



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

MARIA VANESSA PIRES DE SOUZA

**ASPECTOS NUTRICIONAIS E ACÚMULO DE ÍONS NO SORGO
SOB ESTRESSES ABIÓTICOS**

MOSSORÓ

2021

MARIA VANESSA PIRES DE SOUZA

**ASPECTOS NUTRICIONAIS E ACÚMULO DE ÍONS NO SORGO
SOB ESTRESSES ABIÓTICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e irrigação

Orientador: Prof. Dr. José Francismar de Medeiros

MOSSORÓ

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S719a Souza, Maria Vanessa Pires de .
ASPECTOS NUTRICIONAIS E ACÚMULO DE ÍONS NO
SORGO SOB ESTRESSES ABIÓTICOS / Maria Vanessa
Pires de Souza. - 2021.
58 f. : il.

Orientador: José Francismar de Medeiros.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2021.

1. Sorghum bicolor. 2. Bioenergia. 3.
Salinidade. I. Medeiros, José Francismar de,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

MARIA VANESSA PIRES DE SOUZA

ASPECTOS NUTRICIONAIS E ACÚMULO DE ÍONS NO SORGO
SOB ESTRESSES ABIÓTICOS

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e irrigação

Defendida em: 30 / 08 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

JOSE FRANCISMAR DE MEDEIROS:27348636420 Assinado de forma digital por JOSE FRANCISMAR DE MEDEIROS:27348636420
Dados: 2021.09.02 19:50:34 -03'00'

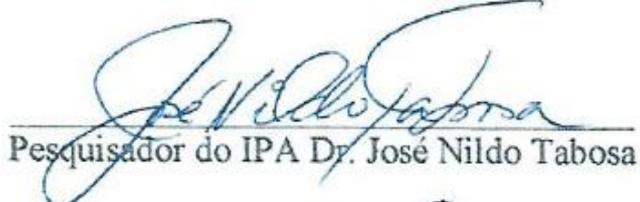
Prof. Dr. José Francismar de Medeiros

AURELIO PAES BARROS JUNIOR:02835623400 Assinado de forma digital por AURELIO PAES BARROS JUNIOR:02835623400
Dados: 2021.09.03 09:51:06 -03'00'

Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior



Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa


Pesquisador do IPA Dr. José Nildo Tabosa


Maria Vanessa Pires de Souza (discente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela proteção e por ter me permitido chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Cleomar Pires e Antônio Marcos, por todo apoio, incentivo e por sempre acreditar em mim.

Agradeço ao meu esposo Emérito Domingos pela compreensão, companheirismo, sempre me apoiando e fazendo de tudo para que eu consiga realizar meus sonhos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Francismar de Medeiros, pelos conhecimentos repassados, paciência, pelo empenho, dedicação e ajuda na realização do experimento e dissertação.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, assim como à Universidade Federal Rural do Semiárido, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa, que foi de grande valia durante todo o período do curso.

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço a Banca Examinadora pela disponibilidade e contribuições a serem feitas a este trabalho.

A todos os funcionários da fazenda Cumarú, em nome de Fernando, eu agradeço por todo o apoio durante a realização do experimento e colheita.

Agradeço aos meus parceiros de trabalho: Leonardo Vieira, Rodrigo Rafael, Milena chagas, Isabela Clemente, Gabriela Carvalho, Jéssica Crhistie, Lucas Melo, Elidayane da Nobrega, por toda a ajuda na execução do trabalho, análises e por nossos momentos de confraternização.

Agradeço também aos técnicos dos laboratórios de Pós-colheita (Gustavo) e solos (Valdete), pela ajuda na execução das análises.

RESUMO

O sorgo destaca-se por ser uma cultura que apresenta potencial produtivo para a região semiárida, tanto agronomicamente quanto para a geração de energia. Objetivou-se com esse trabalho avaliar as características tecnológicas do caldo, acúmulo de íons no caldo e de íons nas diferentes partes da planta de duas cultivares de sorgo submetidas a diferentes lâminas e concentrações de sais da água de irrigação, em uma área no semiárido brasileiro. Foram realizados dois experimentos simultâneos em uma área experimental, no período de setembro a dezembro de 2020, localizada no município de Upanema-RN. Os experimentos diferiram apenas para a cultivar utilizada, sendo a Ponta Negra referente ao experimento I, e a cultivar BRS 506, no experimento II. A cultivar de sorgo BRS 506 apresenta colmo doce e a cultivar Ponta Negra pertence ao grupo de duplo propósito e também de caule doce. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial (4 x 4), sendo o primeiro fator referente à salinidade da água de irrigação (1,5; 3,0; 4,5; e 6 dS m⁻¹), e o segundo referente às lâminas de irrigação (52, 66, 84 e 93% da ETc). Utilizou-se dois blocos com repetição dentro dos mesmos, formando 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais. As variáveis analisadas foram rendimento de colmo, rendimento do caldo, sólidos solúveis totais, açúcares totais, açúcares redutores, sacarose, pH, acidez titulável, íons solúveis no caldo (Ca, Na, K, P, Mg e Cl) e acúmulo de íons (Na, Cl e K) nas raízes, folhas e colmos das duas cultivares. Os dados foram interpretados por meio da análise de variância utilizando-se o teste F e aplicando análise de regressão, modelos polinomiais para lâminas e salinidade ao nível 5% de significância, procedendo-se aos cálculos em planilha eletrônica. A cultivar Ponta Negra apresentou redução de apenas 6% no rendimento de seu colmo quando utilizada a menor lâmina; na salinidade, por sua vez, a redução foi de 14% para o maior nível salino. A cultivar BRS 506 só apresentou redução no rendimento de colmo quando foi irrigada com a água de menor salinidade (1,5 dS m⁻¹), e só respondeu à salinidade quando irrigado com a maior lâmina, onde o rendimento foi máximo para 3,5 dS m⁻¹. Não houve significância para o rendimento de caldo. A salinidade da água afetou as variáveis tecnológicas do caldo para a cultivar Ponta Negra, ao passo que a cultivar BRS 506 apresentou resultados satisfatórios até o nível S3. O aumento das lâminas de irrigação proporcionou reduções na qualidade do caldo da C2. A ordem de acúmulo de íons solúveis no caldo foi de K > Cl > Mg > P > Na. A cultivar Ponta Negra acumulou mais íons de Na e Cl na sua raiz, ao passo que a BRS 506 acumulou mais Cl nos colmos. Para K, o acúmulo foi mais acentuado nos colmos de ambas as cultivares. A lâmina de irrigação apresentou efeito significativo apenas para Cl nas folhas e colmos e Na na raiz da cultivar Ponta Negra. A cultivar de sorgo BRS 506 se apresentou com elevado potencial produtivo de sacarose, mesmo cultivada sob condições de estresses hídrico e salino.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Bioenergia. Salinidade.

ABSTRACT

Sorghum stands out for being a crop with productive potential for the semi-arid region, both agronomically and for energy generation. The objective of this work was to evaluate the technological characteristics of the broth, ion accumulation in the broth and ion accumulation in the different parts of the plant of two sorghum cultivars subjected to different levels and concentrations of salts in the irrigation water, in a semi-arid area of Brazil. Two simultaneous experiments were conducted in an experimental area, in the period from September to December 2020, in the municipality of Upanema/RN. The experiments differed only for the cultivar used, being Ponta Negra in experiment I, and BRS 506 in experiment II. Sorghum cultivar BRS 506 present sweet culm and Ponta Negra cultivar belong to the dual purpose group and also sweet stem. The design was in randomized blocks, in a factorial scheme (4 x 4), with the first factor referring to the salinity of the irrigation water (1.5; 3.0; 4.5; 6 dS m⁻¹) and the second referring to the irrigation rates (52, 66, 84 and 93% of ETc). Two replicated blocks were used, forming 16 treatments and 64 experimental plots. The variables analyzed were cane yield, juice yield, total soluble solids, total sugars, reducing sugars, sucrose, pH, titratable acidity, juice soluble ions (Ca, Na, K, P, Mg and Cl) and ion accumulation (Na, Cl and K) in the roots, leaves and canes of the two cultivars. The data were interpreted by variance analysis using the F test and applying regression analysis, polynomial models for leaves and salinity at 5% significance level, proceeding to the calculations in an electronic spreadsheet. The cultivar Ponta Negra showed a reduction of only 6% in the yield of its cane when used the lowest salinity level, while with respect to salinity the reduction was 14% for the highest salinity level. The BRS 506 only showed a reduction in stem yield when it was irrigated with the lowest salinity water (1,5 dS m⁻¹), and only responded to salinity when irrigated with the highest depth, where the yield was maximum at 3,5 dS m⁻¹. There was no significance for the juice yield. The salinity of the water affected the technological variables of the juice for the Ponta Negra cultivar, while the BRS 506 cultivar showed satisfactory results up to level S3. The increase of the irrigation sheets provided reductions in the quality of the C2 juice. The order of accumulation of soluble ions in the juice was K > Cl > Mg > P > Na. The cultivar Ponta Negra accumulated more Na and Cl ions in its roots, while BRS 506 accumulated more Cl in the canes. For K, the accumulation was more accentuated in the canes of both cultivars. The irrigation blade showed a significant effect only for Cl in the leaves and canes and Na in the root of the cultivar Ponta Negra. The BRS 506 sorghum cultivar showed high sucrose productive potential, even cultivated under water and saline stress conditions.

Keywords: *Sorghum bicolor*. Bioenergy. Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Mapa de localização da área experimental em Upanema-RN.	22
Figura 2	–	Temperatura máxima, média e mínima durante o cultivo do sorgo.	22
Figura 3	–	Umidade relativa máxima, média e mínima durante o cultivo do sorgo.....	23
Figura 4	–	Croqui do experimento.....	25
Figura 5	–	Modelo do espaçamento adotado nos experimentos do sorgo.	26
Figura 6	–	Preparo da área (A) parcela do sorgo antes do desbaste (B).....	27
Figura 7	–	Evapotranspiração da referência (ET _o) diária estimada pela metodologia da FAO (ALLEN et al., 2006) durante o período do experimento.....	28
Figura 8	–	Coefficientes de Cultura (K _c) diário estimados pelo método do K _c dual (ALLEN et al., 2006) para as cultivares de sorgo, cultivares BRS 506 (C2) e BRS Ponta Negra (C1) cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.....	28
Figura 9	–	Queima do material na mufla (A), digestão do material incinerado com ácido nitríco (B).....	29
Figura 10	–	Espectrofotômetro de chama (A), titulação das amostras para determinação de cloreto (B).....	29
Figura 11	–	Separação dos colmos para moagem (A), extração do caldo do sorgo (B).....	30
Figura 12	–	Determinação de sólidos solúveis por refratômetro digital (A), potenciômetro (B).....	31
Figura 13	–	Determinação dos açúcares totais com aplicação da antrona (A), amostra para leitura dos açúcares (B), espectrofotômetro (C).....	32
Figura 14	–	Determinação de Ca e Mg por titulação (A), leitura do P em espectrofotômetro.....	33
Figura 15	–	Rendimento do colmo (BRS Ponta Negra) em função das lâminas de irrigação (A) e condutividade elétrica da água de irrigação (B).....	36
Figura 16	–	Rendimento do colmo (BRS 506) nas diferentes condutividades elétricas em função das lâminas de irrigação.....	37
Figura 17	–	Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C1), em função da salinidade da água de irrigação.....	38
Figura 18	–	Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C2), em função da salinidade da água de irrigação.....	40

Figura 19	–	Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C2), em função das lâminas de irrigação.....	41
Figura 20	–	Concentração de cloreto (Cl), sódio (Na) e magnésio (Mg) no caldo do sorgo em função da salinidade da água de irrigação, Cultivar Ponta Negra (A) e BRS506 (B).....	43
Figura 21	–	Concentração de potássio (K), cálcio (Ca) (A) e fósforo (P) (B) no caldo do sorgo em função da salinidade da água de irrigação cultivar BRS 506.....	44
Figura 22	–	Concentração de Na ⁺ na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.....	46
Figura 23	–	Concentração de Cl ⁻ na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.....	48
Figura 24	–	Concentração de K na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Atributos físicos e químicos do solo.....	23
Tabela 2	–	Composição química das águas utilizadas para irrigação do experimento.....	24
Tabela 3	–	Resumo da análise de variância para as características de qualidade do caldo pH, sólidos solúveis totais (SST), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR), sacarose (SAC) e Acidez titulável (ATT) para as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função do estresse hídrico e salino.....	34
Tabela 4	–	Resumo da análise de variância para os íons presentes no caldo sódio (Na), potássio (K), cloreto (Cl), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função do estresse hídrico e salino.....	41
Tabela 5	–	Resumo da análise de variância para os íons sódio (Na), cloreto (Cl) e potássio (K) presentes nas diferentes partes da planta folha, colmo e raiz, nas cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C1	Cultivar 1 BRS Ponta Negra
C2	Cultivar 2 BRS 506
DAS	Dias após a semeadura
ANA	Agência Nacional de Águas
BSwh	Muito seco, quente e com estação irregular
SST	Sólidos solúveis totais
AT	Açúcares totais
AR	Açúcares redutores
Sac	Sacarose
CO ₂	Dióxido de carbono
BSwh	Muito seco, quente e com estação de chuva irregular
S1	Nível salino da água de irrigação 1,5 dS m ⁻¹
S2	Nível salino da água de irrigação 3,0 dS m ⁻¹
S3	Nível salino da água de irrigação 4,5 dS m ⁻¹
S4	Nível salino da água de irrigação 6,0 dS m ⁻¹
L1	Lâmina de irrigação correspondente a 52% da ETc
L2	Lâmina de irrigação correspondente a 66% da ETc
L3	Lâmina de irrigação correspondente a 84% da ETc
L4	Lâmina de irrigação correspondente a 93% da ETc
MAP	Fosfato monoamônico
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
Kc	Coefficiente da cultura
Kcb	Coefficiente de cultura basal
nm	Nanômetro
uL	Microlitro
CEa	Condutividade elétrica da água de irrigação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	ORIGEM CARACTERÍSTICAS DA CULTURA	14
2.2	ASPECTOS ECONÔMICOS	15
2.3	PROBLEMÁTICA DA ÁGUA.....	16
2.4	SORGO COMO FONTE DE ENERGIA	17
2.5	SALINIDADE: PROBLEMÁTICA, MANEJO E EFEITO NAS PLANTAS	18
2.6	RESPOSTAS DO SORGO A ESTRESSES ABIÓTICOS	19
3	METODOLOGIA	21
3.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	22
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	23
3.3	PREPARO, INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS	25
3.4	MANEJO DA IRRIGAÇÃO	27
3.5	COEFICIENTE DA CULTURA	28
3.6	CARACTERÍSTICAS AVALIADAS.....	28
3.6.1	Concentração de nutrientes/ íons tóxicos na planta	28
3.6.2	Produtividade de colmos (t ha ⁻¹)	29
3.6.3	Rendimento e parâmetros tecnológicos do caldo	20
3.6.4	Avaliação de íons do caldo	32
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	PRODUÇÃO DE CALDO DO SORGO E QUALIDADE.....	33
4.2	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E OS ÍONS SÓDIO E CLORETOS NO CALDO DO SORGO	41
4.3	CONCENTRAÇÃO IÔNICA NOS ÓRGÃOS DA PLANTA DE SORGO NO INÍCIO DO EMBORRACHAMENTO	45
5	CONCLUSÕES	50
6	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população mundial, se eleva também a demanda em diversos setores de consumo, e o setor de energia não é diferente: a grande procura está causando aumento constante nos combustíveis fósseis, insumos esgotáveis que causam emissões de gases que agravam o efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global. Nesse contexto, investir em combustíveis à base de fontes renováveis é uma saída a fim de garantir o suprimento de energia para gerações futuras.

O etanol é um biocombustível que pode ser produzido a partir de diferentes fontes, como o amido, a sacarose e fontes celulósicas os chamados segunda geração (WALKER, 2011). No Brasil, a principal fonte para produção desses biocombustíveis é a sacarose presente nos colmos da cana-de-açúcar. Entretanto, o setor vem passando por alguns problemas referentes a oscilações de preços, devido ao período de entressafra da cana, o que causa ociosidade das unidades industriais e, conseqüentemente, baixa competitividade no mercado internacional. A inserção de matérias primas capazes de garantir a continuidade da produção é uma saída para resolver esses problemas na produção (CONAB, 2019; LESSA et al., 2018).

Uma cultura que se destaca para suprir a necessidade do setor sucroenergético é o sorgo sacarino. Estudos apontam o sorgo como matéria prima promissora, além de ser tolerante ao déficit hídrico, possuir ciclo curto e succulentos colmos com açúcares totalmente fermentáveis e com produção de massa verde variando de 40 a 60 t ha⁻¹ (MAY et al., 2014; COSTA et al., 2019). Por apresentar elevada concentração de sacarose, extração do caldo serve para produção de energia, pode ser utilizada para produção de álcool e açúcar, suprimindo a indústria na entressafra da cana. O bagaço gerado também é fonte de energia para a indústria e geração de eletricidade, permitindo também a produção de etanol de segunda geração (COSTA, 2017; EMBRAPA, 2012; LOURENÇO et al., 2010).

Outro ponto positivo que atrai o interesse para o cultivo do sorgo é sua capacidade adaptativa às condições de estresse abiótico existentes no semiárido, que é uma região caracterizada principalmente pela irregularidade das chuvas e pelas altas taxas de evapotranspiração, elementos que contribuem para o risco constante de escassez hídrica e salinidade (INSA, 2021). A capacidade adaptativa desta cultura é bastante útil e permite a utilização da espécie com rendimentos economicamente aceitáveis, sobremaneira quando o cultivo em condições salinas é inevitável, que é o caso do semiárido.

Pesquisas apontam que os genótipos de sorgo mais tolerantes possuem mecanismos

capazes de suportar estresses abióticos, apresentando a capacidade de acumular íons tóxicos sem causar grandes prejuízos à produção (LINO et al., 2020; COELHO, 2017; KAUSAR e GULL, 2019). Desta maneira, o uso do sorgo em áreas caracterizadas por possuírem águas salinas seria uma alternativa para incentivar a inserção dessas águas na produção vegetal, com o objetivo de que o produtor possa aumentar sua produção utilizando os recursos hídricos de maneira sustentável (SILVA et al., 2014).

Desta forma, são necessários estudos sobre o potencial produtivo de espécies que se desenvolvem bem em ambientes salinos, além da seleção de genótipos que possuem produção satisfatória sob baixa qualidade da água de irrigação e que sejam adaptadas às condições edafoclimáticas do semiárido, tendo em vista que pesquisas relacionadas à potencialidade do sorgo para produção de energia na região nordeste ainda são pouco vistas na literatura.

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as características tecnológicas do caldo, acúmulo de íons no caldo e de íons nas diferentes partes da planta de duas cultivares de sorgo submetidas a diferentes lâminas e concentrações de sais da água de irrigação, em uma área no semiárido brasileiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DA CULTURA

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L.) teve sua provável origem no continente africano, sendo África e Índia as duas regiões apontadas como seus centros de origem e a partir de onde teria ocorrido sua dispersão (EMBRAPA, 2009). É uma gramínea pertencente à família Poaceae, do gênero *sorghum*, dividido em duas subfamílias: *Panicoideae* e *Festucoideae*. Segundo Doggett (1988), os sorgos cultivados atualmente se originam do silvestre *Sorghum bicolor* subsp. *Arundinaceum*. Sua domesticação aconteceu por volta de 3.000 a.C., e até hoje vem sendo transformado para satisfazer as necessidades humanas (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009).

É uma planta que se destaca pela sua rusticidade, pertence ao grupo das plantas C4, é capaz de suportar elevados níveis de radiação solar e responder com altas taxas fotossintéticas, mesmo em condições de limitação na disponibilidade de CO₂ (LANDAU; SANS, 2010). Possui características agrônômicas vantajosas, dentre as quais se destacam o ciclo curto (110 a 120 dias), capacidade adaptativa, abrangendo uma variedade de solos e

clima, elevada produção de biomassa, alto potencial de produção de sacarose para conversão em etanol, eficiência energética e baixo consumo de água (MAY et al., 2014).

Existe grande diversidade de sorgos, por ser um gênero muito amplo e polimorfo, agronomicamente ele apresenta 5 grupos. Sorgos graníferos, mais utilizado para a produção de grão, apresentam porte baixo (híbridos e variedades) são adaptados à colheita mecânica. Sorgos forrageiros, para produção de massa para ensilagem, possuem porte mais alto. Sorgos lignocelulósicos ou biomassa servem para a produção de biomassa lignocelulósica. Sorgo sacarino serve para produção de etanol e bioenergia e, por último, temos o sorgo vassoura (TABOSA et al. 2019). Por ser uma espécie tão versátil, com grande variabilidade de uso, torna-se uma cultura com potencial para atender diversos segmentos do mercado no mundo.

A obtenção de altos rendimentos para a cultura do sorgo está associada a três fatores: radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica. O fotoperíodo para a cultura do sorgo é essencial, tanto em desenvolvimento quanto para o crescimento da planta. Com relação à temperatura, por ser uma cultura de clima tropical, é capaz de tolerar temperaturas acima de 40°, porém atinge maiores produtividades quando submetido a faixas de 24 e 30 °C.

A exigência hídrica do sorgo, quando comparada ao do milho e trigo, sai em vantagem, devido aos seus mecanismos de tolerância ao déficit hídrico, como, por exemplo, sistema radicular mais profundo e ramificado, presença de estômatos em maior número e com menor tamanho, presença de cera nas folhas e nos colmos e capacidade de entrar em estado de dormência sob ocorrência de estresse hídrico (EMBRAPA, 2017; FORNASIERI FILHO & FORNASIERI, 2009).

2.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

O sorgo foi introduzido no Brasil a partir do século XX, porém só começou a se destacar de forma significativa a partir dos anos 90. Hoje o país está entre os dez maiores produtores de sorgo no mundo, com produtividade de grãos de 3058,4 kg/ha (IBGE, 2019). Esses valores ainda estão muito abaixo do que a cultura realmente pode oferecer; alguns fatores que colaboram para isso são os baixos níveis tecnológicos aplicados para sua produção (sendo considerada uma cultura marginal ao milho), a falta de defensivos agrícolas registrados para a cultura, limitada capacidade de armazenamento e a inexistência de um mercado bem definido (RIBAS, 2014).

Atualmente a cultura vem sendo reconhecida como um valioso recurso, principalmente para a alimentação animal. Boa parte da sua produção é destinada à indústria

de ração, no caso da variedade granífera; por sua vez, o sorgo forrageiro, é destinado à formação de silagem para o rebanho, favorecendo a redução dos custos da alimentação. Para alimentação humana, praticamente não há consumo do sorgo no Brasil, apresentando sua maior destinação ao setor avícola, suinocultura e bovinocultura, respectivamente (ALBUQUERQUE et al., 2019).

No Nordeste, o sorgo tem sido apontado como uma cultura em potencial, indicado por apresentar adaptabilidade às condições dos estresses abióticos existentes no semiárido, sendo considerado moderadamente tolerante à salinidade (DIAS et al., 2016). Outra característica importante é sua resistência à seca em virtude de sua alta eficiência no uso da água, mesmo quando se irriga com lâmina deficitária (COSTA et al., 2019). Desta maneira, o sorgo apresenta-se como alternativa para a produção de material forrageiro, grãos, etanol e açúcar nesta região, com rendimentos economicamente aceitáveis para esta região.

2.3 PROBLEMÁTICA DA ÁGUA

A escassez da disponibilidade dos recursos hídricos é um dos grandes problemas que a agricultura está enfrentando atualmente. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), é crescente a demanda por água no Brasil, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas. A previsão é de que ocorra elevação de 24% na demanda até 2030.

Esse aumento tem resultado na utilização da maioria das fontes de boa qualidade, o que leva muitos produtores a utilizar água de qualidade não convencional e inferior para a irrigação das culturas, apresentando níveis salinos mais elevados, como, por exemplo, as águas salinas de poços e de drenagem agrícola, insumo residual de esgoto doméstico tratado e salmoura de estações de tratamentos de águas salobras (GHEYI et al., 2010).

Na região semiárida, em que as culturas não dispõem de água proveniente das chuvas suficiente para suprir suas necessidades hídricas durante todo o ciclo vegetativo, a irrigação assume papel de fundamental importância. No entanto, o sucesso da agricultura irrigada depende da quantidade e da qualidade da água utilizada. Em outras palavras, a existência de águas salobras e seu uso na irrigação podem provocar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das culturas, bem como, ao longo do tempo, salinização dos solos e improdutividade da área.

Dentre os prejuízos econômicos, está a diminuição acentuada da produtividade das culturas, visto que o excesso de sais solúveis afeta negativamente o metabolismo vegetal das plantas, reduzindo o crescimento, alterando suas funções fisiológicas (fotossíntese), distúrbios nutricionais, podendo, por fim, causar morte, em virtude dos efeitos tóxicos para a planta.

O uso de estratégias de manejo pode garantir a utilização da água salina na irrigação. Bernardo et al. (2019) destacam que o emprego de espécies tolerantes à salinidade e a adoção de práticas de manejo do solo e da água têm propiciado o uso de águas salinas na irrigação das culturas. Soares Filho et al. (2016) também destacam que a tolerância das plantas à salinidade é uma das estratégias essenciais para se conviver com o problema da salinidade da água na região semiárida.

Em regiões onde a água é escassa, a otimização da irrigação também é um aspecto de fundamental importância. Como o sorgo é uma cultura que apresenta tolerância a condições de estresse hídrico, uma irrigação ótima implicaria menores lâminas aplicadas em comparação à irrigação plena, sem que haja perdas significativas de produção (COSTA; MEDEIROS, 2017). Segundo Lacerda et al. (2005), o sorgo é caracterizado por sua tolerância moderada ao estresse salino, apresentando salinidade limiar em torno de $6,8 \text{ dS m}^{-1}$ (condutividade elétrica do extrato de saturação do solo) e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ (condutividade elétrica da água de irrigação) (RHOADES et al., 2000).

2.4 SORGO COMO FONTE DE ENERGIA

Devido à crescente demanda por fontes alternativas e sustentáveis de energia, o setor sucroenergético vem buscando novas matérias-primas capazes de atender à produção de etanol e energia. Neste contexto, dentre as culturas que atualmente vêm apresentando resultados promissores aparece o sorgo (MAY et al., 2014). O sorgo sacarino apresenta elevado potencial de produção de colmos (60 t ha^{-1}) com alto teor de açúcares no caldo, além de apresentar ciclo curto e menos necessidade hídrica do que a cana-de-açúcar e o milho, que são outras fontes para produção do etanol (ALBUQUERQUE et al., 2019).

Pesquisas realizadas com sorgo na região semiárida mostram o potencial produtivo dessa cultura. Lino et al. (2020), trabalhando com três cultivares de sorgo Ponta Negra, BRS 506 e IPA 2502, encontraram valores de 53,71, 39,89 e 27,91 t ha^{-1} de matéria fresca respectivamente. Oresca et al. (2021), trabalhando com sorgo consorciado com milho sob lâminas e doses de nitrogênio, obtiveram produção de biomassa de 76 t ha^{-1} e 66,79 t ha^{-1} , respectivamente, para lâminas e doses. Costa et al. (2017), avaliando a produção da primeira

rebrotas de cultivares de sorgo sob diferentes lâminas de irrigação, obtiveram 58,17, 48,03 e 46,53 t ha⁻¹ para os genótipos IPA SF-15, Ponta Negra e IPA 467, respectivamente.

No Brasil, a cana-de-açúcar é a matéria prima predominante na indústria sucroalcooleira para produção de etanol, o que torna o mercado vulnerável a possíveis crises causadas pela oscilação no preço do etanol devido à sazonalidade na produção e às variações climáticas (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2014). Como alternativa a essa situação, se torna necessário investir em culturas que possam garantir maior segurança na produção a fim de se manter e/ou aumentar a oferta de etanol no mercado.

O Sorgo sacarino vem se destacando por ser uma cultura altamente energética, ter alta produção de matéria seca, colmos ricos em carboidratos fermentáveis, ciclo curto, além de possuir colmos suculentos e caldo semelhante ao da cana-de-açúcar, podendo ser utilizado na entressafra da cana, período em que as usinas ficam ociosas, garantindo, assim, a contínua produção e reduzindo as variações nos preços do etanol (BATISTA et al., 2018).

A cultivar BRS 506 é uma aposta da EMBRAPA Milho e Sorgo para a complementação na produção de etanol, possuindo colmos suculentos e com alta concentração de açúcares, todavia ainda são poucas as pesquisas relacionadas à viabilidade deste genótipo para a região semiárida. Por sua vez, a cultivar BRS Ponta Negra apresenta grande adaptabilidade ao clima da região semiárida, foi desenvolvida para a produção de forragem pela EMBRAPA Milho e Sorgo, além de possuir alta capacidade de rebrotar e resistência ao acamamento (DURÃES et al., 2012; COSTA et al., 2017).

Diversas pesquisas vêm mostrando o potencial da cultura do sorgo para produção de energia. Câmara et al. (2018), avaliando o rendimento de etanol em diferentes genótipos de sorgo sacarino em planta e rebrota, constataram que o rendimento de etanol é 28% maior na primeira colheita. Estes autores ainda destacaram que o rendimento industrial varia de uma cultivar para outra. Costa; Medeiros (2017), trabalhando com o sorgo Ponta Negra e BRS 506, concluíram que estas cultivares apresentam maior potencial para produção de biomassa seca e capacidade de produção de etanol mesmo em condições salinas da água de irrigação, respectivamente. Dentre outros, Costa et al. (2019) observaram que a redução de 23% da lâmina considerada potencial para a cultura não prejudicou o rendimento total e de colmos das cultivares de sorgo BRS 506 e Ponta Negra, sendo a cultivar BRS 506 mais indicada para produção de etanol.

2.5 SALINIDADE: PROBLEMÁTICA, MANEJO E EFEITO NAS PLANTAS

A utilização da água em regiões que possuem adversidades climáticas, como é o caso da região semiárida brasileira, reconhecida por elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações, demanda especial atenção para que não ocorra escassez. Nessa região, é preciso cautela com o manejo da irrigação, pois muitas vezes as culturas são irrigadas com água de qualidade inadequada, apresentando deficiência ou ausência do sistema de drenagem, propiciando o acúmulo de sais no solo (SOUSA et al., 2014).

A irrigação é o agente com maior efeito sobre a produtividade agrícola, sobretudo na região semiárida, onde as lavouras dependem da quantidade e qualidade da água para atender às exigências e necessidades das culturas, além de realizar a lixiviação da quantidade excessiva de sais, evitando que depósito e acúmulo no solo (MIRANDA et al., 2011). Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade é fator limitante ao desenvolvimento da maioria das culturas (BERNARDO et al., 2019).

Existem dois fatores que causam inibição do crescimento de plantas sob condições de salinidade: o primeiro refere-se ao efeito osmótico provocado pela salinidade, que reduz a absorção de água, a pressão osmótica do meio (solo) aumenta e o potencial osmótico da planta diminui, evitando que as raízes absorvam a água mesmo em solo úmido; o segundo está relacionado ao efeito específico ou ao seu excesso dos íons que entram no fluxo de transpiração e, ocasionalmente, causam injúrias nas folhas, diminuindo o crescimento ou induzindo negativamente a absorção de elementos essenciais (MUNNS, 2005; DIAS et al., 2016).

A irrigação com água salina, na maioria das vezes, resulta em efeito adverso nas relações solo-água-plantas, ocasionando desequilíbrio principalmente nas funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, provocando o fechamento dos estômatos, para evitar a perda de água excessiva e limitações na concentração interna de CO₂, o que vai afetar a concentração dos pigmentos envolvidos na fotossíntese. Estes eventos vão ter efeito direto na queda do potencial produtivo das plantas cultivadas (GHEYI et al., 2010; TAIZ et al., 2017; GOMES et al., 2011).

Desta forma, torna-se cada vez mais necessária a busca por alternativas visando a amenizar os problemas decorrentes das mudanças climáticas que afetam a região semiárida. O uso de práticas de manejo da irrigação, utilização de culturas tolerantes à seca/salinidade e orientação são necessários para garantir produção satisfatória nessa região.

2.6 RESPOSTAS DO SORGO A ESTRESSES ABIÓTICOS

O estresse pode ser definido como qualquer condição ambiental que impeça a planta de alcançar seu potencial genético pleno. As variações dos fatores ambientais que estão fora da normalidade geralmente tendem a provocar consequências bioquímicas e fisiológicas negativas para as plantas. Como alternativa para lidar com estresses adversos, as plantas desenvolvem mecanismos de compensar as condições estressantes, alterando seus processos fisiológicos (atrasando ou acelerando) e seu desenvolvimento, a fim de assegurar seu crescimento e reprodução (TAIZ et al., 2017).

As plantas apresentam três mecanismos de ajustes que tornam possível sua resistência aos estresses abióticos: tolerância, resistência e escape. A cultura do sorgo possui dois destes mecanismos: a tolerância, relacionada ao nível bioquímico, e escape, caracterizado pela capacidade que a planta tem de aprofundar e ramificar seu sistema radicular, para tornar mais eficiente a extração de água (MAGALHÃES et al., 2014;).

Sob estresse ou escassez hídrica, o sorgo ativa características fisiológicas que permitem interromper o crescimento e/ou limitar suas atividades metabólicas (GUIMARÃES et al., 2019). Por outro lado, as plantas submetidas ao excesso hídrico diminuem as taxas de fotossíntese e de crescimento, tendo a condutância estomática afetada, acarretando uma queda da produção da parte aérea e raízes. Logo, as respostas tanto ao déficit quanto ao excesso variam conforme o nível de estresse (GUIMARÃES et al., 2016).

O sorgo é uma cultura que apresenta tolerância moderada à salinidade e resistência à seca, características variáveis conforme o genótipo. A salinidade geralmente é acompanhada pelo declínio da absorção de água na raiz, portanto plantas sujeitas ao déficit hídrico-salino fecham os estômatos inibem a absorção de nutrientes e reduzem a eficiência do aparato fotossintético (SANTOS et al., 2020; KAUSAR; GULL, 2019). Costa et al. (2019) constataram que a tolerâncias ao estresse varia com a cultivar: ao passo que a Ponta Negra perde menos na produção, a BRS 506 é mais sensível, tendo sua produção mais afetada.

Santos et al. (2020), trabalhando com a cultivar Sudão IPA 4202 submetida a diferentes regimes hídricos, constataram que a cultura apresenta alta eficiência no uso da água, tendo em vista que a irrigação com 50% da ETo da cultura não afetou seu desenvolvimento. Simões et al. (2017) testaram seis variedades graníferas de sorgo submetidas ao estresse salino, constatando efeito deletério para o crescimento e fisiologia das plantas como aumento da salinidade da água de irrigação.

O sorgo também reage ao estresse iônico, concentrando ou expulsando íons capazes de causar prejuízos ao seu metabolismo. Primeiramente ocorre diminuição da expansão e do

alongamento celular, por causa do decréscimo na turgescência celular, efeito osmótico, e pelo fato dos íons salinos, em especial Na^+ e Cl^- , afetarem diretamente os processos fotossintéticos e a absorção de nutrientes, efeito iônico (JAMIL et al., 2007; TAIZ et al., 2017).

Trabalhos mostram que, quando submetido a um ambiente salino, o sorgo apresenta é capaz de excluir Na^+ e reduzir o transporte de Na^+ das raízes para as folhas, descarregando Na do xilema para as raízes (YANG et al. 2018). Quando ultrapassa o limite da concentração de Na^+ suportada pela cultura, Na pode levar a um acúmulo tóxico na folha do sorgo e afetar a absorção e translocação de K, Ca e Mg, dificultando a atividade fotossintética e o desenvolvimento da planta. Porém, em cultivares mais tolerantes, o mecanismo de defesa do sorgo é aumentar a relação K/Na quando submetido ao estresse (SHAKERI e EMAM. 2020; ALMODARES et al, 2014).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Os experimentos foram realizados no período de agosto a dezembro de 2020, em uma área experimental localizada na zona rural do município de Upanema – RN, região Oeste do Rio Grande do Norte, cujas coordenadas são $5^{\circ} 33'33''$ de latitude Sul e longitude $37^{\circ} 11' 56''$ Oeste com 118 metros de altitude (Figura 1). O clima, segundo a classificação de Köppen, é BSw h' , muito seco, quente e com estação de chuva irregular; a média das temperaturas e umidade relativa durante a fase do experimento encontram-se nas figuras 2 e 3. A precipitação média anual fica em torno de 650 mm. Os dados climáticos do experimento foram coletados por uma estação montada próximo à área.

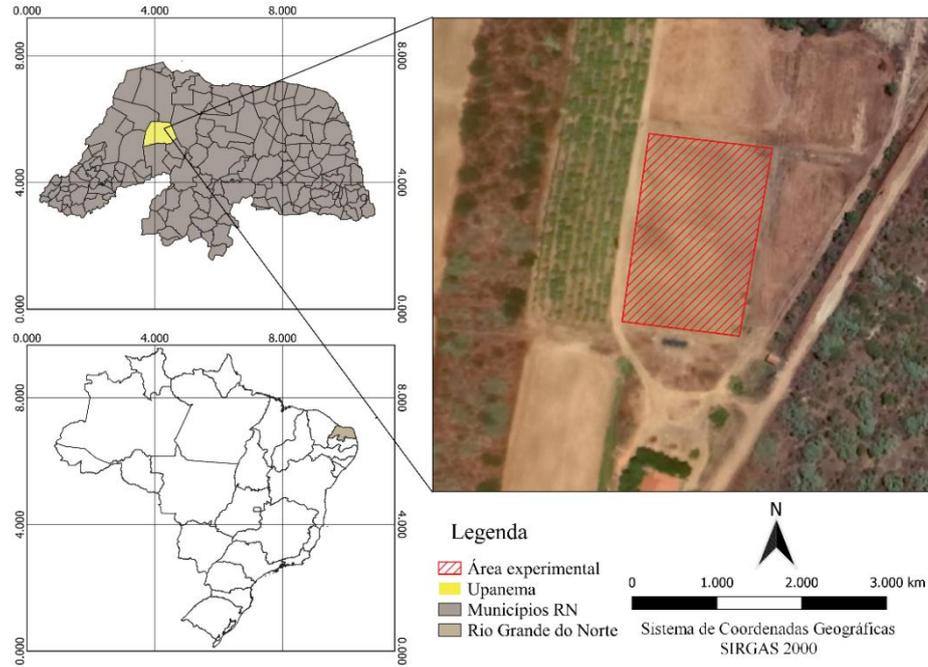


Figura 1. Mapa de localização da área experimental em Upanema-RN.

Fonte: Souza (2021).

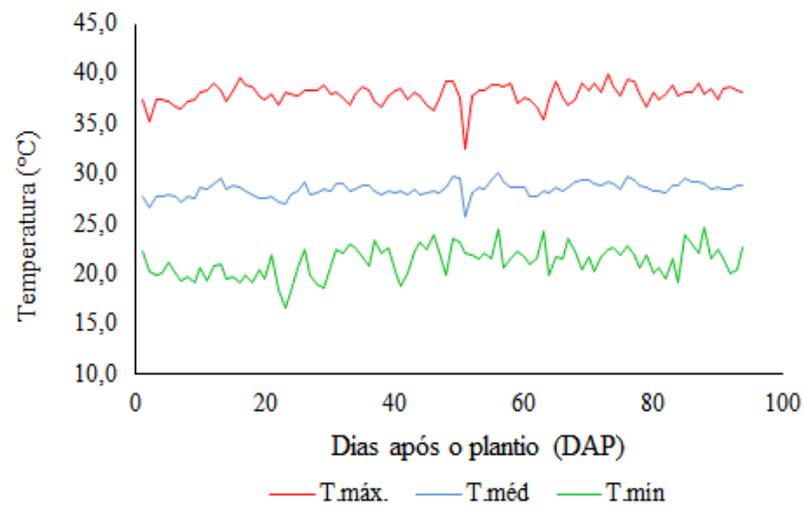


Figura 2. Temperatura máxima, média e mínima durante o cultivo do sorgo.

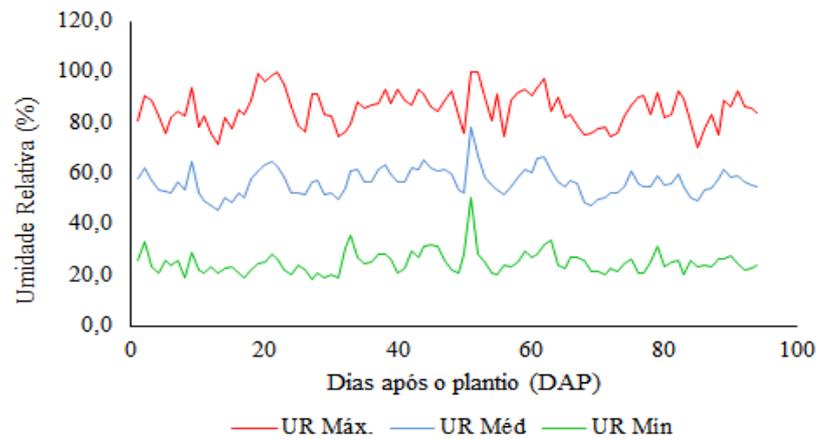


Figura 3. Umidade relativa máxima, média e mínima durante o cultivo do sorgo.

A área do experimento possui um solo classificado como Cambissolo (SANTOS et al., 2018). Foram coletadas amostras de solo com a finalidade de conhecer sua fertilidade antes da instalação do trabalho. O solo apresentou as seguintes características químicas e físicas (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo.

Solo (Profundidade 0-20 cm)								
P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	CE	M.O	pH (H ₂ O)
mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----					dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	
8,6	0,51	7,7	0,6	0,1	8,91	0,07	6,90	8,10
Atributos físicos (0-20 cm)								
Areia			Silte			Argila		
-----%-----								
78,0			6,0			16,0		

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Dois experimentos foram instalados um ao lado do outro e ao mesmo tempo, apresentando o mesmo delineamento experimental, diferindo entre si apenas para as cultivares: Experimento I: Cultivar BRS Ponta Negra (C1) e Experimento II: Cultivar BRS 506 (C2).

Os tratamentos foram constituídos de dois fatores, o primeiro referente à concentração de sais da água de irrigação (1,5; 3,0; 4,5; e 6 dS m⁻¹), o segundo representado pelas lâminas de irrigação (52, 66, 84 e 93% da ETc). O delineamento adotado foi em blocos casualizados

com repetição dentro do bloco, em esquema fatorial de 4 (S) x 4 (L), formando 16 tratamentos e 64 parcelas experimentais.

A água salina utilizada na irrigação foi preparada da seguinte forma: a de menor concentração (S1), com condutividade de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, foi proveniente de um poço tubular que explora água no aquífero arenítico calcífero. As demais S2, S3 e S4 de condutividades $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente, foram preparadas a partir da adição dos sais NaCl, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, até atingirem a proporção molar de cargas de 7:2:1 de Na, Ca e Mg. Foi escolhida essa proporção porque ela representa a composição média das águas salobras do semiárido nordestino (MEDEIROS, 1992).

A água de maior concentração foi baseada na tolerância à salinidade da cultura do sorgo para um rendimento potencial de 50%, de acordo com Ayers; Westcot (1999). Os outros dois níveis intermediários foram escolhidos para explorar melhor o comportamento da planta. As condutividades elétricas das águas foram monitoradas diariamente antes de cada irrigação, com o auxílio de um condutivímetro portátil. A composição química da água de irrigação está descrita na tabela 2.

Tabela 2. Composição química das águas utilizadas para irrigação do experimento.

	CE	Na	Ca	Mg	K	Cl	S04	HCO3
	dS m^{-1}	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
S1	1,50	5,0	8,0	2,0	0,12	8,1	0,3	7,0
S2	3,00	19,0	8,0	3,0	0,12	22,1	1,3	6,9
S3	4,50	28,5	12,0	4,5	0,12	35,6	2,8	6,9
S4	6,00	38,0	16,0	6,0	0,12	49,1	4,3	6,8

As lâminas de irrigação foram aplicadas como uma proporção da evapotranspiração da cultura (ET_c), ajustando-se às condições de campo e ao funcionamento do sistema de irrigação (52, 66, 84 e 93% da ET_c total estimada para o ciclo da cultura). A ET_c foi estimada diariamente a partir da estimativa da evapotranspiração de referência diária, pelo método de Penman-Monteith (Equação 1) proposto por Allen et al. (2006), e o coeficiente da cultura (K_c) diário foi determinado pelo método do K_c dual. Para calcular a lâmina bruta de irrigação, adotou-se a eficiência de irrigação de 95%. A ET_o foi estimada diariamente a partir de dados coletados em uma estação meteorológica instalada na área do experimento.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad \text{Eq. (1)}$$

As cultivares de sorgo escolhidas para o estudo foram a BRS 506 e Ponta Negra, cedidas pelo IPA (Instituto Agrônômico de Pernambuco) e pela EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), respectivamente. A cultivar BRS 506, embora muito rica em sacarose, ainda não tem sua adaptabilidade à região bem conhecida. Por sua vez, a cultivar Ponta Negra é adaptada ao Rio Grande do Norte, possuindo dupla aptidão, forrageira e granífera, embora em alguns estudos venha se mostrando com semi-sacarina ou sacarina. O croqui do experimento está descrito na figura 4.

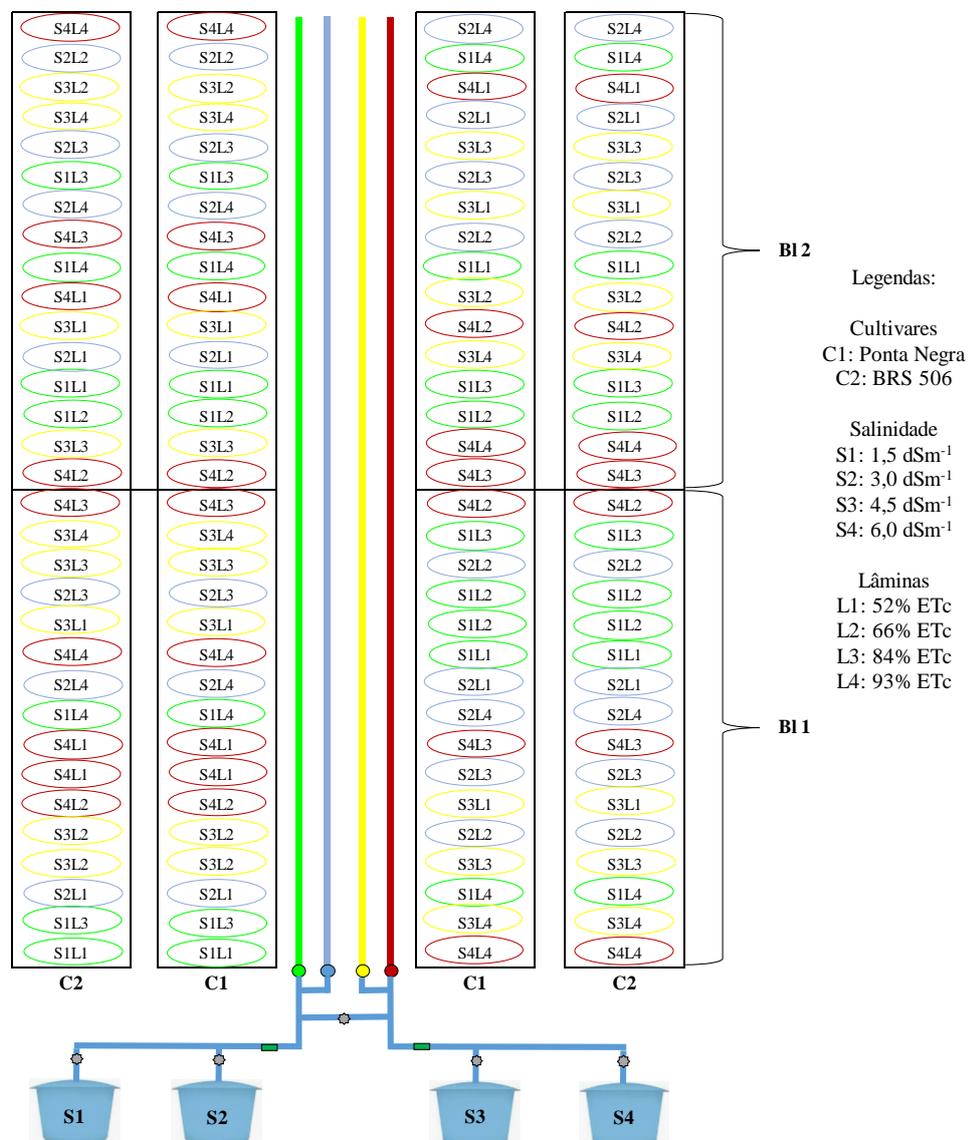


Figura 4. Croquis do experimento.

3.3 PREPARO DO SOLO, INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS

O preparo do solo foi realizado 20 dias antes da instalação do experimento, com uma aração seguida por uma gradagem, o solo foi sulcado e foram levantados camalhões, sendo realizado o plantio. Os tratos culturais consistiram em aplicação, antes da instalação do experimento, do herbicida Roundup para o controle de plantas espontâneas, que também foi realizado por controle manual durante o ciclo.

A adubação do solo foi realizada de acordo com as recomendações dos resultados da análise do solo e das exigências nutricionais da cultura. Para a adubação de fundação, foram usados $104 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 , utilizando como fonte o MAP, que acrescentou $22 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N. A adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação, aplicando 40 kg ha^{-1} de N, utilizando como fonte a ureia e 30 kg ha^{-1} de K_2O , utilizando como fonte o cloreto de potássio.

O sorgo foi plantado em fileiras duplas no espaçamento de $1,35 \times 0,25 \text{ m}$ entre plantas; na fileira, o espaçamento médio foi de $0,125 \text{ m}$ entre plantas na linha (Figura 5), para a cultivar C1 ($100000 \text{ plantas ha}^{-1}$) e $0,156 \text{ m}$ para a C2 ($80000 \text{ plantas ha}^{-1}$). A semeadura foi realizada com semeadora de canteiro manual, que distribui as sementes na linha. Entretanto, devido ao baixo poder germinativo das sementes, foi necessário fazer dois replantios ao 7^a e 11^a dias após a semeadura (DAS). Aos 18 DAS, foi realizado um desbaste para tentar uniformizar o estande.

As parcelas foram constituídas de fileiras duplas de 5 metros, sendo consideradas como parcela útil 14 plantas competitivas selecionadas e marcadas 25 dias após o plantio, devido variação de stand entre as parcelas.

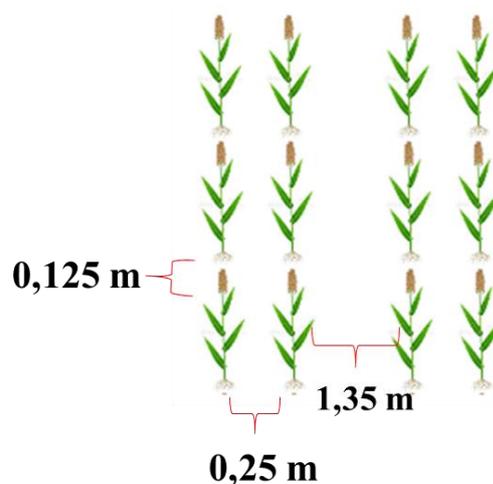


Figura 5. Modelo do espaçamento adotado nos experimentos do sorgo.



Figura 6. Preparo da área (A) parcela do sorgo antes do desbaste (B).

3.4 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi por gotejamento, com emissores de diferentes vazões e espaçamentos, o que proporcionou as seguintes vazões por metro de linha: 5,21; 6,70; 8,57 e 9,55 L h⁻¹ m⁻¹, para fornecer vazões por metro linear proporcionalmente às lâminas requeridas. A irrigação ocorreu com frequência diária, com base na evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), estimada multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente de cultura (K_c), conforme método proposto pela FAO 56 (ALLEN et al., 2006), aplicando-se a metodologia do K_c dual. Os valores de K_{cb} (K_c basal da cultura) recomendados pela FAO 56 são iguais a 0,15; 1,00 e 0,70 para o sorgo, nas fases inicial e intermediária e no final (colhido no ponto de silagem ou para produção de etanol), respectivamente. Os dados diários de ET_o estimados diariamente são representados na figura 7.

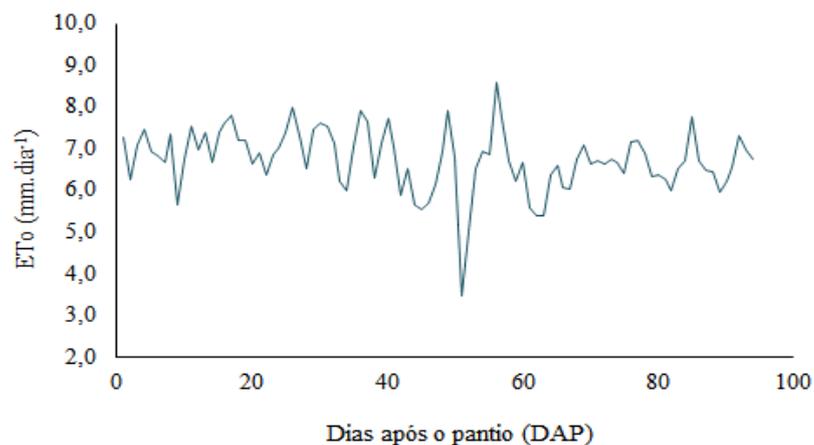


Figura 7. Evapotranspiração da referência (ET_o) diária estimada pela metodologia da FAO (ALLEN et al., 2006) durante o período do experimento.

3.5 COEFICIENTE DA CULTURA

Os dados de K_c foram calculados numa planilha utilizando o K_c dual, figura 8.

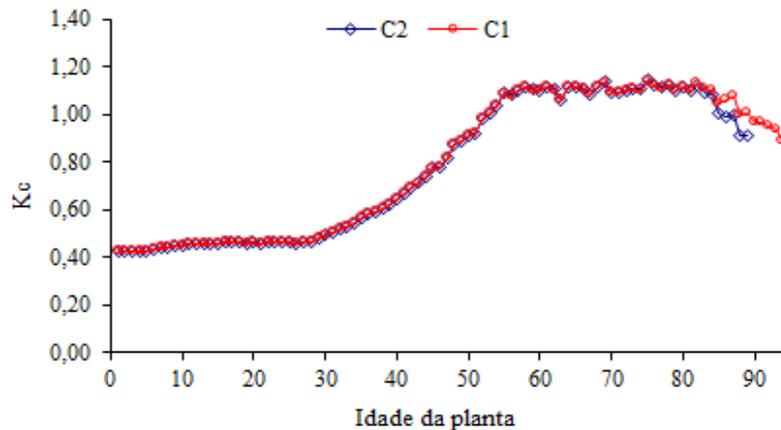


Figura 8. Coeficientes de Cultura (K_c) diários estimados pelo método do K_c dual (ALLEN et al., 2006) para as cultivares de sorgo, cultivares BRS 506 (C2) e BRS Ponta Negra (C1) cultivado sob irrigação no município de Upanema, RN, Brasil.

3.6 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

3.6.1 Concentração de nutrientes/ íons tóxicos na planta

Foram coletadas duas plantas por parcela experimental (as coletas ocorreram aos 49 DAS para C1 e 39 DAS para C2), em seguida as plantas foram separadas em folhas, colmos e raízes. Esse material foi colocado em estufa à temperatura de circulação forçada mantida em cerca de 65 °C, até atingirem massa constante.

Após obtenção da massa seca das folhas, colmos e raízes, o material foi processado em moinho do tipo Willey e foram feitas as determinações de Cl⁻, Na⁺ e K⁺. A determinação dos teores de nutrientes (Na, K) ocorreu por meio da decomposição por via seca segundo a metodologia da EMBRAPA (2009), as amostras foram incineradas em forno tipo mufla elétrico a uma temperatura entre 500 °C na atmosfera ambiente (Figura 9 A) e dissolvidas com solução de ácido nítrico a 1N (1mol L⁻¹) (Figura 9 B).

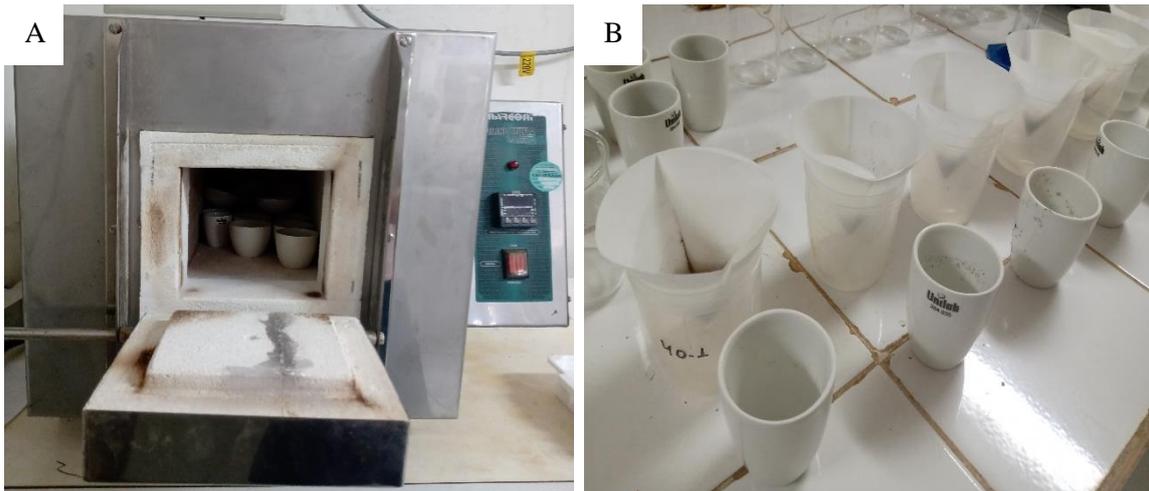


Figura 9. Queima do material na mufla (A), digestão do material incinerado com ácido nítrico (B).

Após a digestão do tecido, determinou-se a concentração de sódio e potássio pela técnica de fotometria de chama (Figura 10 A). A concentração de Cl^- foi determinada pelo método de MOHR, extraído pela solução de nitrato de cálcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), na forma de íon cloreto, foi titulado com solução padronizada de nitrato de prata (AgNO_3), na presença de cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador (Figura 10 B).

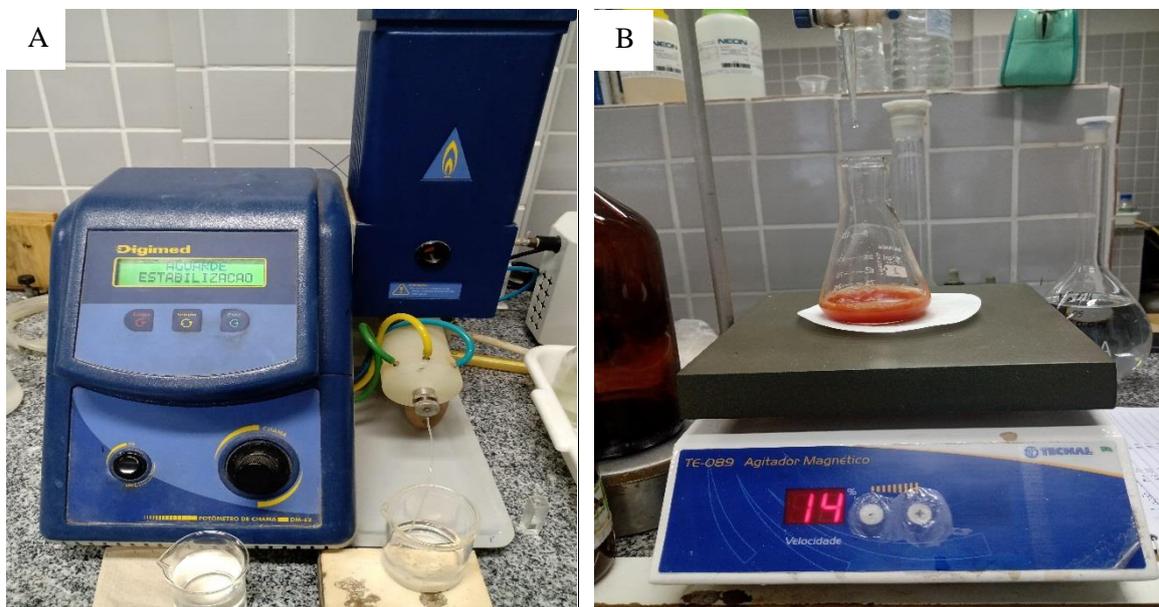


Figura 10. Espectrofotômetro de chama (A), titulação das amostras para determinação de cloreto (B).

3.6.2 Rendimento de colmos (t ha^{-1})

A produtividade foi determinada por meio da pesagem total dos colmos colhidos da área útil, que foi de 10 plantas para a cultivar 2 (BRS 506) e de oito plantas para a cultivar C1 (BRS Ponta negra) no momento da colheita, com o auxílio de uma balança digital, sendo os valores convertidos em $t\ ha^{-1}$, multiplicando-se a massa média por planta pela densidade (plantas por hectare) e convertendo para toneladas.

3.6.3 Rendimento e Parâmetros tecnológicos do caldo

Para a extração de caldo, os experimentos diferiram apenas na quantidade das plantas coletadas. Para a cultivar C2, foram coletadas aleatoriamente três plantas inteiras de cada parcela, ao passo que para a cultivar C1 foram coletadas duas plantas. As quantidades foram diferentes para as duas cultivares devido a questões de logística: a quantidade de mão de obra na coleta da C2 foi bem maior que na C1. Foram retiradas as folhas e as panículas – colmos limpos, colhidos na parcela útil (Figura 11 A), e moídos em moendas específicas utilizadas para extração de caldo de cana (Figura 11 B). O rendimento do caldo foi obtido da seguinte forma: depois de extraído e filtrado em malha de 0,5 mm, o caldo foi pesado e seu valor convertido para t/ha.

Para os parâmetros tecnológicos, procedeu-se da seguinte forma: o caldo utilizado foi extraído das plantas de sorgo inteiras (não havendo separação da parte inferior ou superior do sorgo). Após a extração, o caldo foi peneirado, filtrado em algodão, acondicionado em frascos de plástico e congelados em freezer na temperatura de $-20^{\circ}C$ para posteriores análises.



Figura 11. Separação dos colmos para moagem (A), extração do caldo do sorgo (B).

a) Sólidos solúveis totais do caldo – SST (°Brix)

Após extração do caldo em moendas, foi retirada uma alíquota e foram determinados os Sólidos Solúveis Totais com auxílio do refratômetro digital (Figura 12 A).

b) pH e Acidez titulável (ATT)

O pH foi determinado por meio do pHmetro digital. A acidez total titulável foi determinada conforme a metodologia do instituto Adolfo Lutz (1985), por titulação com NaOH (0,02 N) de uma alíquota de 10 g de caldo, em duplicata, à qual foram adicionados 40 mL de água destilada e, em seguida, procedeu-se à titulação com solução de NaOH a 0,02 N. O ponto final da titulação foi determinado com o auxílio do pHmetro digital até o pH atingir 8,1 (Figura 12 B).

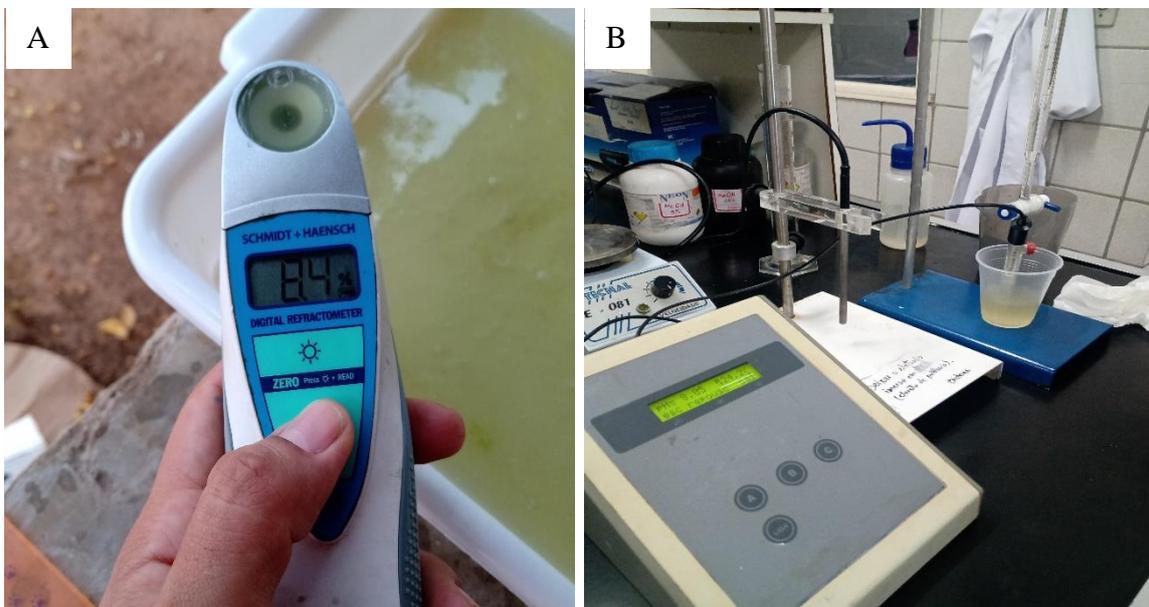


Figura 12. Determinação de sólidos solúveis por refratômetro digital (A), potenciômetro (B).

c) Açúcares totais (AT)

Foram determinados pelo método da Antrona, conforme Yemn; Willis (1954). Utilizando-se 0,5 ml do caldo, diluídos com água destilada em balão volumétrico de 100 ml. Transfere-se então deste diluído 100 uL + 900 uL de água destilada para um tubo de ensaio.

Adiciona-se, em seguida, 2,0 ml de antrona (Figura 13 A), agita e leva ao “banho maria” por 12 minutos. Posteriormente, transfere-se o líquido para as cubetas e é determinada a absorbância em espectrofotômetro, em comprimento de onda de 620 nm (Figuras 13 B e C).

d) Açúcares redutores (AR)

Foram determinados pelo método de Somogy-Nelson (NELSON, 1960), utilizando 1mL do caldo diluído completado com água destilada até 50 mL. Em seguida, transfere-se do diluído 200 uL + 800 uL de água destilada e adiciona-se 500uL do reagente cúprico em um tubo de ensaio. Leva-se ao “banho maria” por 20 min, em seguida adiciona-se 500uL do arsênio molibídico e 3,5 mL de água destilada. Efetua-se então a leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 540nm, utilizando como padrão a glicose e resultados expressos em porcentagem (%).

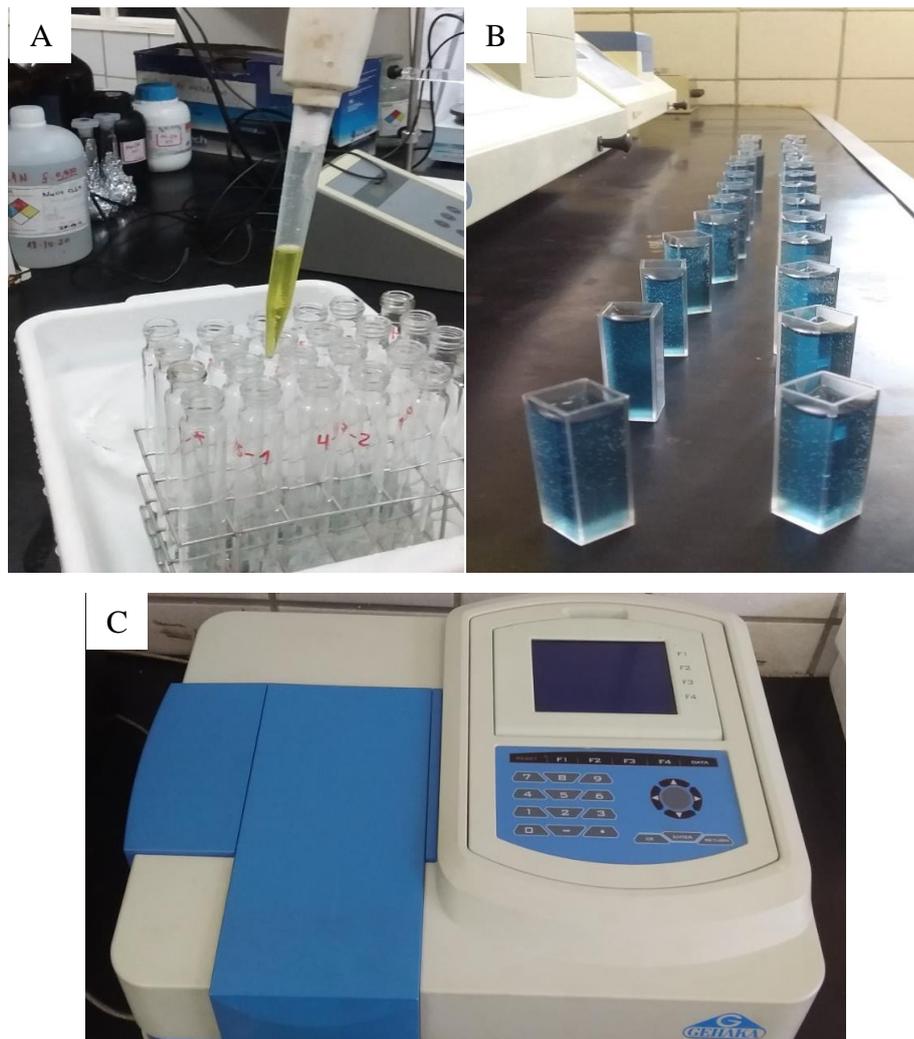


Figura 13. Determinação dos açúcares totais com aplicação da antrona (A), amostra para leitura dos açúcares (B), espectrofotômetro (C).

3.6.4 Avaliação de íons do caldo

Foram avaliados os teores de nutrientes solúveis presentes no caldo, levando como exemplo a metodologia para solução aquosa de Teixeira et al. (2017). Os íons de sódio e potássio foram determinados por meio do espectrofotômetro de chama. O cloreto foi determinado por meio de titulação: pegou-se 10 mL do caldo, adicionou-se quatro gotas do cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador, depois prosseguiu-se com a titulação com solução padronizada de nitrato de prata ($AgNO_3$). Cálcio e magnésio também foram obtidos por meio de titulação, o Ca pela titulação direta e o Mg pela subtração dos titulados Ca+Mg subtraído do valor titulado de Ca (Figura 14 A). Por sua vez, P foi obtido por meio do espectrofotômetro (Figura 14 B).

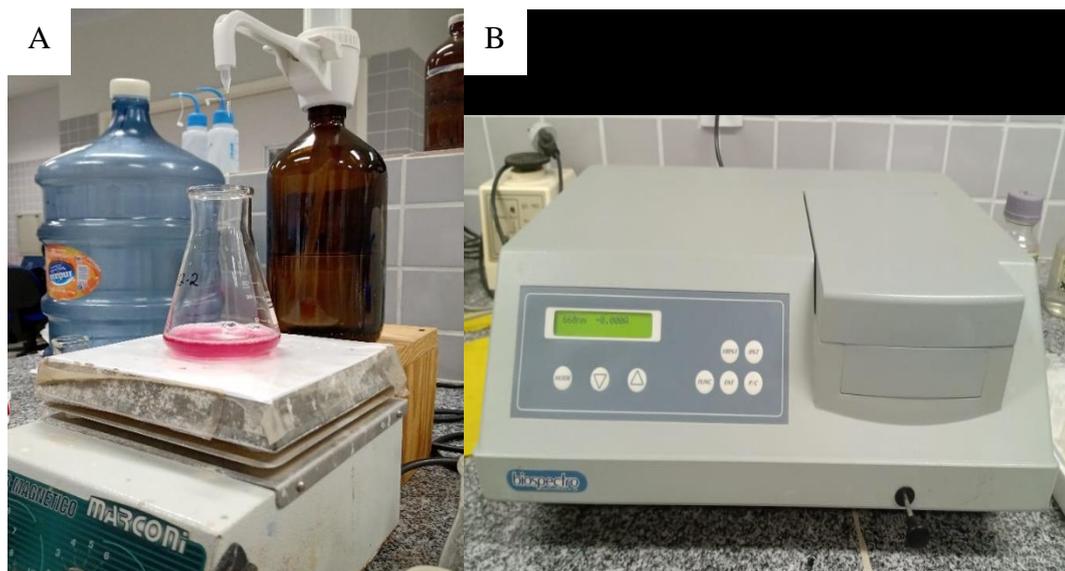


Figura 14. Determinação de Ca e Mg por titulação (A), leitura do P em espectrofotômetro.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram interpretados por meio da análise de variância utilizando-se o teste F e aplicando análise de regressão, modelos polinomiais para lâminas e salinidade ao nível 5% de significância. As análises foram determinadas conforme Banzatto; Kronka (2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PRODUÇÃO DE CALDO DO SORGO E QUALIDADE

De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 3), para a cultivar Ponta Negra (C1), houve efeito isolado tanto de lâminas quanto de condutividade elétrica em para rendimento do colmo. Para a cultivar BRS 506 (C2), houve interação significativa entre lâminas e condutividade da água de irrigação. Com relação aos parâmetros tecnológicos, para cultivar C1, os sólidos solúveis totais (SST), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e sacarose (SAC) foram influenciados significativamente pela salinidade da água de irrigação. Para o pH e acidez titulável (ATT), não houve diferença estatística. Observou-se para a cultivar C2 efeito significativo para os açúcares totais e sacarose, em relação à salinidade da água. Para açúcares redutores, houve efeito de interação entre lâminas e salinidade da água. Houve efeito isolado de lâminas para as variáveis sólidos solúveis totais, açúcares totais e sacarose. Para pH e acidez titulável, não houve efeito significativo.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para as características de qualidade do caldo pH, sólidos solúveis totais (SST, em %), açúcares totais (AT, em %), açúcares redutores (AR, em %), sacarose (SAC, em %) e Acidez titulável (ATT, em %), rendimento de colmo (RColmo, t ha⁻¹) e rendimento de caldo (RCaldo, em t ha⁻¹) para as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função do estresse hídrico e salino.

Cultivar C1 - BRS Ponta Negra								
FV	GL	pH	ATT	SST	AT	AR	SAC	RColmo
Estatística F								
BLOCO	1	0,028	0,952	0,656	0,485	0,497	0,378	0,232
SAL	3	2,32 ^{ns}	5,58 ^{ns}	8,46*	6,82**	9,87**	4,10**	3,83**
L	1	0,45	10,44	17,88	19,01	28,32	10,45	0,002
Q	1	3,30	4,34	5,34	1,40	0,02	1,62	0,415
LAM	3	1,54 ^{ns}	0,94 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,77 ^{ns}	4,33 ^{ns}	0,70 ^{ns}	2,57*
L	1	0,35	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00	4,39
Q	1	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,08
SALxLAM	9	0,35 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,44 ^{ns}
CV	(%)	1,9	19,8	16,9	20,4	12,4	32,1	14,6
MÉDIAS		5,29	0,10	11,15	9,24	3,59	5,36	39,35
Cultivar C2 - BRS 506								
BLOCO	1	0,308	0,520	0,608	0,289	0,462	0,259	0,987
SAL	3	0,41 ^{ns}	0,93 ^{ns}	2,50 ^{ns}	2,70*	4,58**	3,49*	1,28 ^{ns}
L	1	0,00	0,00	1,92	4,57	0,76	4,66	1,00
Q	1	0,00	0,00	4,01	3,41	10,41	5,66	1,00
LAM	3	2,72 ^{ns}	1,12 ^{ns}	5,66**	3,02**	0,76 ^{ns}	2,49*	0,96 ^{ns}
L	1	0,62	0,00	12,74	7,15	0,00	5,80	0,00
Q	1	0,03	0,00	0,84	0,45	0,00	0,80	0,00
SALxLAM	9	1 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,83 ^{ns}	3,67*	1,32 ^{ns}	2,41*
CV	(%)	2,7	14,4	9,1	12,9	24,8	16	14,6
MÉDIAS		5,44	0,15	17,51	15,38	1,92	12,79	58,81

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SAL: salinidade da água; LAM: lâmina de irrigação; *significativo ao nível de 5%; **significativo ao nível de 1%, ^{ns} não significativo.

Avaliando-se o rendimento de colmos em função das lâminas e condutividade da água de irrigação (Figura 15 A), verificou-se aumento linear no rendimento de colmos com o aumento das lâminas para a cultivar Ponta Negra. O valor máximo atingido foi de 42 t ha⁻¹ na lâmina 439 mm. Porém, vale destacar que a cultivar apresentou perda reduzida com a diminuição da lâmina de irrigação, tendo em vista que a redução da lâmina de 487 mm, que corresponde a 93% da ETc, para 273 mm (52% da ETc) o rendimento diminuiu em apenas 6%.

Esse resultado confirma as pesquisas que salientam o uso dessa cultivar para a região semiárida (LINO et al., 2020), pois além da alta tolerância ao estresse hídrico, traria grande redução dos custos de produção dessa cultivar. De acordo com a literatura, existem três mecanismos relacionados ao comportamento das plantas ao estresse: resistência, tolerância e escape. Dessas três, o Sorgo apresenta duas: a tolerância, relacionada ao nível bioquímico da planta, e o escape, que ocorre por meio do seu sistema radicular, que consegue se ramificar e atingir camadas mais profundas do solo, elevando a eficiência de extração de água (MAGALHÃES et al., 2014).

Resultados contrários ao presente estudo foram encontrados por Costa et al. (2019), para quem a produtividade dos colmos da cultivar Ponta Negra caiu com o aumento da lâmina de irrigação. Para condutividade elétrica (Figura 15 B), observa-se redução linear de rendimento à medida que se aumentou a salinidade da água. Houve redução de 14,3% no rendimento dos colmos para o maior nível de condutividade elétrica da água de irrigação, sendo o valor máximo de 41,7 t ha⁻¹ obtido na CEa de 1,5 dS m⁻¹.

Apesar de ser considerada moderadamente tolerante à salinidade, o presente estudo mostra que podem ocorrer reduções no rendimento de colmos para esta cultivar em resposta ao aumento da salinidade da água de irrigação. Embora o rendimento mínimo encontrado (35,7 t ha⁻¹) na maior salinidade (6 dSm⁻¹) tenha sido superior a valores encontrados em outros trabalhos, como Costa et al. (2017) e Costa et al. (2019), com valores médios de 33,18 e 32,9 t ha⁻¹ respectivamente, a redução de rendimentos para a salinidade da água de irrigação de 6,0 dS m⁻¹ e em relação a de 1,5 dS m⁻¹ foi de apenas de 14,3%.

Essa redução no rendimento dos colmos pode estar relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, tendo em vista que a planta busca se osmorregular diante do estresse, portanto essa redução pode ser o reflexo do custo metabólico de energia. Para Silveira et al. (2016), as plantas na presença da salinidade moderada geralmente conseguem completar seus ciclos de desenvolvimento, porém pagando

o preço da menor produtividade, que pode ser atribuída à maior resistência estomática, tendo como consequência a menor fotossíntese, quando sob estresse.

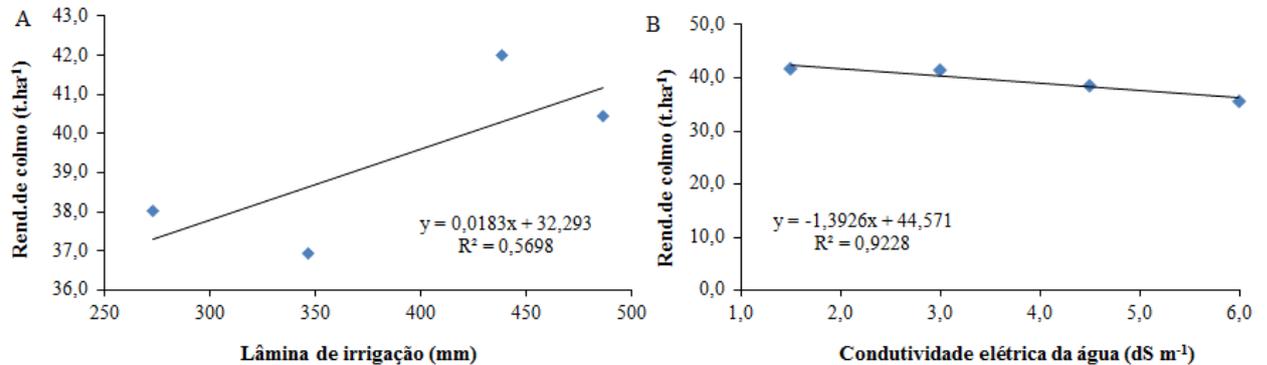


Figura 15. Rendimento do colmo (BRS Ponta Negra) em função das lâminas de irrigação (A) e condutividade elétrica da água de irrigação (B).

Observou-se que para a cultivar BRS 506 (figura 16 A) na salinidade baixa ($CE = 1,5 \text{ dS m}^{-1}$) quanto maior foi o nível de estresse maior foi também o rendimento, ao passo que para os dois níveis mais salinos ($\geq 4,5 \text{ dS m}^{-1}$) o rendimento não variou entre as lâminas de 52 e 93% da ETC. Para lâminas de até 80%, a salinidade não alterou a produção de colmos.

Resultados diferentes foram encontrados por Costa; Medeiros (2017), que não encontraram efeito significativo para interação entre lâminas e salinidade em cultivares de sorgo. Para as salinidades S3 e S4, a produção de colmos em relação a lâminas de irrigação não se ajustou a nenhum modelo, apresentando valores médios de 62,4 e 57 t ha⁻¹, respectivamente.

Por outro lado, quando se avaliou o rendimento em função das condutividades da água dentro de cada lâmina de irrigação, a lâmina L4 apresentou como resposta um modelo quadrático obtendo um rendimento máximo de 72,43 t ha⁻¹, na condutividade de 3,8 dS m⁻¹. As demais lâminas não se ajustaram a nenhum modelo, obtendo-se valores médios de 57,58; 57,54; 58,19 t ha⁻¹ para as lâminas L1, L2 e L3, respectivamente.

Esse rendimento de colmos para a cultivar BRS 506 mostra que ela responde melhor quando há maior disponibilidade de água em função da salinidade, o que se reflete diretamente na quantidade de caldo produzido pela cultivar. Os valores de rendimento de colmo encontrados nesta pesquisa foram superiores aos encontrados por Costa et al. (2019), que, trabalhando em solo arenoso no primeiro semestre do ano, período que corresponde ao das chuvas (embora tenha chovido menos de 100 mm), encontraram valores de 33,8 Mg ha⁻¹ para a cultivar BRS 506 (Figura 16 B).

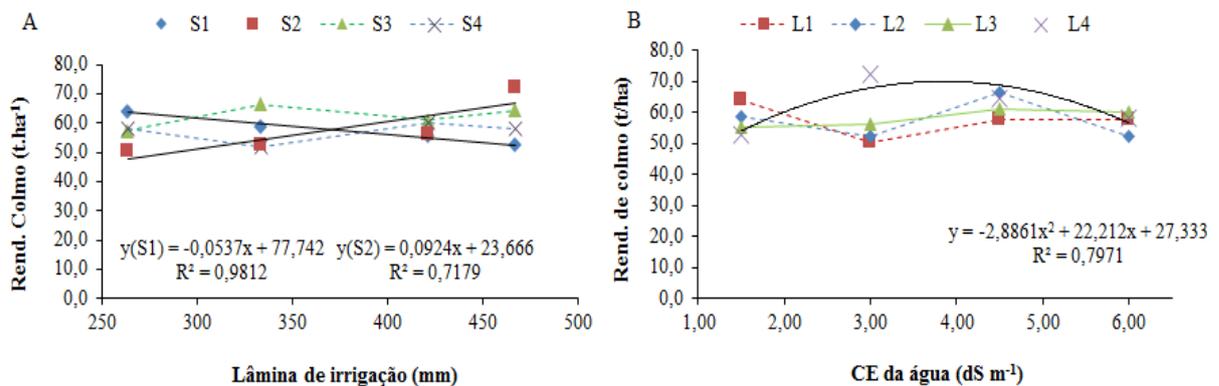


Figura 16. Rendimento do colmo (BRS 506) nas diferentes condutividades elétricas em função das lâminas de irrigação.

Como mostra a figura 17, o rendimento do caldo extraído pela moenda não apresentou efeito significativo, porém, em termos de valores médios, a cultivar C2 apresentou valores máximos de 27,3 t/ha para salinidade S3 (4,5 dS m⁻¹) e 28,3t ha⁻¹ para a lâmina correspondente a 93% da ETc. Na cultivar Ponta Negra, foram constatados menores rendimentos de caldo, sendo o maior valor médio encontrado para S2 com 16,5 t ha⁻¹ e 16,3 t ha⁻¹ para a lâmina correspondente a 66% da ETc da cultura. Esse rendimento superior encontrado pela cultivar BRS 506 está relacionado ao seu genótipo, tendo em vista que é uma cultivar sacarina.

Avaliando-se os SST em função da salinidade da água de irrigação para a cultivar C1, verificou-se acréscimo no °Brix, alcançando valor máximo de 12,3% para uma condutividade elétrica da água (CEa) de 3 dS m⁻¹ (Figura 17). O modelo que melhor se ajustou foi o quadrático, apresentando redução final de 25,3% do SST, em comparação ao valor máximo.

Esse comportamento relacionado ao aumento dos SST com a elevação do nível salino vem sendo observado em outras culturas, como a cana-de-açúcar, melão, melancia (SIMÕES et al., 2019; CORDÃO TERCEIRO NETO et al., 2013; COSTA et al., 2013). Isso ocorreu provavelmente porque a salinidade proporcionou aumento da concentração dos sólidos solúveis, uma vez que reduziu a absorção de água pela planta, propiciando uma concentração no colmo.

Em concordância com o presente trabalho, Costa et al. (2019), trabalhando com três cultivares de sorgo dupla aptidão submetidos ao efeito da salinidade, também observaram valores máximos de 12,3°Brix de sólidos solúveis no caldo para a cultivar Ponta Negra. Por

sua vez, Lino et al. (2020) encontraram médias de 11,4°Brix para a cultivar Ponta Negra quando submetida ao aumento dos níveis salinos da água de irrigação.

Os açúcares totais sofreram decréscimo à medida que se aumentou a salinidade da água, se ajustando ao modelo linear decrescente. Por ser uma cultivar considerada forrageira/granífera, a resposta dessa cultura sob estresse salino tende à preservação e realocação de sua energia para produção e enchimento da panícula. Resultados diferentes foram encontrados por Costa; Medeiros (2017), que não encontraram efeito significativo da CE da água de irrigação sobre a concentração de açúcar para a cultivar Ponta Negra.

Para os açúcares redutores, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o linear, apresentando menor média (3,2%) para a CEa de maior nível salino (6 dS m⁻¹). Valores semelhantes de AR (%) foram encontrados por Masson et al. (2015) em cultivar de sorgo sacarino (3,34%). De acordo com a EMBRAPA (2012), os açúcares redutores presentes no sorgo, podem apresentar ampla faixa de variação (1 a 3%), em função do genótipo e da fase de desenvolvimento da planta, e menores valores são positivos para produção de etanol.

A variável sacarose também se ajustou ao modelo linear decrescente, sofrendo influência negativa da salinidade da água de irrigação. A sacarose passou de 6,1% de concentração (água de menor salinidade) para 4,2% de concentração (maior nível salino) uma redução considerável de 31,14%. Os efeitos da salinidade no metabolismo das plantas são muito complexos, chegando a prejudicar alguns processos metabólicos, um escape para preservar sua produção, seria a realocação dos carboidratos, reduzindo assim a sacarose no caldo, e transportando para outras partes da planta (LACERDA et al., 2003; YANG et al., 2020).

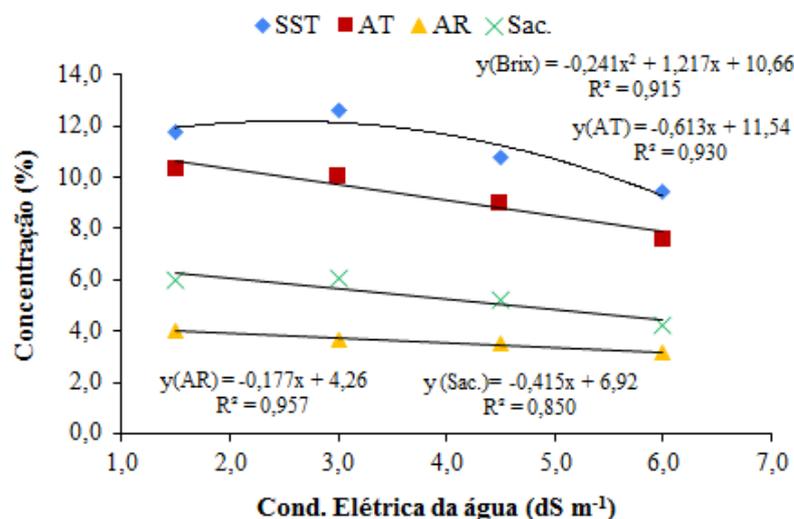


Figura 17. Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C1), em função da salinidade da água de irrigação.

De acordo com a figura 18, para a cultivar de sorgo BRS 506, os sólidos solúveis totais apesar de uma tendência de aumento da concentração em função dos níveis salinos não se ajustaram a nenhum modelo, apresentando média máxima de 18,4 °Brix para o nível salino 4,5 dSm⁻¹. Embora a cultivar de sorgo BRS 506 seja mais sensível a salinidade, mesmo em condições salinas, esta cultivar apresentou maior potencial para produção de açúcar, como também apresentou comportamento distinto a Ponta Negra.

Dutra et al. (2013) avaliando oito cultivares de sorgo sacarino, destacam que a cultivar BRS 506 apresenta grande potencial para produção de etanol no semiárido nordestino, visto que esta cultivar apresenta parâmetros tecnológicos favoráveis, além de apresentar alta produção de biomassa e maiores rendimentos de etanol teórico por hectare. Kanbar et al. (2021) afirmam que essa diferença entre o acúmulo de SST entre cultivares sacarinas e granífera, está relacionado a arquitetura dos feixes vasculares, sendo esses resultados já esperados, uma vez que os tecidos do colmo são pensados para servir como um tecido de drenagem terminal onde a sacarose se acumula durante o estágio pós-floração.

Os açúcares totais foram influenciados positivamente com o aumento da salinidade da água, obtendo um aumento de 15,6%. Esse resultado certamente deve-se a capacidade da cultivar BRS 506 que é sacarina, a concentrar os açúcares nos seus colmos, diferente do que ocorreu com a Ponta Negra. Almodares e Hadi (2009) destacam que o teor de açúcares no caldo do sorgo varia em função do fertilizante, local, espaçamento e qualidade da água.

De acordo com Parrella e Schaffert (2012), o sorgo sacarino tem a capacidade de reduzir o dreno dos fotoassimilados para os grãos, realocando os mesmos para os colmos, havendo maior produção de sólidos solúveis totais tendo como resultado o aumento nos teores de açúcares totais. Os valores encontrados no presente estudo estão dentro dos valores estabelecidos pelo programa de melhoramento da EMBRAPA, para cultivares sacarinas, que estabelecem o valor mínimo de 14% para açúcares totais.

Para a variável açúcares redutores (AR), o ponto de mínima foi de 1,6%, para a condutividade elétrica de 3 dS m⁻¹. Esses valores mostram que a cultivar se ajusta aos critérios para produção de etanol, visto que os açúcares redutores interferem no processo. Valores de açúcares redutores variando entre 0,86 a 1,28% conforme o diâmetro do colmo foram encontrados em cana-de-açúcar por Sousa et al. (2020).

Observa-se na figura 18 que a sacarose se ajustou melhor ao modelo quadrático, com valores máximos de 13,6% de concentração para uma condutividade de 4,5 dS m⁻¹. Em colmos de sorgo sacarino, a sacarose é o açúcar mais acumulado por meio da fotossíntese,

logo esse aumento no teor de sacarose pode ser explicado pelo seu mecanismo. Ao identificar o estresse, as plantas tendem a desviar seus fotoassimilados para a região de seu interesse: no sorgo Granífero, iria para o grão; no sacarino, concentra-se nos colmos.

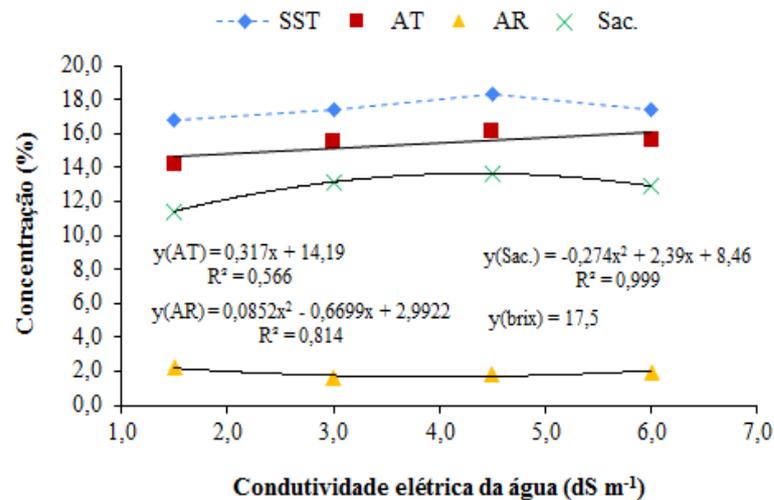


Figura 18. Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C2), em função da salinidade da água de irrigação.

A concentração de sólidos solúveis sofreu redução com o aumento da lâmina de irrigação, onde o modelo que melhor se ajustou foi o linear. Batista et al. (2018) ressaltam que uma planta menos hidratada terá menor quantidade de caldo, podendo até apresentar maior concentração de açúcares devido ao menor teor de água e não devido a aumentos nos açúcares (Figura 19).

Os açúcares totais também reduziram à medida que aumentou a lâmina de irrigação, em virtude da maior diluição dos sólidos solúveis (açúcares) do caldo, em função da maior quantidade de água disponível no solo e, conseqüentemente, nos colmos, proporcionada pelas lâminas de maior reposição hídrica da ET_c (OLIVEIRA e BRAGA, 2019).

Pode-se inferir que o sorgo tem mecanismos de tolerância à seca que permitem que a cultivar sustente o desempenho do rendimento sob condições de estresse por seca. A capacidade do caule de armazenar e acumular carboidratos é um mecanismo eficaz de tolerância à desidratação, função sustentada mesmo sob severa dessecação da planta (SILVEIRA et al., 2016; ALHAJTURKI et al., 2012).

A concentração de sacarose apresentou redução de 10,1% entre a menor e a maior lâmina de irrigação. Esses resultados mostram a capacidade do sorgo em produzir e acumular açúcares com lâminas de irrigação reduzidas, o que pode gerar uma economia para quem decidir apostar na cultura, tendo em vista que ele conseguiu produzir bem na lâmina de 53%

da ETc da cultura. Em concordância com estes dados, Alhajturki et al. (2012), trabalhando com nove variedades de sorgo doce, observaram maior acúmulo de sacarose no caldo quando tratadas com regime de estresse hídrico.

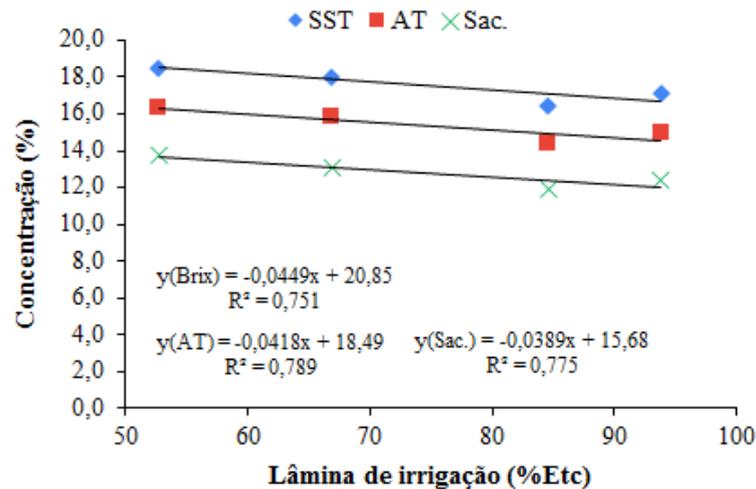


Figura 19. Sólidos solúveis totais (SST), Açúcares totais (AT) e Sacarose (Sac) do caldo do sorgo (cultivar C2), em função das lâminas de irrigação.

Essa concentração significativamente maior de sacarose encontrada em variedades de sorgo doce com estresse hídrico, pode ser atribuída ao ajuste osmótico durante o estresse como um mecanismo para evitar a desidratação.

Considerando que o rendimento de caldo na cultivar de sorgo BRS 506 não ter sido alterado nem com a salinidade nem com a lâmina de irrigação, a maior salinidade e a menor quantidade de água aplicada permite maior rendimento de açúcares totais e sacarose, sendo muito importante para ser cultivado no semiárido nordestino.

4.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E OS ÍONS SÓDIO E CLORETOS NO CALDO DO SORGO

Foi observada (Tabela 4) diferença significativa da salinidade da água de irrigação sobre a concentração de sódio, cloro e magnésio para a cultivar C1, e de sódio, cloro e fósforo para a cultivar C2. Efeito de interação também foi observado sobre a concentração de potássio e cálcio na cultivar C2.

Na figura 20, é possível observar que em ambas as cultivares foi constatado o aumento na concentração de Cloreto no caldo em função da condutividade elétrica da água, sendo o modelo linear o que melhor se ajustou aos dados. A cultivar BRS 506 apresentou aumento de 11,07%, obtendo acúmulo máximo de 576,9 mg/L. Por sua vez, a cultivar Ponta Negra passou

de 467,5 mg/L na menor salinidade para 505,6 mg/L no maior nível salino. Esse acúmulo pode estar relacionado ao aumento da concentração deste íon na água de irrigação e, conseqüentemente, à sua disponibilidade na solução do solo, sendo absorvido pelas raízes via fluxo de massa e transportado para os demais tecidos.

O cloreto é um elemento móvel dentro das plantas, podendo se translocar com facilidade. De acordo com Taiz et al. (2017), normalmente as plantas absorvem o ânion Cl⁻ em quantidades bem maiores do que o necessário, o que pode explicar os resultados obtidos nessa pesquisa para ambas as cultivares, uma vez que apresentaram resultados semelhantes.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para os íons presentes no caldo sódio (Na), potássio (K), cloreto (Cl), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para as cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função do estresse hídrico e salino.

Cultivar BRS Ponta Negra (C1)							
FV	GL	Na	K	Cl	P	Ca	Mg
Estatística F							
BLOCO	1	41,36	7,70	49,15	3,46	0,026	10,17
SAL	3	7,62**	1,61 ^{ns}	2,89*	0,70 ^{ns}	0,84 ^{ns}	4,00**
L	1	20,36**	0,16	5,76*	1,22	0,10	10,70
Q	1	0,33	0,17	2,55	0,59	0,03	1,20
LAM	3	1,66 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,69 ^{ns}	2,22 ^{ns}
L	1	0,06	0,11	0,49	0,00	1,13	0,21
Q	1	0,02	0,92	0,14	2,04	0,57	0,23
SALxLAM	9	1,56 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,57 ^{ns}
CV	(%)	34,52	17,95	10,85	45,25	16,76	27,55
MÉDIAS		61,55	3955,94	476,25	55,39	1024,02	290,04
Cultivar BRS 506 (C2)							
BLOCO	1	0,63	10,62	3,32	1,38	5,15	5,87
SAL	3	27,76**	4,87**	3,34*	4,89*	0,67 ^{ns}	0,79 ^{ns}
L	1	76,92**	6,78	9,26*	6,08	0,47	0,90
Q	1	0,18	4,12**	0,76	8,59*	0,36	0,02
LAM	3	1,36 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,05 ^{ns}	2,49 ^{ns}	1,47 ^{ns}	0,72 ^{ns}
L	1	0,05	0,19	1,47	0,01	2,41	0,09
Q	1	0,02	1,53	0,42	5,20	1,22	1,43
SALxLAM	9	0,47 ^{ns}	2,53**	1,95 ^{ns}	2,05 ^{ns}	2,22*	1,94 ^{ns}
CV	(%)	27,97	9,43	10,12	21,51	11,32	21,36
MÉDIAS		73,08	4031,87	554,69	149,69	1112,62	412,03

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SAL: salinidade da água; LAM: lâmina de irrigação; L: linear, Q: quadrática, *significativo ao nível de 5%; **significativo ao nível de 1%, ^{ns} não significativo.

A concentração de sódio também se elevou com o aumento da salinidade da água, sendo o modelo linear crescente o que melhor se ajustou aos dados para ambos os genótipos. A cultivar Ponta Negra teve aumento de 50 mg/L para 81,3 mg/L quando submetida à maior salinidade, ao passo que a cultivar BRS 506 passou de 39,1 mg/L para 104,9 mg/L, um aumento de 63% na concentração de sódio para a Ponta Negra e de 168% para a BRS 506.

Esse aumento no acúmulo na concentração de sódio pode ser explicado tendo em vista que esse íon está presente em maior proporção na água de irrigação à medida que a salinidade aumenta: tendo ocorrido aumento de 660% entre a água S1 e a S4, ou seja, o aumento no caldo foi muito menor do que na água de irrigação (Figura 20).

O estresse e a fitotoxicidade nas plantas são causados principalmente pela presença dos íons Na^+ e Cl^- . De acordo com Coelho et al. (2017), um dos mecanismos mais eficazes desenvolvidos pelas plantas tolerantes à salinidade é o controle na absorção e distribuição de Na^+ e Cl^- nos tecidos das plantas, conseguindo minimizar os distúrbios nutricionais. Os resultados encontrados nesta pesquisa são bons indícios da capacidade de absorção e retenção de íons potencialmente tóxicos nas cultivares estudadas.

Ressalta-se ainda que a cultivar Ponta Negra apresentou menores acúmulos destes íons, o que evidencia que esta cultivar apresenta maior resistência ao acúmulo e concentração de Cl^- e principalmente de Na^+ no seu caldo. De acordo com Lacerda et al. (2003), o sorgo é capaz de reduzir o transporte de Na^+ e Cl^- das raízes para a parte aérea ou compartimentam parte desses íons em locais específicos nas raízes e folhas.

Com relação à quantidade acumulada de magnésio no caldo do sorgo, os valores não se ajustaram a nenhum modelo para a cultivar C2, apresentando valor médio de 412 mg/L. Por sua vez, a cultivar Ponta Negra apresentou comportamento linear, com acúmulo máximo de 325,9 mg/L de magnésio solúvel em seu caldo para o maior nível salino. Fernandes (2014), avaliando o acúmulo de magnésio em caldo de sorgo em diferentes genótipos de sorgo sacarino, sob influência da maturação, encontrou valores médios de 299,83 mg L⁻¹ e 118,45 mg L⁻¹ nas fases inicial e de maturação, respectivamente, para a cultivar BRS 506.

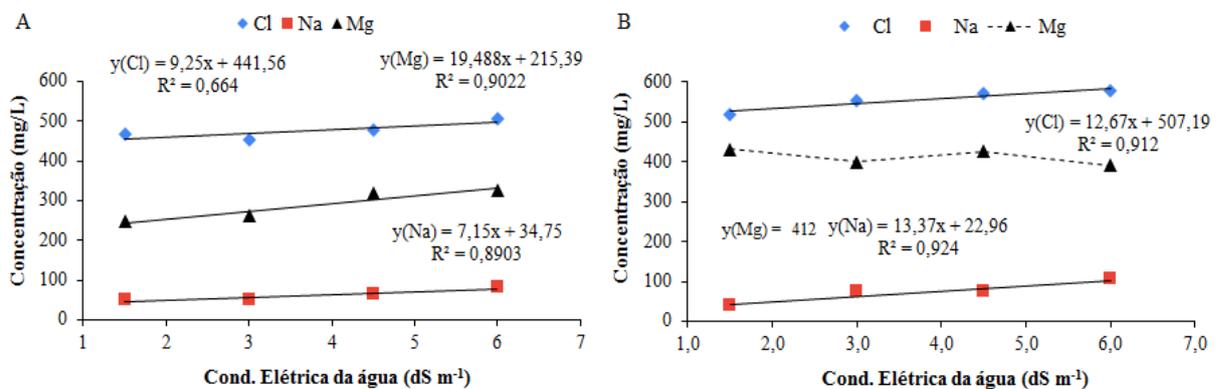


Figura 20. Concentração de cloreto (Cl), sódio (Na) e magnésio (Mg) no caldo do sorgo em função da salinidade da água de irrigação, Cultivar Ponta Negra (A) e BRS506 (B).

Os resultados mostrados na figura 21A indicam que potássio foi o nutriente que mais se acumulou no caldo de sorgo, com os dados se ajustando ao modelo polinomial quadrático, com valor máximo de 4195,8 mg/L de caldo para uma condutividade de 3 dS m⁻¹. A concentração de cálcio não se ajustou a nenhum modelo, apresentando média de 1113 mg/L de caldo. Esses resultados mostram que o caldo do sorgo sacarino é extremamente rico em nutrientes e íons solúveis.

Segundo Prado (2008), 75% do K na planta encontram-se na forma solúvel, o que é possível porque esse nutriente não se liga a compostos orgânicos, o que facilita sua alta redistribuição e alta concentração no floema, estando constantemente dirigindo o nutriente das folhas mais velhas para as mais novas, para os tecidos meristemáticos ou para os frutos. Diferentemente do K, o Ca apresenta baixa solubilidade e concentração no floema, com mobilidade bem restrita na planta.

Já para a concentração de fósforo no caldo, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o polinomial, com valor máximo de 166,1 mg/L para a condutividade de 4,5 dS m⁻¹. Esse resultado pode ser explicado devido ao fósforo ser absorvido via difusão, e esse processo depende de água, logo se o potencial osmótico do solo se eleva ao ponto das raízes não conseguirem absorver água, o acúmulo do P pode ser prejudicado, como mostra a figura 21B (NAVARRO et al., 2001; PRADO, 2008).

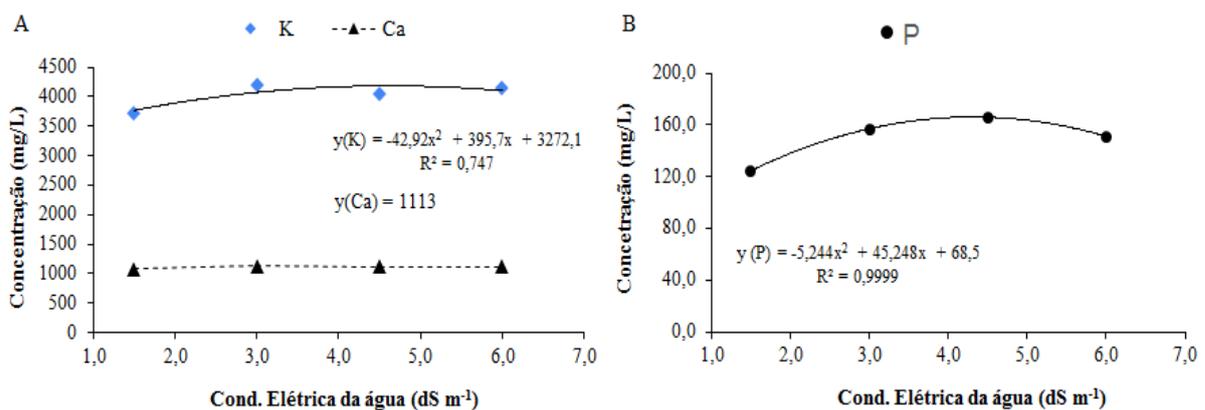


Figura 21. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca) (A) e fósforo (P) (B) no caldo do sorgo em função da salinidade da água de irrigação cultivar BRS 506.

Ressalta-se ainda que o fósforo também é importante no processo de fermentação: depois de absorvido por leveduras, ele desempenha funções relacionadas à transferência de energia nas células das leveduras, sendo considerado elemento indispensável para absorção de carboidratos e conversão em etanol (MARTINS, 2004). Fernandes (2014), avaliando a

quantidade de P durante o período de maturação, encontrou valores de 57,23 e 36,12 mg L⁻¹ em caldo de sorgo nos períodos inicial e final da maturação do sorgo sacarino, respectivamente, valores bem abaixo do verificado no presente trabalho.

Vale salientar que a absorção dos nutrientes pelas plantas é determinada por diversos fatores, tais como a cultivar, o clima, tipo de solo, quantidade de fertilizantes, ciclo da cultura, água disponível, os quais formam um conjunto que exerce influência na composição interna das plantas.

4.3 CONCENTRAÇÃO IÔNICA NOS ÓRGÃOS DA PLANTA DE SORGO NO INÍCIO DO EMBORRACHAMENTO

Para a cultivar Ponta Negra, houve efeito significativo da salinidade sobre concentração de Na⁺ nas diferentes partes da planta (Figura 22 A), ocorrendo aumento da concentração conforme se elevou o nível salino da água. As maiores concentrações foram observadas no maior nível salino: 1,4 e 0,79 g kg⁻¹ para colmo e folha. Na raiz, esse aumento foi mais significativo, obtendo quase o triplo do seu valor na maior concentração, passando de 4,3 para 11,9 g kg⁻¹. Em função das lâminas de irrigação, apenas a raiz apresentou efeito significativo, onde o modelo polinomial foi o que melhor se ajustou aos dados com acúmulo máximo de 11 g kg⁻¹.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para os íons sódio (Na), cloreto (Cl) e potássio (K) presentes nas diferentes partes da planta folha, colmo e raiz, nas cultivares BRS Ponta Negra e BRS 506 em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água.

BRS Ponta Negra										
Estatística F										
FV	GL	Folha			Colmo			Raiz		
		Na ⁺	Cl ⁻	K	Na ⁺	Cl ⁻	K	Na ⁺	Cl ⁻	K
BLOCO	1	4,46	0,09	1,07	2,02	1,26	0,41	2,37	0,061	4,37
SAL	3	6,08**	0,28 ^{ns}	0,95 ^{ns}	12,6**	0,81 ^{ns}	0,60 ^{ns}	27,9**	7,57**	2,35*
L	1	17,61**	0,00	0,00	37,72**	0,00	0,00	78,55**	12,54	0,00
Q	1	0,62	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	5,26	10,12**	0,00*
LAM	3	1,43 ^{ns}	2,88*	2,76*	1,42 ^{ns}	5,13**	1,87 ^{ns}	5,40 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,79 ^{ns}
L	1	0,00	7,19*	7,05*	0,00	12,77*	3,65	1,01	0,00	0,00
Q	1	0,00	0,48	0,83	0,00	0,07	0,54	4,21**	0,00	0,00
SALxLAM	9	1,47 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,06 ^{ns}	2,24*
CV%		21,9	12,4	23,5	38,1	14,9	14,7	28,7	19,7	21,5

BRS 506										
Estatística F										
FV	GL	Folha			Colmo			Raiz		
		Na ⁺	Cl ⁻	K	Na ⁺	Cl ⁻	K	Na ⁺	Cl ⁻	K

BLOCO	1	1,67	2,72	3,69	0,61	0,50	2,02	1,28	0,41	3,32
SAL	3	1,08 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,31 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,17 ^{ns}	2,26 ^{**}	8,77 ^{**}	8,95 ^{**}
L	1	0,00	0,00	0,00	0,00	3,04	0,00	6,30 ^{**}	24,56 ^{**}	24,24 ^{**}
Q	1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,91	0,00	0,48	0,31	2,27
LAM	3	0,64 ^{ns}	2,06 ^{ns}	2,21 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,96 ^{ns}	3,00 [*]
L	1	0,00	0,50	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11
Q	1	0,00	5,41	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,46
SALxLAM	9	0,30 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,49 ^{ns}	3,04 ^{**}
CV%		22,9	11,2	14,5	31,9	10,9	14,7	38,5	25,9	46,5

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; SAL: salinidade da água; LAM: lâmina de irrigação; *significativo ao nível de 5%; **significativo ao nível de 1%, ^{ns} não significativo.

No presente estudo, o acúmulo de Na⁺ ocorreu, preferencialmente, na raiz. Essa resposta sugere a existência de mecanismos seletivos de retenção de íons, dando suporte à hipótese de que as plantas buscam um ajuste em relação às concentrações de Na⁺, retendo o íon na raiz, reduzindo sua translocação para colmos e folhas, que é o órgão mais sensível. Em concordância com esta pesquisa, Coelho et al. (2017) encontraram maiores acúmulos de Na⁺ nas raízes de quatro genótipos de sorgo forrageiro (BRS 665, BRS 610, 1.016.013, 1.016.015) irrigado com água salina. Trabalhando com duas cultivares de sorgo forrageiro submetidas à salinidade, Sadegui; Shourijeh (2012) encontraram maiores valores de Na⁺ conforme o aumento da salinidade.

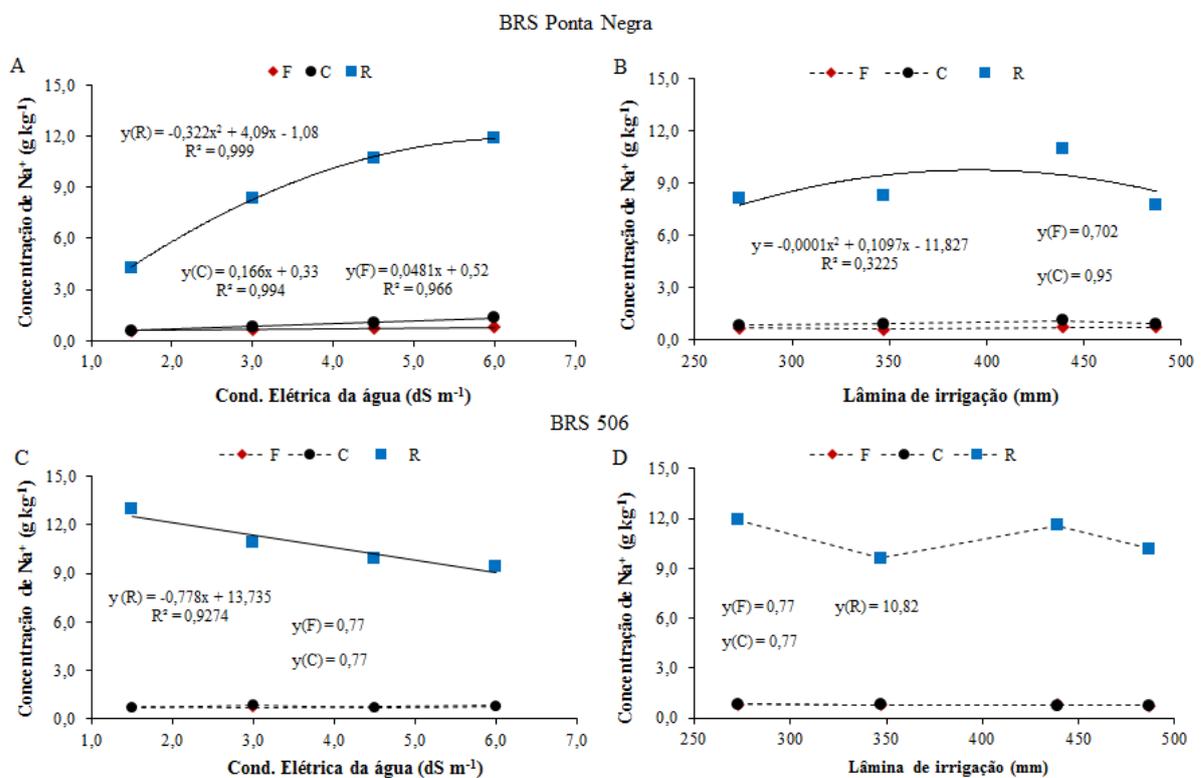


Figura 22. Concentração de Na⁺ na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.

Calone et al. (2020) afirmam que o acúmulo de Na^+ nas raízes é uma estratégia de tolerância: as plantas de sorgo tendem a manter seu potencial osmótico ajustado para proteger o metabolismo contra espécies reativas de oxigênio sob estresse salino. Resultados similares a esse estudo foram encontrados por Trindade et al. (2006), os quais verificaram que os genótipos de sorgo forrageiro apresentaram mecanismos que restringiram o transporte de íons Na^+ e Cl^- para as folhas, acumulando nas raízes.

Comportamento distinto foi observado para a cultivar BRS 506 (Figura 22C), em que a raiz apresentou redução na concentração de Na^+ à medida que se aumentou a salinidade da água de irrigação: a concentração foi 27,6% menor para o maior nível salino (com 9 g/kg). Folha e colmo não apresentaram efeito significativo de regressão, com valores médios de 0,77 para ambas as partes. Esse decréscimo no acúmulo de Na^+ pode estar relacionado à capacidade deste genótipo de ter maior seletividade na absorção dos íons, dando preferência a outros que competem com Na^+ nos sítios de absorção.

Segundo Azevedo Neto; Tabosa (2000), a salinidade pode ocasionar efeitos deletérios nos teores de íons na planta, mas esse efeito não ocorre de maneira uniforme em todas as suas partes, o que explica essa dinâmica no acúmulo dos íons, que pode variar não só em relação aos órgãos da planta, como também de um genótipo para o outro, como observado nas figuras 22 A e C.

Avaliando-se a concentração de Cl^- nas diferentes partes do sorgo em função da condutividade elétrica de irrigação, verificou-se efeito significativo apenas para a raiz (C1 e C2), foi observado comportamento quadrático para a cultivar Ponta Negra (Figura 23 A), atingindo ponto máximo de $31,1 \text{ g kg}^{-1}$ e valores médios de 21,7 e $13,1 \text{ g kg}^{-1}$ para colmo e raiz, respectivamente. A ordem de acúmulo para esta cultivar foi $R > C > F$.

Resultados semelhantes ao presente estudo foram encontrados por Silva et al. (2018), que constataram maiores concentrações do íon Cl^- nas raízes do que nas folhas de coqueiro, irrigadas com águas salinas. Para estes autores, esse resultado é uma evidência de que a tolerância aos sais está associada a mecanismos de retenção de íons tóxicos na zona radicular. Cruz et al. (2006) também observaram que o acúmulo de Cl^- se elevou em função do aumento do nível de salinidade, porém a maior concentração desse íon foi encontrada nas folhas mais velhas, seguidas das raízes.

Por sua vez, a cultivar BRS 506 apresentou comportamento linear (Figura 23 C), com aumento de Cl^- conforme acréscimo da condutividade elétrica da água de irrigação,

acumulando 15 g kg^{-1} na máxima concentração de sais; as médias para colmo e folha foram $27,45$ e $14,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. A ordem de acúmulo desta cultivar foi $C > R > F$.

Esse aumento na absorção de Cl^- pode ser explicado pela alta solubilidade do íon e sua aplicação tanto via fertirrigação, por meio do KCl , quanto via água de irrigação, por meio do NaCl e CaCl , sendo, portanto, facilmente absorvido pelas raízes por meio do fluxo de massa. Outro fato que explica o aumento da concentração de Cl^- nas folhas e colmos é sua alta mobilidade no xilema, sendo facilmente transportado dentro da planta (PRADO, 2008).

Ressalta-se ainda que o acúmulo deste íon pode variar de acordo com o órgão da planta e genótipo. Neste trabalho, foi observado que para o sorgo forrageiro/granífero houve maior concentração nas raízes, ao passo que o sorgo sacarino concentrou mais nos seus colmos, o que deixa bem característica a estratégia de cada genótipo, por exemplo, a Cultivar Ponta Negra já é conhecida por apresentar adaptações a regiões semiáridas (LINO et al, 2020; COSTA et al, 2019), logo essa retenção do íon na região da raiz possivelmente é o mecanismo dessa cultivar de se proteger do provável estresse causado pelo Cl^- .

Quanto ao efeito das lâminas de irrigação sobre a concentração de Cl^- nas diferentes partes da planta de sorgo, houve efeito significativo no colmo e folha para a cultivar Ponta Negra, ajustando-se ao modelo linear crescente, com acúmulo máximo de $22,88$ e 13 g kg^{-1} , respectivamente, e média de 28 para raiz. Esse efeito da lâmina sobre o aumento do íon pode estar relacionado à quantidade de Cl^- presente na água de irrigação, logo quanto maior for a lâmina, maior será o acúmulo. A cultivar BRS 506 não apresentou significância com relação à concentração de Cl^- em função das lâminas de irrigação, porém, em termos de médias, apresentou $27,42$, $14,9$ e $12,72 \text{ g kg}^{-1}$, sendo colmo seguido da folha e raiz a ordem de acúmulo para essa cultivar.

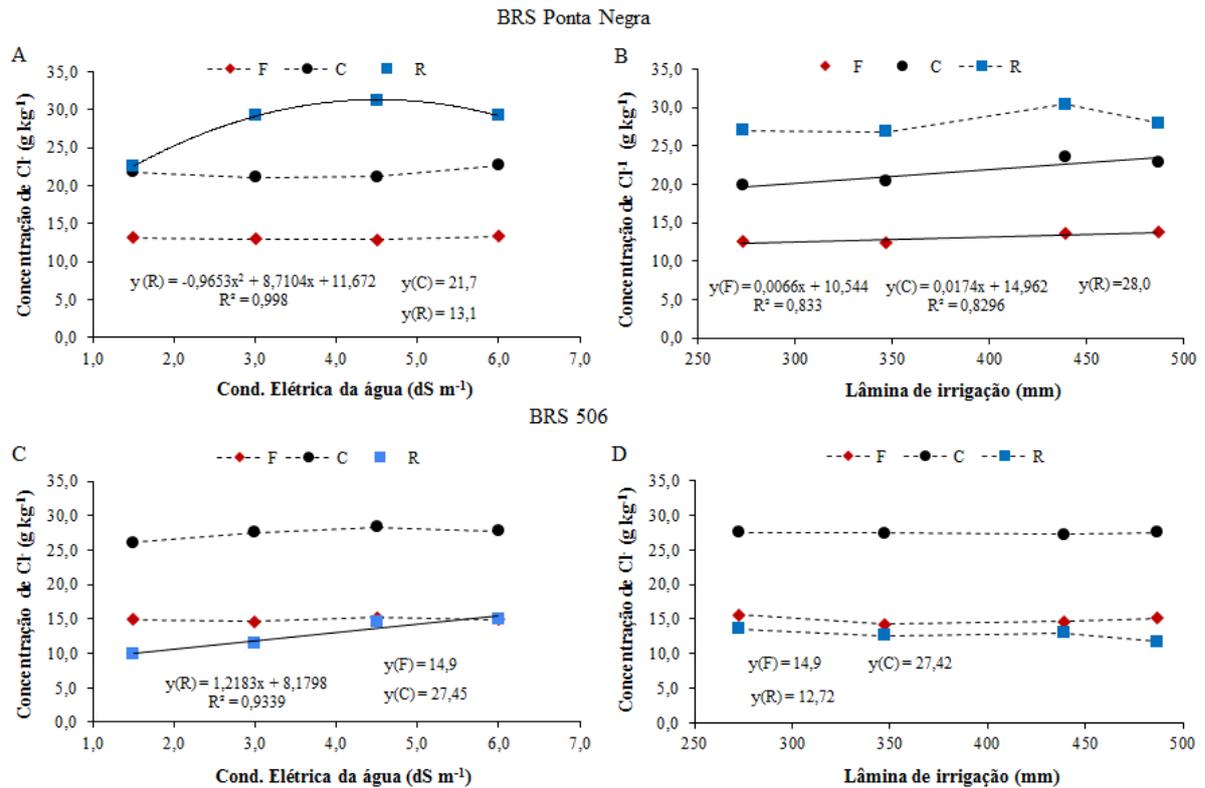


Figura 23. Concentração de Cl⁻ na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.

De acordo com a figura 24 A e C, observa-se que a concentração de K em função da condutividade elétrica da água de irrigação apresentou efeito significativo na análise de regressão apenas para raiz, que se ajustou melhor ao modelo polinomial com máxima de 16,5 g kg⁻¹, ao passo que os valores médios para colmo e folha foram de 29,5 e 23,3 g kg⁻¹, respectivamente. O modelo linear crescente foi o que melhor se ajustou para a C2, com acúmulo máximo de 3,6 g kg⁻¹ para a maior salinidade de 6 dSm⁻¹, os valores médios de 42,7 e 28,22 g kg⁻¹ foram encontrados no colmo e folha, respectivamente.

Trabalhando com acúmulo de íons em plantas de coqueiro anão submetidas à irrigação com águas salinas, Silva et al. (2018) também encontraram menores valores de K nas raízes em detrimento da parte aérea. Feijão et al. (2011), pesquisando efeito da salinidade e nutrição com NO₃⁻ no acúmulo de nutrientes em sorgo Sudão, constataram que os tratamentos com maior nível salino sofreram redução no acúmulo de K⁺ nas raízes tanto na presença quanto na ausência de NO₃⁻.

Silveira et al. (2016) afirmam que a planta tende a compartimentalizar os íons salinos dentro dos vacúolos e com a manutenção de um balanço K⁺/Na⁺ favorável no citosol. K exerce papel fundamental na regulação osmótica da planta, sendo facilmente translocado para a parte aérea via xilema, após sua absorção, apresentando alta redistribuição, o que pode

explicar sua menor concentração nas raízes em detrimento do colmo e folhas. Na presença do estresse salino, as plantas buscam se ajustar; o que pode ter acontecido com as cultivares foi justamente essa translocação do íon, com a finalidade de manter maiores concentrações de K nas folhas, uma vez que é nesse órgão que o íon desempenha papel fundamental na manutenção do turgor (PRADO, 2008; TAIZ et al., 2017).

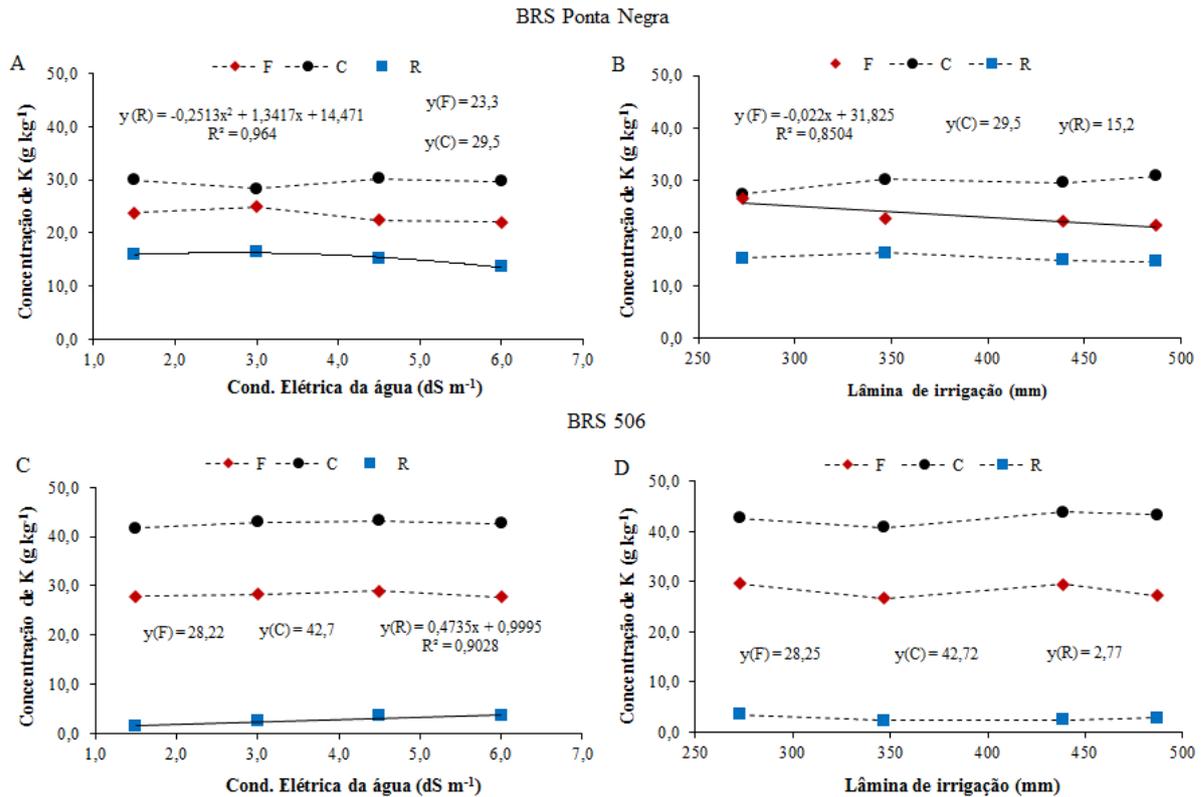


Figura 24. Concentração de K na folha, colmo e raiz em função da condutividade elétrica da água de irrigação (A) (C), e em função da lâmina de irrigação (B) (D) para cultivares C1 e C2.

Em relação ao acúmulo de K submetido às lâminas de irrigação, houve efeito significativo apenas da folha para a cultivar Ponta Negra, tendo o modelo linear decrescente se ajustado melhor aos dados. A redução do acúmulo de K chegou a 19,5% para a maior lâmina. Os valores médios de colmo e raiz foram 29,5 e 15,2 g kg⁻¹, respectivamente. Embora não tenha apresentado efeito significativo, o acúmulo de K para a cultivar BRS 506 apresentou a seguinte ordem: C > F > R, com valores médios de 42,72, 28,25 e 2,77 g kg⁻¹.

5 CONCLUSÕES

A cultivar Ponta Negra apresenta potencial de produção para a região semiárida, com resistência ao estresse hídrico e salino, porém com baixo potencial para extração de açúcares.

A cultivar BRS 506 apresentou grande potencial produtivo de açúcares, com boa qualidade para produção de etanol, sobretudo com lâmina de irrigação reduzida e água salobra.

A salinidade da água afetou as variáveis tecnológicas do caldo para a cultivar Ponta Negra, ao passo que a cultivar BRS 506 apresentou resultados satisfatórios para os níveis mais salinos.

A cultivar Ponta Negra acumulou mais íons de Na e Cl na sua raiz, ao passo que a BRS 506 acumulou mais Cl nos colmos.

K foi o íon que mais se acumulou nos colmos de ambas as cultivares (Colmo > folha > raiz).

O caldo do sorgo BRS, que apresentou mais de 15% de açúcares totais, é altamente rico em nutrientes (K, Ca, K_g e P) e com concentração de sódio relativamente baixa, podendo ser utilizado como alimento energético e rico em minerais.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. Boletim anual de preços: preços do petróleo, gás natural e combustíveis nos mercados nacional e internacional. Rio de Janeiro, 2014.

ALBUQUERQUE, C. J.; GUIMARÃES, A.S.; MENEZES, C. B.; RODRIGUES, J. A. S.; PARRELLA, R. A C.; FREITAS, R. S.; FERNANDES, E. A. COSTA, D. V. (2019) – Sorgo. In: PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. (org.). **101 Culturas**: Manual de tecnologias agrícolas. 2 ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2019. p. 856-862.

ALHAJTURKI, D.; ALJAMALI, M.; KANBAR, A.; AZMAH, F. Potential of some sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes under two regimes for sugar and bioethanol production. **Sugar Tech.**, v. 14, n. 4, p. 376–382, 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo**: Guias para a ladeterminacion de losrequeriments de água de los cultivos. Roma: **FAO**, 2006.

ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 4, p. 772-780, 2009.

ALMODARES, A., HADI, M. R., KHOLDEBARIN, B., SAMEDANI, B., KHARAZIAN, Z. A. The response of sweet sorghum cultivars to salt stress and accumulation of Na⁺, Cl⁻ and K⁺ ions in relation to salinity. **Journal of Environmental Biology**, 35, p. 733–739, 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos traz balanço da situação e da gestão das aguas no Brasil 2018. Brasília, 2018. Disponível em:

<https://pagina22.com.br/2018/12/19/demanda-por-agua-cresceu-80-em-20-anos-e-aumentara-24-ate-2030/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

AMORIM, H. V. Nutrição mineral da levedura, aspectos teóricos e práticos. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA “JAYME ROCHA DE ALMEIDA”, 4., Piracicaba, 1985. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1985. p. 144-148.

AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 961-971, 2007.

AZEVEDO NETO, A. D.; TABOSA, J. N. Estresse salino em plântulas de milho: parte I análise do crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.159-164, 2000.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMACENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO 29, 1999).

BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

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

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9º. Ed. Editora UFV, Viçosa-MG, 2019.

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**, v. 14, n. 3, p. 1-8, 2019.

CALONE, R.; SANOUBAR, R.; LAMBERTINI, C.; SPERANZA, M.; VITTORI ANTISARI, L.; VIANELLO, G.; BARBANTI, L. Tolerância ao sal e alocação de Na em *Sorghum bicolor* sob variável salinidade do solo e da água. **Plantas**, v. 9, n. 5, pág. 561, 2020.

CAVALCANTE, L. F.; DIAS, T. J.; NASCIMENTO, R.; FREIRE, J. L. O. Clorofila e carotenoides em maracujazeiro-amarelo irrigado com águas salinas no solo com biofertilizante bovino. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, supl. 1, p. 699-705, 2011.

COELHO, D. S. **Potencial de cultivares de sorgo sacarino irrigadas com águas salinas**. 2017. 107f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, safra 2019/2020, v. 6, n. 1 primeiro levantamento. Brasília: CONAB, 2019. 58 p.

CONSECANA - Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. Manual de Instruções. 5ª edição, Piracicaba-SP, p.1-54, 2006.

CORDÃO TERCEIRO NETO, C. P.; GHEYI, H. H.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; CAMPOS, M. S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 354, 2013.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.

COSTA, J. P. N.; COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. V. T.; LINO, V. A. D. S. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 417-428, 2019.

CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 149-162.

DURÃES, F. O. M.; MAY, A.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Agroindustrial do Sorgo Sacarino no Brasil e a Participação Público-Privada: oportunidades, perspectivas e Desafios**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 138). 76 p.

DUTRA, E. D.; NETO, A. G. B.; SOUZA, R. B.; MORAIS JUNIOR, M. A.; TABOSA, J. N.; MENEZES, R. S. C. Produção de etanol a partir do caldo do caule de diferentes cultivares de sorgo doce no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Sugar Tech**, v. 15, n. 3, pág. 316-321, 2013.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMBRAPA. Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G – tecnologia qualidade Embrapa, 2012. Online. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/938275>. Acesso em: 28 jun. 2021.

EMYGDIO, B. M.; AFONSO, A. P. S.; OLIVEIRA, A. C. B.; PARRELLA, R.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas**. Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2011, 22 p.

FEIJÃO, A. R.; SILVA, J. C. B.; MARQUES, E. C.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Efeito da nutrição de nitrato na tolerância de plantas de sorgo sudão à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 675-683, 2011.

FERNANDES, G. **Avaliação e caracterização agroindustrial do sorgo sacarino visando à produção de etanol**. 2014. 199f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2014.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo**. Jaboticabal: Funep, 2009.

GANDONOU, C. B.; BADA, F.; GNANCADJA, S. L.; ABRINI, J.; SKALI-SENHAJI, N. Effects of NaCl on Na⁺ and K⁺ ions accumulation in two sugarcane (*Saccharum sp.*) cultivars differing in their salt tolerance. **International Journal of Plant Physiology and Biochemistry**, v. 3, n. 10, p. 155-162, 2011.

GHEYI, H. R.; DA SILVA DIAS, N.; DE LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010.

GOMES, K. R.; AMORIM, A. V.; FERREIRA, F. J.; FILHO, F. L. A.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. Respostas de crescimento e fisiologia do milho submetido a estresse salino com diferentes espaçamentos de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 365-370, 2011.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; ARAUJO, G. G. L.; SILVA, E. F. F.; WILLADINO, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Produção Agrícola 2013. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 19 mar. 2020.

INSA: Instituto Nacional do Semiárido. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/insa>. Acesso em: 10 jun. 2021.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo: IAL, 1985.

IAP - Instituto Agronômico de Pernambuco. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. 2 ed. Recife: IPA, 2008.

KANBAR, A.; SHAKERI, E.; ALHAJTURKI, D.; RIEMANN, M.; BUNZEL, M.; MORGANO, M.; STAPF, D.; NICK, P. Sorgo doce versus grão: o transporte e o acúmulo de açúcar diferenciais estão ligados à arquitetura do feixe vascular. **Culturas e produtos industriais**, v. 167, p. 113550, 2021.

KAUSAR, A.; GULL, M. Influência do estresse salino na absorção de magnésio, fósforo e produção de cultivares de sorgo suscetíveis e tolerantes ao sal (*Sorghum bicolor L.*). **Journal of Applied Biology and Biotechnology**, v. 7, p. 53-58, 2019.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A. Changes in growth and in solute concentration in sorghum leaves and roots during salt stress recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 54, p. 69-76, 2005.

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; PRISCO, J. T. Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. **Environmental experimental botany.**, v. 49 , p. 107-120, 2003.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. Cultivo de sorgo: Clima. Sistema de Produção, 2, 6 eds., 2010. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_6_ed/clima.htm. Acesso em: 25 mar. 2020.

LINO, V. A. S.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, A. R. F. C.; COSTA, S. C.; SILVA, M. V. T.; SILVA, F. K. K. Use of high salt concentration water in sorghum production in the brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, e1134, 2020.

LIRA, R. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, G. F.; SOUZA, D. H.; PEDROSA, E. M. R.; GORDIN, L. C. Content, extraction and export of nutrients in sugarcane under salinity and leaching fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 432-438, 2019.

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**, Belém, v. 30, n. 1, p. 103-110, 2010.

MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; MAY, A.; LIMA FILHO, O. F.; SANTOS, F. C.; MOREIRA, J. A. A.; LEITE, C. E. P.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FREITAS, R. S. Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELA, R. (org.). **Sorgo: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2014. p. 58-88.

MARTINS, N. G. S. **Os fosfatos na cana-de-açúcar**. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2004.

MAY, A.; PARRELLA, R. A. C.; DAMASCENO, C. M. B.; SIMEONE, M. L. F. Sorgo como matéria-prima para produção de bioenergia: etanol e cogeração. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 278, p. 14-20, 2014.

MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 113-122.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 1992. 173f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola: Área de Concentração Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 1992.

MIRANDA, M. A.; OLIVEIRA, E. E. M.; SANTOS, K. C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 15, n. 5, p. 484-490, 2011.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. **New phytologist**, v. 167, n. 3, p. 645-663, 2005.

NAVARRO, J. M.; BOTELLA, M. A.; CERDA, A.; MARTINEZ, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 158, p. 375-381, 2001.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for determination of glucose. **Journal of Biologic Chemistry**, Bethesda, Md, v. 153, n. 2, p. 375-380, Feb. 1960.

OLIVEIRA, A. R.; BRAGA, M. B. Variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de reposição hídrica por gotejamento subsuperficial. **Energia na agricultura**, v. 34, n. 3, p. 350-363, 2019.

ORESCA, D. OLIVEIRA, A. C.; SILVA, T. G. F.; PESSOA, L. G. M.; SOUZA, J. C. G.; MACIEL, L. H. Desempenho agrônômico de sorgo forrageiro e milho cultivados sob irrigação com água salina e doses de nitrogênio no semiárido Brasileiro. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 10, p. e359101018976-e359101018976, 2021.

PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. IN: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. (org.). **Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de Sorgo sacarino para Bioetanol Sistema BRS1G** – Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139. p.14–22. 2012.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, 2008. 407p.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N. P. **Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz** – métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 3.ed. São Paulo, 1985.

REDDY, P. S. Sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. In: PATIL, J. V. (Ed.). **Millets and sorghum: biology and genetic improvement**. West Sussex: Wiley Blackwell, 2017. p. 1-48.

RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para a produção agrícola**. Estudos FAO 48, Campina Grande: UFPB, 2000.

RIBAS, P. M. **Cultivo do Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. Embrapa Milho e Sorgo. (Sistemas de Produção, 2), 3ª edição. Set. 2007.

- SADEGHI, H.; SHOURIJEH, F. A. Salinity induced effects on growth parameters, chemical and biochemical characteristics of two forages *Sorghum bicolor* L.) cultivars. **Asian Journal of Plants Sciences**, v. 11, p. 19 – 27, 2012.
- SANTOS, G. C. L.; GARCIA, P. H. M.; VIANA, T. B. L.; BORGES, P. F.; ARAUJO, L. S.; GONZAGA NETO, S. Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 266, p. 164-171, 2020.
- SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Embrapa Solos**, p. 353, 2018.
- SHAKERI, E.; EMAM, Y.; PESSARAKLI, M.; TABATABAEI, S. A. Biochemical traits associated with growing sorghum genotypes with saline water in the field. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 8, p. 1136-1153, 2020.
- SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; MIRANDA, R. S.; MARQUES, E. C. Acúmulo de íons em mudas de coco anão verde sob estresse hídrico e salino. **Revista Ciência Agronômica**. v. 49, n. 2, p. 249 – 258, 2018.
- SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JÚNIOR, M. S.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 66-72, 2014.
- SILVEIRA, J. A. G.; SILVA, S. L. F.; SILVA, E. N.; VIÉGAS, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 181-196.
- SIMÕES, W. L.; COELHO, D. S.; MESQUITA, A. C.; CALGARO, M.; SILVA, J. S. Aspectos fisiológicos e bioquímicos em variedades de cana-de-açúcar submetidas a estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1069-1076, 2019.
- SIMÕES, W. L.; GUIMARÃES, M. J. M.; WILLADINO, L. G.; TABOSA, J. N.; SOUZA, M. A. Respostas de crescimento e fisiologia de variedades de sorgo submetidas a estresse salino. In: **Inovagri International Meeting**, IV. 2017.
- SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. DE S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 2.ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 259-274.
- SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; LACERDA, C. F.; AZEVEDO, B. M.; SILVA, G. L.; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista Agro@mbiente**, v. 8, n. 3, p. 359-367, set.-dez. 2014.
- SOUSA, B. T.; ZUCARELI, V.; MARTINS, A. P. C. Quantificação de açúcares totais e auxina no desenvolvimento inicial de mini-toletes de cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**. 2020.

TABOSA, J. N. et al. **Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro**. Embrapa Solos- Capítulo em livro científico (ALICE), 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TRINDADE, A. R.; LACERDA, C.F.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 804-810, 2006.

WALKER, G. M. Álcool combustível: produção atual e futuro desafios. **Journal of the Institute of Brewing**, 117: p. 3-22, 2011.

YANG, Z.; ZHENG, H.; WEI, X.; SONG, J.; WANG, B.; SUI, N. A. análise do transcriptoma de linhagens consanguíneas de Sorgo doce que diferem na tolerância ao sal fornece novos insights sobre a exclusão de sal pelas raízes. **Planta e solo**, v. 430, n. 1, p. 423-439, 2018.

YEMN, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrate in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal, London**, 57: p. 508-514, 1954.