch fermentation. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 5, n. 2, p. 23-28, abr. 2011.

CHONG, B. F.; MILLS, E.; BONNETT, G. D.; GNANASAMBANDA, A. Early exposure to ethylene modifies shoot development and increases sucrose accumulation rate in sugarcane. **Journal Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, p. 149–163, sept. 2010.

COLE, M. R.; EGGLESTON, G.; PETRIE, E.; UCHIMIYA, S. M.; DALLEY, C. Cultivar and maturity effects on the quality attributes and ethanol potential of sweet sorghum. **Biomass and Bioenergy**, Cambridge, v. 96, p. 183-192, jan. 2017.

COMAS, L. H.; TROUT, T. J.; DEJONGE, K. C.; ZHANG, H.; GLEASON, S. M. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 212, p. 433–440, jul. 2019.

CRUSCIOL, C. A. C. **Efeito da nutrição na maturação da cana-de-açúcar**. In: VIII SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2017, Piracicaba. Disponível em: <http://gape-esalq.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Efeito-da-nutri%C3%A7%C3%A3o-na-matura%C3%A7%C3%A3o-da-cana-de-a%C3%A7%C3%BAcar-Carlos-Crusciol.pdf>. Acesso em: 05 out. 2020.

DALLA MARTA, A.; MANCINI, M.; ORLANDO, F.; NATALI, F.; CAPECCHI, L.; ORLANDINI, S. Sweet sorghum for bioethanol production: crop responses to different water stress levels. **Biomass and Bioenergy**, Cambridge, v. 64, p. 211-219, may 2014.

DAR, R. A.; DAR, E.A.; KAUR, A.; PHUTELA, U. G. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 82, p. 4070–4090, fev. 2018.

DEPEC. **Açúcar e Etanol** - Junho de 2017. Disponível em: [https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset\\_acucar\\_etanol.pdf](https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_acucar_etanol.pdf). Acesso em: 7 nov. 2017

DINIZ, F. O. REIS, M. S.; DIAS, L. A. S.; ARAÚJO, E. F.; SEIYAMA, T.; SEDIYAMA, C. A. Physiological quality of soybean seeds of cultivars submitted to harvesting delay and its association with seedling emergence in the field. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 147-152, dez. 2012.

DUARTE, T. S.; PEIL, R. M. N. Relações fonte:dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 28, p. 265-270, jul./set. 2010.

DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Agroenergia em Revista**, Brasília. v. 2, n. 3, p. 7, maio 2011.

EKEFRE, D. E.; MAHAPATRA, A. K.; LATIMORE JR, M.; BELLMER, D. D.; JENA, U.; WHITEHEAD, G. J.; WILLIAMS, A. L. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. **Heliyon**, Cambridge, v. 3, n. 12, p. 1-18, nov. 2017.

ELLIS, R. H. Temporal patterns of seed quality development, decline, and timing of maximum quality during seed development and maturation. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 29, n. 2, p. 135-142, jun. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis: ano 2016**. Brasília, DF: Empresa de Pesquisa Energética, 2017.

ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R.; SOLLENBERGER, L. E. Optimizing sweet sorghum production for biofuel in the southeastern usa through nitrogen fertilization and top removal. **BioEnergy Research**, New York, v. 5, p. 86–94, may 2012.

ESKANDARI, H.; ALIZADEH-AMRAIE, A. Evaluation of seed quality of wheat (*Triticum aestivum*) under water limitation induced by a partial root-zone irrigation regime. **Seed Science and Technology**, Wageningen, v. 45, n. 1, p. 248-251, apr. 2017.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects mechanisms and management. **Agronomy for sustainable development**, Cambridge, v. 29, n.1, p. 185-212, mar. 2009.

FARSIANI, A.; GHOBADI, M.; JALALI-HONARMAND, S. The effect of water deficit and sowing date on yield components and seed sugar contents of sweet corn (*Zea mays* L.). **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 6, n. 26, p. 5769-5774, nov. 2011.



FEITOSA, D. R. C. **Trocas gasosas, crescimento e produção de sorgo sacarino sob lâminas de irrigação com água salobra e doses de potássio.** 2019. 76 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural do Pernambuco, Recife, 2019.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 147-159, jan. 2007.

FERNANDES, G.; BRAGA, T. G.; FISCHER, J.; PARRELLA, R. A. C.; RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, New York, v. 71, p. 518-524, nov. 2014.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeadura antecipadas no Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, fev. 2015.

FERREIRA, O. E. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento enzimático.** 2015. 79 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

FERREIRA, V. F.; OLIVEIRA, J. A.; FERREIRA, T. F.; REIS, L. V.; ANDRADE, V.; COSTA NETO, C. Qualidade das sementes de milho colhidas e descascado em altos níveis de umidade. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 276-283, mar. 2013.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; PURCIANO, A. A. C. Metabolismo do nitrogênio associado à deficiência hídrica e sua recuperação em genótipos de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 13-17, fev. 2002.

FERREIRA, V. M.; MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; VASCONSELLOS, C. A.; ARAÚJO NETO, J. C. Acúmulo e distribuição de macronutrientes em dois híbridos duplos de milho, em função da disponibilidade de água no solo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 1-17, abr. 2008.

FIORINI, I. V. A.; VON PINHO, R. G.; RESENDE, E. L.; SANTOS, A de O.; BERNARDO JUNIOR, L. A. Y. BORGES, I. D.; PIRES, L. P. M. S. Produtividade de sorgo sacarino em função de populações de plantas e de épocas de corte. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 1, p. 105-113, abr. 2016.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal e non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, London, v. 89, p. 183-189, fev. 2002.

FRANÇA, S.; MIELNICZUK, J.; ROSA, L. M. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: crescimento, absorção e rendimento de grãos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1143-1151, nov. 2011.

- FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2011.
- FREITA, L. A.; COSTA, G. H. G.; MASSON, I. S.; FERREIRA, O. E.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R.. Chemico-technological parameters and maturation curves of sweet sorghum genotypes for bioethanol production. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 9, n. 50, p. 3638-3644, dec. 2014.
- FREITAS, R.M.O.D.; TORRES, S.B.; NOGUEIRA, N.W.; LEAL, C.C.P.; FARIAS, R.M.D. Cowpea seeds quality and yield according to cropping systems and hydric stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 370-376, out./dez. 2013.
- GETNET, Z.; HUSEN, A.; FETENE, M.; YEMATA, G. Growth, Water Status, Physiological, Biochemical and Yield Response of Stay Green Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Varieties-A Field Trial Under Drought-Prone Area in Amhara Regional State, Ethiopia. **Journal of Agronomy**, Erscheinungsort, v. 14, n. 4, p. 188-202, mar. 2015.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; BAKHSHI, J.; DALIL, B.; VAHED, M. M. Physiological quality of soybean seeds affected by water and light deficits. **Journal of Plant Physiology and Breeding**, Tabriz, v. 5, n. 2, p. 11-18, dez. 2015.
- GHASSEMI-GOLEZANI, K.; LOTFI, R.; NOROUZI, M. Seed quality of soybean cultivars affected by pod position and water Stress at reproductive stages. **International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences**, Houston, v. 2, n. 2, p. 119-125, jan. 2012.
- GOMES, S. **Produção de etanol utilizando mix de sorgo sacarino e cana-de-açúcar em processo de maturação**. 2014. 64 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2014.
- GUIGOU, M.; LAREO, C.; PÉREZ, L.V.; LLUBERAS, M.E.; VÁZQUEZ, D.; FERRARI, M.D. Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. **Biomass and Bioenergy**, Cambridge, v. 35, n. 7, p. 3058-3062, jul. 2011.
- GUIYING, L.; WEIBIN, G.; HICKS, A.; CHAPMAN, K. R. Training manual for sweet shorgum: regional office for Asia and the Pacific. **Chinese Academic Sciences**, Beijing, 2000.
- HAN, K. J.; PITMAN, W. D.; ALISON, M. W.; HARRELL, D. L.; VIATOR, H. P.; McCORMICK, M. E.; GRAVOIS, K. A.; KIM, M.; DAY, D. F. Agronomic considerations for sweet sorghum biofuel production in the South-Central USA. **Bioenergy Research**, New York, v. 5, n. 3, p. 748- 758, set. 2012.
- HANSON, B. R.; MAY, D. M.; Crop evapotranspiration of processing tomate in the San Joaquin Valley of California, USA. **Irrigation Science**, California, v. 24, p. 211-221, nov. 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 5. ed. São Paulo: IAL, 2008. 1020 p.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, J. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf extension and photosynthesis with irrigation. **Australian Journal of Agricultural Research**, Lismore, v. 59, p. 13-26, jan. 2008.

INMAN-BAMBER, N. G.; LAKSMANAN, P.; PARK, S. Sugarcane for water-limited environments: Theoretical assessment of suitable traits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 134, p. 95-104, ago. 2012.

INMAN-BAMBER, N. G.; MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J. Dry partitioning of sugarcane in Australia and South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 76, p. 71-84, jun. 2002.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, jun. 2005.

JUMRANI, K.; BHATIA, V. S. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 1-14, nov. 2017.

KATERJI, N.; MASTRORILLI, M. **Water use efficiency of cultivated crops.** In: eLS. John Wiley & Sons, Ltd: Chichester. p. 1-13, apr. 2014.

KAWAHIGASHI, H.; KASUGA, S.; OKUIZUMI, H.; HIRADATE, S.; YONEMARU, J. Evaluation of Brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. **Grassland Science**, Tochigi, v. 59, n. 1, p. 11-19, mar. 2013.

KHALIL, S. R. A.; ABDELHAFEZ, A. A.; AMER, E. A. M. Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. **Annals of Agricultural Science**, Egito, v. 60, n. 2, p. 317-324, dez. 2015.

LESSA, B. F. da T.; DUTRA, A. S.; OLIVEIRA FILHO, A. F. de; SILVA, T. M. da; SILVA, M. N. C.; BEZERRA, M. A. Sweet sorghum for ethanol production in the semi-arid: response to potassium silicate and maturation. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 3, jan./mar. 2018.

LESSA, B. F. T.; DULTRA, A. S. ; SILVA, T. M. ; SANTOS, C. C. ; SOUSA, W. N. Physiological maturation in seeds of sweet sorghum for foliar fertilisation with silicate. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 718-729, jul./set. 2017.

LIU, R., LI, J., SHEN, F. Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation. **Renewable Energy**, New York, v. 33, p. 1130–1135, may 2008.

- LOURENÇO, M. E. V.; MASSA, V. M. L.; PALMA, P. M. M.; RATO, A. E. M. Potencialidades do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para a produção sustentável de bioetanol no Alentejo. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 103-110, jan. 2007.
- LUO, L., VOE, T. E.; VAN DER, H. G. Life cycle assessment and life cycle costing of bioethanol from sugarcane in Brazil. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, New York, v. 13, p. 1613-1619, ago. 2009.
- MACHADO, D. F. S. P. **Fotossíntese e metabolismo de carboidratos em plantas jovens de cana-de-açúcar sob baixa temperatura e deficiência hídrica**. 2014. 95 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2014.
- MACHADO, F. H. B.; DAVID, A. M. S. de S.; SANTOS, S. R.; FIGUEIREDO, J. C.; SILVA, C. D.; NOBRE, D. A. C. Physiological quality of maize seeds produced under soil water deficit conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 7, p. 451-456, jul. 2020.
- MAIA JÚNIOR, S. de O.; GUERRA, H. O. C.; ANDRADE, J. R.; ARAÚJO, D. L.; CHAVES, L. H. G.; SUASSUNA, J. F. Crescimento, desenvolvimento e produção de três cultivares de girassol sob diferentes regimes hídricos. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v. 59, n. 2, p. 124-131, nov. 2016.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997. 319 p.
- MANSOUR, E., ABDUL-HAMID, M. I., YASIN, M. T., QABIL, N., ATTIA, A. Identifying drought-tolerant genotypes of barley and their responses to various irrigation levels in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 194, p. 58–67, dez. 2017.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660 p.
- MARQUES, A. R.; DUTRA, A. S. Metodologia do teste de condutividade elétrica em sementes de sorgo granífero. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 17, n. 1, p. 147-156, mar. 2018.
- MARTHUR, S.; UMAKANTH, A. V.; TONAPI, V. A.; SHARMA, R.; SHARMA, M. K. Sweet sorghum as biofuel feedstock: recent advances and available resources. **Biotechnology for Biofuels**, [s. l.], v. 10, p. 146, jun. 2017.
- MARTINS, A. M.; PARRELLA, R. D. C.; LOPES, D. D. C.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, N. N. L. D.; NEVES, W. D. S.; SILVA, A. Período de utilização industrial de

cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 217-231, dez. 2017.

MASSON, I. dos S.; COSTA, G. H. G.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 9, p. 1695-1700, set. 2015.

MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZÍLIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C. M. M. Implicações da época de colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 11, n. 3, p. 223-231, jul./set. 2017.

MAW, M. J. W.; HOUX III, J. H.; FRITSCHI, F. B. Maize, sweet sorghum, and high biomass sorghum ethanol yield comparison on marginal soils in Midwest USA. **Biomass and Bioenergy**, Cambridge, v. 107, p. 164-171, dez. 2017.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F. da; PEREIRA FILHO, I. A. Manejo e tratos culturais. In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. (ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G - tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 22-31. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139).

MAY, A.; DURÃES, F. Sorgo sacarino é a nova aposta para produção de álcool. **Campo & Negócios**, Uberlândia, v. 9, n. 109, p. 64-65, mar. 2012.

MAY, A.; DURÃES, F.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: sistema BRS1G – tecnologia qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 120p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/938275>. Acesso em: 23 maio 2020.

MENDES, R. M. S.; TAVÓRA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 95-103, jan. 2007.

MENGISTU, M. G.; STEYN, J. M.; KUNZ, R. P.; DOIDGE, I.; HLOPHE, H. B.; EVERSON, C. S.; JEWITT, G. P. W.; CLULOW, A. D. A preliminary investigation of the water use efficiency of sweet sorghum for biofuel in South Africa. **Water SA**, Petrória, v. 42, n. 1, p. 152-160, jan. 2016.

MIRÁS-AVALOS, J. M.; ALCOBENDAS, R.; ALARCÓN, J. J.; VALSESIA, P.; GÉNARD, M.; NICOLÁS, E. Assessment of the water stress effects on peach fruit quality and size using a fruit tree model, QualiTree. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 128, p. 1-12, oct. 2013.

- MONTEIRO, R. O. C.; COLARES, D. S.; COSTA, R. N. T.; LEÃO, M. C. S.; AGUIAR, J. V. Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 24, n. 4, p. 455-459, dez. 2006.
- MURARO, D. L. S.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; SIQUEIRA, D. P. Teste de condutividade elétrica em sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 4, p. 490-495, dez. 2017.
- NANGARE, D. D.; SINGH, Y.; KUMAR, S.; MINHAS, P. S. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 171, p. 73-79, may. 2016.
- NAVARRO, J. M.; BOTIA, P.; PÉREZ PÉREZ, J. G. Influence of deficit irrigation timing on the fruit quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Mac.). **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 175, p. 329-336, may 2015.
- NAVARRO, J. M.; PÉREZ PÉREZ, J. G.; ROMERO, P.; BOTIA, P. Analysis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by deficit irrigation treatments. **Food Chemistry**, Amsterdam, v. 119, n. 4, p.1592-1596, abr. 2010.
- NUNES, L. R. L.; PINHEIRO, P. R. ; DUTRA, A. S. Condutividade elétrica na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 1, p. 158-167, ago. 2019.
- OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Estabelecimento de plântulas de sorgo oriundas de sementes osmocondicionadas de diferentes qualidades fisiológicas. **Agrária**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 223-229, jun. 2011.
- OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B. Variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de reposição hídrica por gotejamento subsuperficial. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 34, n. 3, p. 350-363, set. 2019.
- OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Análise biométrica de cultivares de cana-de-açúcar cultivadas sob estresse hídrico no Vale do Submédio São Francisco. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 48-58, fev. 2016.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. dos S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, set. 2011.
- OLIVEIRA, F. de A. de; MEDEIROS, J. F. de; ALVES, R. de C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T. dos; RÉGIS, L. R. de L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 11, p. 1049-1056, nov. 2015.

- OLIVEIRA, L. M. de; SILVA, J. N. da; COELHO, C. C. R.; NEVES, M. G.; SILVA, R. T. L. da; OLIVEIRA NETO, C. F. de. Pigmentos fotossintetizantes, aminoácidos e proteínas em plantas jovens de graviola submetida ao déficit hídrico. **Revista Agroecossistemas**, Guamá, v. 5, n. 1, p. 39-44, nov. 2013.
- PAPANIKOLAOU, C.; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M. The effect of an intelligent surface drip irrigation method on sorghum biomass, energy and water savings. **Irrigation Science**, California, v. 31, p. 807-814, jul. 2012.
- PAYERO, J.; MELVIN S. R.; IRMAK, S.; TARKALSON, D. D. Yield Response of Corn to Deficit Irrigation in a Semiarid Climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, n.1-2, p. 101-112, jul. 2006.
- PEDÓ, T.; LOPES, N. F.; AUMONDE, T. Z.; MORAES, D. M. Partição de assimilados e atributos morfológicos em três cultivares de rabanete. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 5, n. 2, p. 23-28, jun. 2011.
- PEDROSO, T. Q.; SCALCO, M. S.; CARVALHO, M. L. M.; RESENDE, C. A.; OTONI, R. R. al. Qualidade de sementes de cafeeiro produzidas em diferentes densidades de plantio e regimes hídricos. **Coffee Science**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 155-164, jul. 2009.
- PELOEWETSE, E. Agro-industrial potential of sweet sorghum accessions grown under semi-arid conditions. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 11, n. 49, p. 10970-10975, jan. 2012.
- PELÚZIO, J. M.; RAMO, L. N.; FIDELIS, R. R.; AFFÉRI, F. S.; CASTRO NETO, M. D.; CORREIA, M. A. R. Influência da dessecação química e retardamento de colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja no sul do estado do Tocantins. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 77-82, abr./jun. 2008.
- PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELA, R. A. DA C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F. DE; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 2, p. 118-127, ago. 2013.
- QUAIN, M. D.; MAKGOPA, M. E.; GARC, B.M.; COMADIRA, G.; GARCIA, N. F.; OLMOS, E.; SCHNAUBELT, D.; KUNERT, K. J.; FOYER, C.H.. Ectopic phytoecystatin expression leads to enhanced drought stress tolerance in soybean (*Glycine max*) and *Arabidopsis thaliana* through effects on strigolactone pathways and can also result in improved seed traits. **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 12, n. 7, p. 903–913, set. 2014.
- RATNAVATHI, C.V., CHAKRAVARTHY, S., KOMALA, V., CHAVAN, U. AND PATIL, J. Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. **Sugar Tech**, [s. l.], v. 13, p. 399-407, dez. 2011.

ROBERTO, G. G.; CUNHA, C.; SALES, C. R. G.; SILVEIRA, N. M.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; LAGÔA, A. M. M. A. Variação da fotossíntese e dos teores de carboidratos induzidos por etefom e déficit hídrico na fase de maturação da cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 379-386, dez. 2015.

ROSSETO, R. **Maturação**. Local: EMBRAOA, 2007. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_90\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_90_22122006154841.html). Acesso em: 27 agosto 2020.

SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M., PAPALEXIS, D., NAKOS, N., KALAVROUZOTIS, I. K. Effects of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. Keller) on a dry year in central Greece. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 90, p. 181–189, jun. 2007.

SANKARAPANDIAN, R.; AUDILAKSHMI, S.; SHARMA, V.; GANESAMURTHY, K.; TALWAR, H. S.; PATIL, J. V. Effect of morpho-physiological traits on grain yield of sorghum grown under stress at different growth stages, and stability analysis. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 151, p. 630-647, out. 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Local: EMBRAPA, 2018. 356p.

SANTOS, L. C.; COELHO, R. D.; BARBOSA, F. S.; LEAL, D. P. V.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; BARROS, T. H. S.; LIZCANO, J. V.; RIBEIRO, N. L. Influence of deficit irrigation on accumulation and partitioning of sugarcane biomass under drip irrigation in commercial varieties. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 221, p. 322-333, jul. 2019.

SANTOS, R. F.; PLACIDO, H. F.; GARCIA, E. B.; CANTU, C.; ALBRECHT, A. J. P.; ALBRECHT, L. P.; SORDI, R de A. Sorgo sacarino para produção de etanol: uma visão do produtor e da usina de cana-de-açúcar. **Agroenergia em Revisão**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 31-33, ago. 2011.

SCHITTENHELM, S.; SCHROETTER, S. Comparison of drought tolerance of maize, sweet sorghum and sorghum-sudangrass hybrids. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 200, n. 1, p. 46-53, set. 2014.

SILVA, A. F.; FERREIRA, E. O.; COSTA, G. H. G.; MAONTIJO, N. A.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Technological quality of sweet sorghum processed without panicles for ethanol production. **Australian Journal of Crop Science**. Lismore, v. 10, n. 11, p. 1578-1582, nov. 2016a.

SILVA, A. F.; FERREIRA, O. E.; COSTA, G. H. G.; MONTIJO, N. A.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Technological quality of sweet sorghum processed without panicles for ethanol production. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 10, p. 1578-1582, nov. 2016.



SILVA, J. N.; CARDOSO SOBRINHO, J.; CARVALO, J. A.; DIAS, D. C. F. dos S.; REIS, F. P. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo coletadas em diferentes pontos de um secador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 487-491, set./dez. 2001.

SILVA, K. M. de J.; ASPIAZÚ, I.; PORTUGAL, A. F.; OLIVEIRA, R. M. de; OLIVEIRA, P. M. de; SANTOS, S. R. dos; MOREIRA, J. A. A. Determination of soil water tension for irrigation management of sweet sorghum. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 3, p. 1189-1200, maio/jun. 2016a.

SILVA, R. T. D.; OLIVEIRA, A. B. de.; LOPES, M. D. F. D. Q.; GUIMARÃES, M. D. A.; DUTRA, A. S. Physiological quality of sesame seeds produced from plants subjected to water stress. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 643-648, out./dez. 2016b.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L. S. B. Biomassa seca acumulada, partições e rendimento industrial da cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 686-696, set./out. 2014.

SILVA, T. M. da; LOPES, M. de F. de Q.; OLIVEIRA, A. B. de; NOGUEIRA, A. L. da S. P.; VIANA, I. E. T.; LESSA, B. F. da T. Physiological quality of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] seeds in response to planting density in semi-arid region. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 11, n. 6, p. 694-700, jun. 2017.

SILVA, T. M. da; OLIVEIRA, A. B. de; MOURA, J. G. de; LESSA, B. F. da T.; DE OLIVEIRA, L. S. C. de. Potential of sweet sorghum juice as a source of ethanol for semi-arid regions: cultivars and spacing arrangement effects. **Sugar Tech**, [s. l.], v. 20, p. 1-8, jun. 2018a.

SILVA, T. M. da; OLIVEIRA, A. B. de; SILVA, W. C.; LESSA, B. F. T.; OLIVEIRA, L. S. B. de. Spacing arrangements and environmental factors influence biomass production of sweet sorghum cultivars grown in semi-arid regions. **Journal of Agronomy**, Pakistan, v. 18, n. 1, p. 1-10, nov. 2018b.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M. J. M.; OLIVEIRA, A. A. R.; PINHEIRO, M. P. M. A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the submiddle São Francisco Valley, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p. 963 – 971, dez. 2018.

SIPOS, B.; RÉCZEY, J.; SOMORAI, Z.; KÁDÁR, Z.; DIENES, D.; RÉCZEY, K. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steampretreated bagasse. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 153, p. 151-162, nov. 2008.

SOARES, E. R. **Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino**. 2013. 41 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SOLANO, C. S.; PONIANO, N. J.; DAHER, R. F.; PARRELLA, R. A. Da C.; SOUZA, P. M.; ROCHA, J. P. S. M. Qualidade do caldo para produção de etanol em cultivares de sorgo

sacarino sob adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 3, p. 388-400, jan. 2018.

SOUSA, L. F.; SANTOS, J. G. D.; ALEXANDRINO, E; MAURÍCIO, R. M.; MARTINS, A. D.; SOUSA, J. T. L. Método prático e eficiente para estimar a área foliar de gramíneas forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 64, n. 245, p. 83-85, mar. 2015.

SOUZA, V. F.; PARRELL, R. A da C.; TARDIN, F. D.; COSTA, M. R.; CARVALHO JÚNIOR, G. A.; SCHAFFERT, R. E. Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 13, p. 144-151, jul. 2013.

SOUZA, V. F; PARRELLA, R. A.; PORTUGAL, A. F.; TARDIN, D. F.; DURÃES, N. N. L.; SCHAFFERT, R. E. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no Norte de Minas Gerais produção de etanol**. Búzios: SBMP, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40600/1/Desempenho-cultivares.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2015

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Local: Artmed, 2017. 888 p.

TARI, I., LASKAY, G., TAKACS, Z., POOR, P. Response of sorghum to abiotic stresses: a review. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlim, v. 199, p. 264-274, dez. 2013.

TAVARES L. C.; RUFINO, C. de. A.; BRUNES, A. P.; TUNES, L. M.; BARROS, A. C. A.; PESKE, S. T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1357-1363, ago. 2013.

TAVARES, A. C. S.; DUARTE, S. N.; DIAS, N. da S.; SÁ, F. V. da S.; MIRANDA, J. H.; FERNANDES, C. dos S. Produção e maturação de cana-de-açúcar submetida a encharcamento em diferentes estádios de desenvolvimento. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 154-166, jan./mar. 2017.

TEIXEIRA, D. T. de F.; NOGIEURA, G. A. dos S.; MALTAROLO, B. M.; ATAÍDE, W. L. da S.; OLIVEIRA NETO, C. F. Alterações no metabolismo do nitrogênio em plantas de noni sob duas condições hídricas. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 11 n. 22, p. 89-106, dez. 2015.

TEIXEIRA, T. P. M.; PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. dos S.; PARRELLA, R. A. da C.; PAIXÃO, M. Q. da; BIESDORF, E. M. Redefinition of sweet sorghum harvest time: new approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 109, p. 579-586, dez. 2017.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 102, p. 64-72, mar. 2007.

TUNES, L. M.; OLIVO, F.; BADINELLI, P. G.; CANTOS, A.; BARROS, A. C. S. A. Testes de vigor em sementes de aveia branca. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiiana, v. 15, p. 94-106, jan. 2008.

UCHINO, H.; WATANEBE, T.; RAMU, K.; SAHRAWAT, K. L.; MARIMUTHU, S.; WANI, A. P. Calibrating chlorophyll meter (spad-502) reading by specific leaf area for estimating leaf nitrogen concentration in sweet sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 36, n. 10, p. 1640-1646, jun. 2013.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; OLIVEIRA, D. E. C.; COSTA, L. M. Qualidade fisiológica das sementes de sorgo sacarino submetidas à secagem em diferentes condições de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 1, p. 64-69, jan. 2015.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; KARAGIANNIDIS, N.; GATSIS, T. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 38-46, jan. 2011.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; CECOM, P. R.; DELAZARI, F. T. Época de interrupção da irrigação na cultura da cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 18, p. 426-441, out. 2013.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, E. L. da.; DELAZARI, F. T. Produtividade de colmos e rendimento de açúcares da cana-de-açúcar em função de lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 234 - 244, jul. 2012.

WANG, M. L.; XIN, Z.; TONNIS, B.; FARREL, G.; PINNOW, D.; CHEN, Z.; DAVIS, J. W.; YU, J.; HUNG, Y.; PEDERSON, G. A. Evaluation of sweet sorghum as a feedstock by multiple harvests for sustainable bioenergy production. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 122-137, dez. 2011.

WATT, D. A.; MCCORMICK, A. J.; CRAMER, M. D. Source and sink physiology. In P. H. Moore, & F. C. Botha (ed.), **Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology**. Oxford: Willey Blackwell, 2014. p. 483-520.

WU, X.; STAGGENBORG, S.; PROPHTER, J. L.; ROONEY, W. L. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 31, p. 164-170, jan. 2010.

XIE, T.; SU, P. Canopy and leaf photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under drought stress. **Russian Journal of Plant Physiology**, Moscow, v. 59, n. 2, p. 224-234, mar. 2012.

YOUNESI, O.; MORADI, A. The effect of water limitation in the field on sorghum seed germination and vigor. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Lismore, v. 3, n. 2, p. 1156-1159, jan. 2009.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Photosynthetic response of sweet sorghum to drought and re-watering at different growth stages. **Physiologia Plantarum**, Chichester, v. 149, n. 1, p. 56-66, nov. 2012.

ZHAO, Y.L.; DOLAT, A.; STEINBERGER, Y.; WANG, X.; OSMAN, A.; XIE, G. H. Biomass yield changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, n. 1-2, p. 55–64, mar. 2009.

ZILIO, M. **Crescimento e partição de biomassa de cultivares de soja submetida à restrição hídrica em diferentes estádios fenológicos**. Lages, 2014. 193 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2014.