



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

JOSEFA MARIA FRANCIELI DA SILVA

PRODUÇÃO DO SORGO SACARINO NA REGIÃO DO CARIRI - CE

FORTALEZA

2017

JOSEFA MARIA FRANCIELI DA SILVA

PRODUÇÃO DO SORGO SACARINO NA REGIÃO DO CARIRI – CE

Dissertação apresentada ao programa de Mestrado em Agronomia/Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Fitotecnia.
Orientador: Prof. Dr. Alek Sandro Dutra
Coorientador: Prof. Dr. Felipe Thomaz da Camara

Aprovada em: 27/06/2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alek Sandro Dutra (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Sebastião Medeiros Filho
Universidade Federal do Ceará

Prof^ª. Dr^ª Edilza Maria Felipe Vasquez
Universidade Federal do Cariri

FORTALEZA

2017

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei se não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar”.

Chico Xavier

Dedico este trabalho à minha mãe *Maria Aparecida da Silva*, que tem me apoiado sempre nessa jornada pela busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar em todos os momentos da minha vida.

À minha querida e amada família, pela paciência, apoio, amor e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará, ao Centro de Ciências Agrárias, ao departamento de Agronomia/Fitotecnia e a CAPES pela concessão da bolsa de estudo e pela oportunidade de realizar o curso.

Aos Professores Orientadores Dr. Alek Sandro Dutra e Felipe Thomaz da Camara, pela amizade e paciência para passar conselhos e experiências importantes ao longo de minha formação, que foram essenciais para o alcance de conquistas em minha vida profissional, meu eterno agradecimento.

Ao Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA) Campus Crato e pelos professores dessa instituição em especial aos professores: Dr^a. Irani Ribeiro, Dr. Juan Carlos, Dr. Sebastião Cavalcante por abrir as portas dos seus laboratórios e possibilitar o desenvolvimento deste trabalho, além da amizade, confiança, apoio e conselhos valiosos para concretização desta pesquisa.

Aos bolsistas PETs e bolsistas do laboratório de biologia do curso de Agronomia da UFCA pela ajuda essencial na condução e coleta de dados deste trabalho.

À EMBRAPA milho e sorgo na pessoa de Rafael Parrella, que disponibilizou as sementes de sorgo BRS 511 para que o segundo ciclo de produção fosse possível.

Ao laboratório de Química da UFCA, campus Juazeiro do Norte, na pessoa do Técnico Marcel, pela amizade, ajuda e disponibilidade sempre que precisei.

Ao professor Dr. Sebastião Medeiros e a professora Dr^a. Edilza Maria pelo aconselhamento, pelas críticas e valiosas sugestões na defesa de projeto de qualificação.

Aos professores das disciplinas cursadas, pela dedicação no ensino das matérias.

À Jordânia Gabriel e Jessica Soares pela sua amizade e apoio nas estatísticas e leituras constantes deste trabalho.

As minhas colegas de república que se tornaram minha segunda família.

Aos amigos e contemporâneos da pós-graduação, em especial Hellen Thaise que sempre esteve comigo em todos os momentos.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram na ajuda e apoio ao longo da elaboração deste trabalho.

RESUMO

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma excelente alternativa à cana-de-açúcar para a produção de biocombustíveis, por apresentar altas concentrações de açúcar nos colmos, pode ser processado nas mesmas instalações e apresentar um ciclo curto de produção. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do sistema de produção do sorgo sacarino, através da combinação entre o espaçamento entrelinhas e população de plantas, e épocas de semeadura e cortes na região do cariri cearense. Os ensaios foram conduzidos na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade da Universidade Federal do Cariri. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram compostas por três espaçamentos entrelinhas (70, 80 e 90 cm), e as subparcelas por quatro populações de plantas de sorgo sacarino (80.000, 100.000, 120.000 e 140.000 plantas ha⁻¹). Foram realizados dois ciclos, com a primeira semeadura em abril, e a segunda em setembro de 2016. As variáveis analisadas foram: altura da planta, diâmetro dos colmos, massa fresca de colmos, folhas, panículas e total, massa seca dos colmos, folhas, panículas e total, o volume de caldo, Sólidos solúveis totais (BRIX) e açúcares redutores totais. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos quando necessário foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância no Sisvar. Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e da significância dos efeitos. Os resultados demonstraram que houve interação significativa entre os fatores espaçamento entrelinhas e populações de plantas para os açúcares redutores. Efeitos isolados para o fator população de plantas: altura da planta, diâmetro do colmo, massa seca dos colmos e açúcares redutores. O fator espaçamento entrelinhas: massa fresca dos colmos, massa fresca das folhas, massa seca das panículas, massa fresca total e volume de caldo. Não houve efeito significativo para os sólidos solúveis totais (Brix) e massa fresca das panículas e massa seca total. Conclui-se que, o arranjo populacional mais adequado para a cultura do sorgo sacarino na região do cariri cearense para a produção de etanol, constitui-se numa população de 120 mil plantas por hectare com espaçamento entre linhas de 70 centímetros, plantado na segunda época de semeadura com corte aos 120 dias após o plantio.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*. Arranjo populacional. Biocombustíveis.

ABSTRACT

The *Sorghum bicolor* L. Moench is an excellent alternative to sugarcane for the production of biofuels, because it has high concentrations of sugar in the stalks, can be processed in the same facilities and has a short production cycle. The objective of this work was to evaluate the effect of plant arrangement, through the combination of spacing between lines and plant population, as well as the effect of sowing and cutting times in the Cariri Cearense region. The trials were conducted in the experimental area of the Center of Agrarian Sciences and Biodiversity of the Federal University of Cariri. The experimental design was a randomized block design (DBC), with four replications, in a subdivided plot scheme. The plots were composed of three spacings (70, 80 and 90 cm), and the subplots by four sorghum plant populations (80,000, 100,000, 120,000 and 140,000 ha⁻¹ plants). The following variables were analyzed: plant height, stalk diameter, fresh stem mass, leaves, panicles and total, dry mass of stalks, leaves, Panicles and total, broth volume, °brix, total soluble sugars and reducing. The results were submitted to analysis of variance and the means of the treatments when necessary were compared by the Tukey test at 5% of significance in Sisvar. The models for adjusting the equations were chosen based on the coefficient of determination and the significance of the effects. The results showed that there was a significant interaction between the factors between row spacing and plant populations for reducing sugars. Isolated effects for plant population factor: plant height, stalk diameter, stem dry mass and reducing sugars. The factor between lines: fresh stem mass, fresh leaf mass, dry mass of panicles and total fresh mass, volume of broth. There was no significant effect for the total soluble solids (Brix) and fresh mass of the panicles and total dry mass. It is concluded that the most suitable population arrangement for the cultivation of sorghum in the Cariri region of Ceará for the production of ethanol is a population of 120 thousand plants per hectare with spacing between rows of 70 centimeters planted in the second season of sowing with cut at 120 days after planting.

Key words: *Sorghum bicolor*. Population arrangement. Biofuels.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Croqui do esquema experimental em parcela subdividida. E1 = Espaçamento de 70 cm, E2 = 80 cm e E3 = 90 cm. P1 = População de 80.000 plantas/hectare, P2 = 100.000 plantas/hectare, P3 = 120.000 plantas/hectare e P4 = 140.000 plantas/hectare. | 21 |
| FIGURA 2 - Adubação de fundação no sulco | 22 |
| FIGURA 3 - Irrigação por gotejamento na área experimental | 23 |
| FIGURA 4 - Colmos, folhas e panículas do sorgo sacarino..... | 24 |
| FIGURA 5 - Volume de caldo de sorgo sacarino..... | 25 |
| FIGURA 6 - Amostras preparadas para análise | 26 |
| FIGURA 7 - Análise no espectrofotômetro..... | 26 |
| FIGURA 8 - Altura de planta em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em metros (m). ΔAP_{90DAP} = Altura de planta 90 dias após a semeadura; $\blacksquare AP_{120DAP}$ = Altura de planta 120 dias após a semeadura. | 30 |
| FIGURA 9 - Diâmetro em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em milímetros (mm). ΔDC_{90DAS} = Diâmetro dos colmos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare DC_{120DAS}$ = Diâmetro dos colmos 120 dias após a semeadura. | 31 |
| FIGURA 10 - Massa fresca dos colmos em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em metros ($kg\ ha^{-1}$). ΔMFC_{90DAP} = Massa fresca dos colmos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare MFC_{120DAP}$ = Massa fresca dos colmos 120 dias após a semeadura..... | 32 |
| FIGURA 11 - Massa seca dos colmos em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em ($kg\ ha^{-1}$). ΔMSC_{90DAP} = massa seca dos colmos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare MSC_{120DAP}$ = massa seca dos colmos 120 dias após a semeadura. | 33 |

- FIGURA 12 - Massa fresca das folhas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MFF}_{90\text{DAP}}$ = Massa fresca das folhas 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MFF}_{120\text{DAP}}$ = Massa fresca das folhas 120 dias após a semeadura.
- FIGURA 13 - Massa seca das folhas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MSF}_{90\text{DAP}}$ = Massa seca das folhas 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MSF}_{120\text{DAP}}$ = Massa seca das folhas 120 dias após a semeadura.35
- FIGURA 14 - Massa fresca das panículas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MFP}_{90\text{DAP}}$ = Massa fresca das panículas 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MFP}_{120\text{DAP}}$ = Massa fresca das panículas 120 dias após a semeadura.37
- FIGURA 15 - Massa seca das panículas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MSP}_{90\text{DAP}}$ = Massa seca das panículas 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MSP}_{120\text{DAP}}$ = Massa seca das panículas 120 dias após a semeadura.37
- FIGURA 16 - Massa fresca total em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MFT}_{90\text{DAP}}$ = Massa fresca total aos 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MFT}_{120\text{DAP}}$ = Massa fresca total aos 120 dias após a semeadura.39
- FIGURA 17 - Massa seca total em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta\text{MST}_{90\text{DAP}}$ = Massa seca total aos 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MST}_{120\text{DAP}}$ = Massa seca total aos 120 dias após a semeadura.40
- FIGURA 18 - Volume de caldo em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (L ha^{-1}). $\Delta\text{VC}_{90\text{DAP}}$ = Volume de caldo aos 90 dias após a semeadura; ■ $\text{VC}_{120\text{DAP}}$ = Volume de caldo aos 120 dias após a semeadura.41
- FIGURA 19 - Sólidos solúveis totais em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em ($^{\circ}\text{BRIX}$). $\Delta\text{SST}_{90\text{DAP}}$ = Sólidos solúveis totais aos

90 dias após a semeadura; ■ SST_{120DAP} = Sólidos solúveis totais aos 120 dias após a semeadura.42

FIGURA 20 - Desdobramento da interação entre as populações de plantas e os espaçamentos entrelinhas, para os açúcares redutores. □--AR_{E1} = Açúcares redutores no espaçamento de 70 cm; ■ —AR_{E2} = açúcares redutores no espaçamento de 80 cm; ■—AR_{E3} = açúcares redutores no espaçamento de 90 cm.44

FIGURA 21 - Açúcares redutores em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (Mmolg⁻¹ MS). ΔAR_{90DAP} = Açúcares redutores aos 90 dias após a semeadura; ■ AR_{120DAP} = Açúcares redutores aos 120 dias após a semeadura.45

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1- Parâmetros de interesse industrial para o sorgo sacarino e cana-de-açúcar. | 17 |
| TABELA 2- Médias mensais de Precipitação, Umidade relativa do ar e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental..... | 20 |
| TABELA 3- Síntese da análise de variância e do teste de médias para a altura da planta e diâmetro do colmo em ciclos e cortes diferentes. | 28 |
| TABELA 4- Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca dos colmos em épocas e cortes diferentes..... | 32 |
| TABELA 5- Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca das folhas em épocas e cortes diferentes..... | 34 |
| TABELA 6- Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca das panículas em épocas e cortes diferentes. | 36 |
| TABELA 7- Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca total em épocas e cortes diferentes..... | 38 |
| TABELA 8- Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis volume de caldo e BRIX em épocas e cortes diferentes. | 41 |
| TABELA 9- Síntese da análise de variância e do teste de médias para a variável açúcares reductores em épocas e cortes diferentes. | 43 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 15 |
| 2.1 | A cultura do sorgo para a produção de biomassa | 15 |
| 2.2 | Sorgo sacarino uma alternativa para produção de etanol..... | 16 |
| 2.3 | Arranjo populacional de plantas..... | 18 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 20 |
| 3.1 | Local do experimento | 20 |
| 3.2 | Características edafoclimáticas | 20 |
| 3.3 | Condução do experimento | 21 |
| 3.4 | Avaliações sobre as características agronômicas..... | 23 |
| 3.5 | Açúcares redutores | 25 |
| 3.6 | Análise estatística..... | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 46 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por combustíveis de fontes renováveis tem se expandido rapidamente nos últimos anos, devido à preocupação com a redução do volume de emissões de gases causadores do efeito estufa, derivados da utilização de recursos não renováveis. Além disso, incertezas a respeito da disponibilidade futura dos combustíveis fósseis e tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo, têm despertado grande interesse no mundo pelos biocombustíveis, pois estes são os mais viáveis substitutos para o petróleo em escala significativa (MAY *et al.*, 2012).

O Brasil destaca-se como maior produtor mundial de bioetanol a partir da cana-de-açúcar. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016) ao avaliar as perspectivas de expansão do mercado interno e externo, verifica-se que a produção de 28,7 bilhões de litros na safra 2014/15 e em 30,5 bilhões de litros na safra 2015/16, esse aumento deverá ser ampliado para 65,3 bilhões de litros na safra de 2020/2021, o que representa 15% da matriz energética brasileira.

No entanto, um dos grandes desafios para o setor sucroenergético brasileiro é a oscilação crescente dos custos de produção, e isso faz necessária a busca de soluções com a finalidade de reduzi-los, focando principalmente em aumento de rendimentos agrícola e industrial (WHITFIELD *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2014).

Neste cenário, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench), apresenta-se como alternativa promissora para incrementar a cadeia produtiva do etanol. O sorgo pode ser colhido durante a entressafra da cana-de-açúcar, onde as usinas não ficariam ociosas durante esse período, e por apresentar outras vantagens, como, a elevada produção de biomassa, a antecipação da colheita e a utilização do mesmo processo industrial da cana-de-açúcar para a produção de etanol (PARRELLA *et al.*, 2011).

Os principais desafios encontrados na cultura do sorgo sacarino para o modelo de negócio proposto estão relacionados ao sistema de produção, que ainda se encontra em estudo. As pesquisas científicas, embora tenham avançado seus estudos sobre as cultivares atuais, precisam dar continuidade, principalmente em relação ao melhor arranjo de plantas, incluindo espaçamento entrelinhas e população de plantas para os cultivares atuais, épocas de semeadura, resistência as plantas daninhas, pragas, doenças, acamamento de plantas, aproveitamento de água e fertilizantes e qualidade fisiológica de sementes.

Para Fiorini *et al.* (2016), entender o comportamento das cultivares de sorgo sacarino em diferentes condições de manejo, como populações de plantas e épocas de corte das plantas em diferentes épocas de semeadura, possibilita a adoção de estratégias de manejo mais eficientes pelo produtor, aumentando a produtividade e a sustentabilidade da atividade.

Segundo Fernandes *et al.* (2014), a redução do espaçamento entrelinhas para a cultura do sorgo sacarino resulta em ganhos de caracteres agronômicos, de importância para a produção de etanol. Por outro lado para população de plantas, o resultado nem sempre indica efeito sobre as principais variáveis de produção, em decorrência da variação ambiental e pelos distintos espaçamentos avaliados.

Albuquerque *et al.* (2012), ao avaliarem os espaçamentos de 50, 70, 90 e 110 cm e populações de 100, 150, 200 e 250 mil plantas ha⁻¹, para as variedades de sorgo sacarino BRS 506 e BRS 507, em diferentes locais do Estado de Minas Gerais, observaram que o aumento da população em até 250 mil plantas ha⁻¹ propiciou incrementos na produtividade de biomassa verde, porém, sem elevações na massa de colmo por hectare, devido à redução do diâmetro com o aumento do número de plantas por hectare.

Em um estudo feito por Pereira Filho *et al.* (2013) que avaliaram cultivares de sorgo sacarino em diferentes densidades de semeadura visando as características importantes para a produção de etanol, verificaram que o volume médio de caldo foi influenciado pelas cultivares ($p \leq 0,01$), mostrando maior valor da característica para o cultivar BR 506, com 24.895 L ha⁻¹, seguida da BR 505, que produziu 23.286 L ha⁻¹. Entretanto, no que se refere às demais cultivares (BR 505, 507, 501 e 601), as diferenças em relação à cultivar mais produtiva foram, respectivamente, 1.609 L ha⁻¹, 3.846 L ha⁻¹, 4.609 L ha⁻¹ e 8.194 L ha⁻¹.

Além de avaliar a produtividade da cultura, é necessário estudar a concentração total de açúcares, que possui correlação significativa com o teor de sólidos solúveis, representado pelo BRIX (TEETOR *et al.*, 2011) e diretamente influenciado pela taxa fotossintética das plantas. Para May *et al.* (2012), o aumento da densidade de semeadura ou o aumento do espaçamento entre fileiras, este último associado ao incremento do número de plantas por fileira, pode proporcionar maior competição intraespecífica, afetando diretamente a fotossíntese das plantas e, conseqüentemente, a produção de sólidos solúveis totais.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito do sistema de produção de sorgo sacarino, através da combinação entre o espaçamento entrelinhas e população de plantas, e épocas de semeadura e cortes na região do cariri cearense.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do sorgo para a produção de biomassa

O sorgo sacarino é uma Poaceae de origem africana que se adapta a uma gama de ambientes, principalmente sob condições de deficiência hídrica desfavorável à maioria dos outros cereais. Esta característica permite que a cultura seja apta para desenvolvimento e expansão em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão às culturas de verão. Por ser uma espécie tropical e subtropical C₄ com alta eficiência fotossintética, o sorgo é um dos maiores produtores de energia acumulada, com taxas de fotossíntese das folhas que vão de 30 a 100 mg dm⁻¹ h⁻¹ CO₂, dependendo do material genético, da intensidade de luz e da idade das folhas (CANAVIALIS, 2012; ERICKSON *et al.*, 2011).

Quanto aos fatores climáticos ressaltar-se que a temperatura ótima para o desenvolvimento do plantio está intimamente interligada a cultivar em questão, de uma forma geral sabe-se que temperaturas superiores a 38°C ou inferiores a 16°C limitam o desenvolvimento da maioria das cultivares, sendo que um aumento de 5°C na temperatura ótima noturna pode reduzir a produtividade em até 33% devido ao aumento da taxa de respiração noturna, pois a cada 1°C de aumento da temperatura noturna causa um excedente de 14% na respiração da planta (PRABU e MURUGESAN, 2011; CUNHA e SEVERO FILHO, 2010; ALMODARIS e HADI, 2009).

Agronomicamente, os sorgos são classificados em quatro grupos: granífero, forrageiro para silagem e/ou sacarino, forrageiro para pastejo/corte e vassoura. O primeiro grupo inclui tipos de porte baixo que são adaptados à colheita mecânica. O segundo grupo inclui tipos de porte alto apropriados para silagem e/ou produção de açúcar e álcool. O terceiro grupo inclui sorgos utilizados para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta. O quarto grupo inclui tipos cujas panículas são confeccionadas vassouras (EMBRAPA 2009; IEA, 2010).

Em termos globais, o sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo, base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Os grãos são amplamente utilizados na alimentação humana em países da África e Ásia, sendo no Ocidente utilizado na alimentação animal e na elaboração de xarope, álcool e açúcar (FAO, 2013).

No Brasil, o sorgo é destinado, principalmente, à produção de ração animal, e seu cultivo cresce tanto em área plantada quanto em produtividade. Na safra 2014/2015, foram 1.973,4 milhões de toneladas de grãos em 722,60 mil ha de área plantada, com produtividade

de 2,73 t/ha. É cultivado, principalmente, na região Centro-Oeste, que detém 60,3% da colheita nacional, ou seja, 1.189,72 milhão de toneladas. Em seguida, as regiões Sudeste 22,9%, Nordeste 11,5%, Sul 2,5% e Norte 1,8%. Enquanto o Centro-Oeste é a principal região produtora de sorgo granífero, o Sul e o Sudeste se destacam no cultivo de sorgos forrageiros (CONAB, 2015).

2.2 Sorgo sacarino uma alternativa para produção de etanol

O Sorgo sacarino é uma denominação dada às plantas da espécie *Sorghum bicolor* que apresentam elevada produção de massa verde, porte alto e colmos suculentos com elevados teores de açúcares fermentáveis no caldo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). De acordo com Fontes *et al.* (2011) o melado apresenta um teor de umidade de 24,32%, 75,67% de matéria seca, 7,39% de cinzas, com 1,22 mg de ferro/mL, 92,60% de matéria orgânica e 17,17 °Brix, com pH de 5,41, acidez de 0,99 e açúcar total de 22,92 g/ 100g de amostra.

Inicialmente introduzido nos Estados Unidos em 1857, o sorgo foi utilizado extensivamente na produção de xarope, o que ilustra seu potencial glicídico. No Brasil, o potencial do sorgo com colmo suculento para produção de etanol foi amplamente estudado nas décadas de 70 e 80, estimulados pelo Programa Nacional do Álcool – Decreto nº 76.593/75. No final da década de 70, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) lançou cinco cultivares de sorgo sacarino BR500, BR501, BR502, BR503 e BR504 derivadas das variedades Rio, Brandes, Roma, Theis e Dale, respectivamente, oriundas da USDA – Sugar Crops Field Station –Mississippi, todas com porte alto e teor de sólidos solúveis médios entre 17 e 18°Brix ((EMBRAPA, 1982).

Posteriormente, os cultivares BRS506 e BRS507 e o híbrido BRS601 foram desenvolvidos. Todavia, com o insatisfatório êxito do Proálcool, o foco das pesquisas e dos produtos foi redirecionado para a produção de cultivares forrageiras, provocando um intervalo nas pesquisas com sorgo sacarino. Como as cultivares lançadas apresentavam boa produção e qualidade de matéria verde, estes produtos se mantiveram no mercado, comercializados como forrageiras de dupla aptidão, sacarinas e forrageiras (EMBRAPA, 2012).

O Brasil é responsável por 20 e 50% das exportações mundiais de etanol e açúcar, respectivamente. Para suprir a demanda interna e continuar a manter esse percentual de exportação, a produção brasileira terá que aumentar 15 milhões de toneladas até 2020 (UNICA, 2012), isto significa um aumento de 44% em relação à produção atual (SOARES *et al.*, 2014). De acordo com a CONAB (2015) a produtividade média brasileira de biomassa

verde de cana-de-açúcar é de 70,49 t ha⁻¹. Em regiões produtoras, maiores níveis de produtividade são alcançados, porém esses níveis tendem a cair gradativamente a partir do primeiro corte até o quinto ou sexto corte, com ciclo de cultivo de um ano ou um ano e meio.

Na busca de solucionar essa problemática o sorgo sacarino ganha atenção, por suas inúmeras vantagens no sistema de produção, além disso, justifica-se a posição de destaque da cultura, por diminuir a ociosidade das indústrias canavieiras na produção de etanol, ocupando deste modo o espaço de entressafra da cana-de-açúcar, dando oportunidade à rotação de culturas e proporcionando um período anual completo (AZEVEDO *et al.*, 2012; PARRELLA, 2011), maximizando o uso de todo o parque de equipamentos voltados a produção de etanol a partir da cana (SANTOS *et al.*, 2015).

Quanto ao teor de sólidos solúveis, medida indireta para aferição do teor de açúcar, verifica-se que os valores do sorgo sacarino são equivalentes aos encontrados na cana-de-açúcar (RATNAVATHI *et al.*, 2011). Além disso, os teores de açúcares se elevam até a planta atingir a maturidade fisiológica, época ideal para o corte, o que possibilita perfeitamente a conciliação da colheita dos colmos e dos grãos.

A utilização do sorgo sacarino para produção de etanol, do ponto de vista de processamento industrial, pouco se difere da cana-de-açúcar (Tabela 1). Ao chegar à indústria, a matéria-prima é quantificada e amostras são retiradas aleatoriamente para a determinação de sua qualidade através de ensaios laboratoriais.

Tabela 1 - Parâmetros de interesse industrial para o sorgo sacarino e cana-de-açúcar.

| Parâmetro | Sorgo Sacarino | Cana-de-açúcar |
|---|----------------|----------------|
| Brix caldo (%) | 15 – 19 | 18 – 25 |
| Pureza (%) | 60 – 75 | 80 – 90 |
| Fibra (%) | 12 – 20 | 10 – 15 |
| Sacarose caldo (%) | 8 – 13 | 14 – 22 |
| AR (Açúcares Redutores) caldo (%) | 1 – 3 | 0,5 – 1 |
| Glicose caldo (%) | 0,5 – 2 | 0,2 – 1 |
| Frutose caldo (%) | 0,5 – 1,5 | 0 – 0,5 |
| ART (Açúcares Redutores Totais) caldo (%) | 12 – 17 | 15 – 24 |
| Amido caldo (%) | 0,1 – 0,5 | 0,001 – 0,05 |

Fonte: Fernandes (2013)

As análises realizadas para o sorgo sacarino nesta etapa podem seguir o procedimento já adotado na usina. Ensaios feitos, segundo o Manual de Instruções da Consecana – SP (2006)

mostraram-se parcialmente adequados, sendo a principal diferença encontrada a presença de interferentes na leitura sacarimétrica e na clarificação do caldo prensa do sorgo quando se utiliza Octapol, como agente clarificante. Se a presença de interferentes resultarem em distorção das análises, recomenda-se determinação dos Açúcares Redutores Totais (ART) pelo método do digestor para comparação (EMBRAPA, 2012).

Em avaliações do processamento industrial feitas até o momento em usinas de grande porte, foi encontrado rendimento de até 60 litros de etanol por tonelada de sorgo sacarino processado. Estes rendimentos foram obtidos em usinas que processaram o sorgo pela primeira ou segunda vez (EMBRAPA, 2012).

2.3 Arranjo populacional de plantas

No Brasil, são escassos os trabalhos relacionados com o manejo cultural do sorgo sacarino, especificamente sobre o comportamento de cultivares em diferentes populações de plantas e épocas de cortes, visando ao rendimento de forragem e relacionados à produção de etanol. Para o sorgo sacarino, o índice multiplicativo TBH (toneladas de brix por hectare) tem se destacado em programas de melhoramento para a seleção de genótipos superiores por abranger caracteres que realmente influenciam diretamente na produção de etanol por hectare, foco principal da utilização de sorgo sacarino (FIORINE *et al.*, 2016).

A competição entre as plantas da mesma cultura (intraespecífica) e dessas com as plantas daninhas (interespecífica) é uma das causas responsáveis por perdas elevadas de produtividade de grãos em algumas culturas de verão, as quais, para expressarem o potencial produtivo apresentam elevada demanda por radiação solar. A competição intraespecífica, normalmente, é determinada por altas densidades de semeadura associada a espaçamentos reduzidos, os quais provocam sombreamento das plantas, redução da interceptação da radiação solar pelo dossel da cultura e competição por nutrientes, além da competição por água, quando em cultivo de sequeiro (CABRAL *et al.*, 2013; LOPES *et al.*, 2009).

A modificação no arranjo de plantas, por meio de variações no espaçamento entre linhas ou entre plantas dentro das linhas pode ser uma alternativa para se alcançar maior produtividade de grãos (KRÜGER *et al.*, 2011). A utilização da combinação ótima de espaçamento entre fileiras e densidade de plantas na fileira para uma cultura possibilita a melhor utilização de luz, água e nutrientes pelas plantas e é uma das tecnologias de maior simplicidade de aplicação (SORATTO *et al.*, 2011; BIZINOTO *et al.*, 2010). O arranjo ideal

de plantas na área de plantio depende de características intrínsecas do cultivar, como porte, hábito de crescimento e arquitetura da planta (BEZERRA *et al.*, 2009), bem como de condições edafoclimáticas e do sistema de manejo.

Fernandes *et al.* (2014) constataram que a redução do espaçamento entrelinhas para a cultura do sorgo sacarino resulta em ganhos de caracteres agronômicos, de importância para a produção de etanol. Porém, para a população de plantas, o resultado do estudo nem sempre indica efeito sobre as principais variáveis de produção, em decorrência da variação ambiental e pelos distintos espaçamentos avaliados.

Diversos autores observaram que o rendimento cultural do sorgo é diretamente afetado pelo número de linhas por hectare (MAY *et al.*, 2012; ZEGADA-LIZARAZU e MONTI, 2012). De uma forma geral, o aumento no espaçamento ocasiona redução na produtividade da cultura, porém, esses resultados podem variar em função da cultivar e das condições edafoclimáticas de cada local.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os ensaios foram conduzidos na área experimental do Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade (CCAB) da Universidade Federal do Cariri (UFCA), situada no município de Crato, Ceará, com as coordenadas geográficas 7°14'49"S, 39°22'05"W e 413 metros de altitude.

3.2 Características edafoclimáticas

O clima, segundo a classificação de Köeppen é Aw', considerado tropical úmido, com inverno característico seco, com estação chuvosa presente de dezembro a abril e estação seca de maio a novembro (Tabela 2). As precipitações geralmente são superiores a 750 mm anuais nas regiões de clima Aw', sendo encontrado esse clima no litoral e serras do Ceará (EMBRAPA, 2016).

Tabela 2 - Médias mensais de precipitação, umidade relativa do ar e temperaturas máxima e mínima durante o período experimental de abril de 2016 a janeiro de 2017, Crato, 2017.

| Meses | Precipitação (mm) | Umidade Relativa do ar (%) | Temperatura ° C | |
|---------------|----------------------|-------------------------------|-----------------|--------|
| | | | Mínima | Máxima |
| Abril/2016 | 33,50 | 74,05 | 21,26 | 32,84 |
| Mai/2016 | 30,00 | 66,64 | 20,88 | 33,40 |
| Junho/2016 | 17,60 | 64,00 | 19,82 | 32,63 |
| Julho/2016 | 0,00 | 50,60 | 19,56 | 33,22 |
| Agosto/2016 | 0,00 | 45,91 | 19,32 | 34,68 |
| Setembro/2016 | 3,10 | 45,65 | 21,01 | 35,57 |
| Outubro/2016 | 0,00 | 45,65 | 21,80 | 36,72 |
| Novembro/2016 | 0,00 | 44,07 | 23,02 | 36,31 |
| Dezembro/2016 | 69,10 | 43,40 | 22,47 | 35,61 |
| Janeiro/2016 | 21,00 | 74,21 | 21,86 | 31,95 |

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Estação de Barbalha-CE (2017).

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, de textura arenosa, conforme classificação de solos de média intensidade da Funceme (2012). Os resultados obtidos com a análise química do solo (0-20 cm de profundidade) foram: pH (1:2,5 H₂O): 5,0; P = 3,0 mg dm⁻³; K = 1,00 mmolc dm⁻³; Ca = 3,0 mmolc dm⁻³; Mg = 3,0 mmolc dm⁻³; CTC = 26,0 mmolc dm⁻³ e V% = 23,0. A adubação foi calculada de modo a fornecer quantidades adequadas de nitrogênio, fósforo e potássio, baseados na expectativa de produção de biomassa total da parte aérea de 60 t ha⁻¹ (EMBRAPA, 2009).

3.3 Condução do experimento

O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas (Figura 1). As parcelas foram compostas por três espaçamentos entrelinhas (70, 80 e 90 cm), e as subparcelas por quatro populações de plantas de sorgo sacarino (80.000, 100.000, 120.000 e 140.000 plantas ha⁻¹).

Figura 1 - Croqui do esquema experimental em parcela subdividida. E1 = Espaçamento de 70 cm, E2 = 80 cm e E3 = 90 cm. P1 = População de 80.000 pl ha⁻¹, P2 = 100.000 pl ha⁻¹, P3 = 120.000 pl ha⁻¹ e P4 = 140.000 pl ha⁻¹.

| BLOCO I | | | BLOCO II | | | BLOCO III | | | BLOCO IV | | |
|---------|------|------|----------|------|------|-----------|------|------|----------|------|------|
| E3P2 | E2P1 | E1P4 | E1P2 | E3P1 | E2P2 | E3P4 | E1P3 | E2P3 | E2P4 | E3P3 | E1P1 |
| E3P4 | E2P3 | E1P1 | E1P4 | E3P3 | E2P1 | E3P1 | E1P2 | E2P4 | E2P2 | E3P1 | E1P3 |
| E3P3 | E2P4 | E1P2 | E1P3 | E3P4 | E2P3 | E3P2 | E1P1 | E2P2 | E2P1 | E3P2 | E1P4 |
| E3P1 | E2P2 | E1P3 | E1P1 | E3P2 | E2P4 | E3P3 | E1P4 | E2P1 | E2P3 | E3P4 | E1P2 |

Fonte: próprio autor.

Cada unidade experimental foi constituída por três linhas com cinco metros de comprimento, espaçadas de acordo com o tratamento. A área útil considerada para análise foi a fileira central com três metros de comprimento, eliminando-se um metro de cada extremidade.

O cultivar de sorgo sacarino utilizado foi o BRS 511, desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo, que possui alto potencial de produção de colmos, podendo alcançar produtividades de 80 t ha⁻¹, associado a altos teores de açúcares fermentáveis no caldo (18 a 22 °BRIX), com ótimo padrão de fermentação. Reúne as principais características buscadas para a produção de

etanol e surge como uma das ótimas opções para a indústria sucroalcooleira. Apresenta moderada resistência à antracnose e helmintosporiose (EMBRAPA, 2016).

Foram realizados dois ciclos, com a primeira semeadura em abril, e a segunda em setembro de 2016. O preparo do solo foi realizado de forma convencional, com uma gradagem leve, antes da instalação dos experimentos.

Para as duas épocas de semeadura, aplicou-se uma adubação de fundação no sulco, com oito centímetros de profundidade, na dose de 200 kg ha⁻¹ sulfato de amônio, 500 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 125 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Figura 2 - Adubação de fundação no sulco



Fonte: próprio autor.

Após a adubação, foi depositado, solo sobre o adubo para evitar contato direto com a semente. Em seguida foi feita a semeadura com uma semeadora manual knapik, com sistema de distribuição de sementes por discos alveolados. Com 15 dias realizou-se o raleio manual das plantas, deixando-se apenas uma planta por cova, com o auxílio de uma régua previamente marcada, indicando as distâncias entre as plantas na linha de cultivo para cada população de plantas estudada, segundo o espaçamento entrelinhas relacionada a cada tratamento.

A adubação de cobertura foi parcelada em duas aplicações, com a primeira sendo realizada no momento em que as plantas emitiram de 3-4 folhas definitivas, na dose de 350 kg

ha⁻¹ de sulfato de amônio e 125 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. E a segunda cobertura feita 35 dias após a semeadura (DAS), com 350 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio. O experimento foi irrigado diariamente por um sistema de irrigação do tipo gotejamento. Para cada época de semeadura foi realizado dois cortes, o primeiro aos 90 DAS e o segundo aos 120 DAS.

Figura 3 - Irrigação por gotejamento na área experimental



Fonte: próprio autor.

3.4 Avaliações sobre as características agronômicas

- ***Altura da planta***

Distância média, em metros, da base rente ao solo até a inserção das panículas, em plantas colhidas na área útil na parcela.

- ***Diâmetro do colmo***

Diâmetro médio, em milímetros, no terço médio do colmo por meio de paquímetro, em plantas colhidas na área útil na parcela.

- ***Matéria fresca de colmos, folhas, panículas e total***

Pesagem média, em gramas, da massa fresca dos colmos, folhas e panículas separadas, em função da área útil, em balança semianalítica de precisão para duas casas em gramas, e posterior conversão para kg ha^{-1} .

Figura 4 - Colmos, folhas e panículas do sorgo sacarino



Fonte: próprio autor.

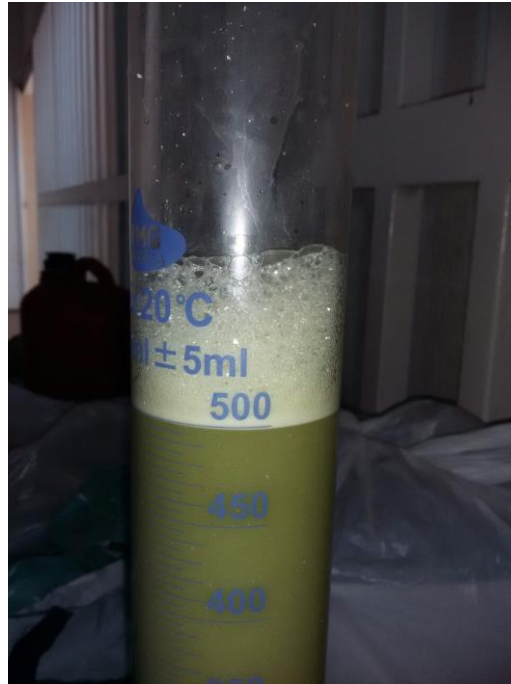
- ***Matéria seca de colmos, folhas, de panícula e total***

Pesagem média, em gramas, da matéria seca de colmo, folhas e panícula de plantas da área útil, obtido por secagem em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 horas, com posterior conversão para kg ha^{-1} .

- ***Volume de caldo***

Determinado pela medição do volume de caldo dos colmos em proveta graduada, colhidos na parcela útil, extraído em moenda de motor elétrico considerada de “baixa eficiência de extração” e estimado considerando a respectiva população de plantas na parcela. Os colmos foram passados duas vezes na extração, sendo na segunda vez dobrados ao meio para maior extração do caldo, e os valores expressos em L ha^{-1} .

Figura 5 - Volume de caldo de sorgo sacarino



Fonte: próprio autor.

• *Sólidos Solúveis Totais*

Determinado por refratômetro de campo digital de leitura automática, com escala de 0 a 32°BRIX, em amostra do caldo extraído dos colmos das plantas colhidas na área útil na parcela.

3.5 Açúcares redutores

As análises para a determinação dos açúcares redutores foi realizado no Laboratório de Química da UFCA. Determinado de acordo com a metodologia de Somogye (1944) e Nelson (1945).

Figura 6 - Amostras preparadas para análise



Fonte: próprio autor.

Figura 7 - Análise no espectrofotômetro



Fonte: próprio autor.

3.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade e em seguida à análise de variância. Quando necessário, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste

Tukey a 5% de significância, utilizando o Sistema de Análise Estatística – SISVAR (FERREIRA, 2008). Os modelos para ajuste das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e da significância dos efeitos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das características, altura de planta e diâmetro do colmo, encontra-se na Tabela 3. A variável altura de planta não foi afetada pelos espaçamentos testados nas duas épocas de semeadura e corte. Mas pode-se afirmar que ao permanecer no campo, depois dos 90 dias após a semeadura (90DAS) as plantas de sorgo sacarino continuam em crescimento, sendo que na primeira época de semeadura (1º ciclo) as plantas cresceram mais, atingindo altura de 2,51 m, enquanto que na segunda época de semeadura (2º ciclo) a altura máxima foi de 1,52 m.

Esse resultado está associado às características genéticas do cultivar BRS 511, e às temperaturas máximas acima de 34°C no segundo ciclo (Tabela 2), que, segundo Eastin (1976), temperaturas entre 29 e 34°C, aumentam em 25% a fotossíntese, conseqüentemente um aumento na altura das plantas e produção de biomassa do sorgo. Enquanto que, temperaturas diurnas acima de 34°C ocasionam queda de produção de 12% a 17%.

Tabela 3 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para a altura da planta e diâmetro do colmo em ciclos e cortes diferentes, em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES DE VARIACÃO | 1º CICLO | | 2º CICLO | | 1º CICLO | | 2º CICLO | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CORTE | | CORTE | | CORTE | | CORTE | |
| | 1º | 2º | 1º | 2º | 1º | 2º | 1º | 2º |
| Teste F | -----Altura----- | | | | -----Diâmetro----- | | | |
| E | 0,40 ^{NS} | 0,04 ^{NS} | 2,93 ^{NS} | 0,40 ^{NS} | 0,94 ^{NS} | 5,59* | 1,45 ^{NS} | 0,31 ^{NS} |
| P | 1,22 ^{NS} | 1,80* | 1,61 ^{NS} | 2,92* | 1,70 ^{NS} | 5,45** | 2,18 ^{NS} | 0,71 ^{NS} |
| E*P | 0,86 ^{NS} | 2,42 ^{NS} | 1,42 ^{NS} | 1,69 ^{NS} | 0,70 ^{NS} | 1,60 ^{NS} | 1,54 ^{NS} | 1,88 ^{NS} |
| CV1(%) | 16,40 | 8,87 | 7,55 | 14,68 | 22,69 | 20,15 | 14,94 | 18,52 |
| CV2(%) | 12,77 | 5,19 | 10,69 | 11,77 | 16,12 | 16,55 | 18,58 | 14,35 |
| Espaçamento (E) | -----m----- | | | | -----mm----- | | | |
| 70 cm | 1,78a | 2,50a | 1,40a | 1,52a | 1,13a | 1,28ab | 1,52a | 1,69a |
| 80 cm | 1,79a | 2,51a | 1,41a | 1,45a | 1,20a | 1,23b | 1,61a | 1,65a |
| 90 cm | 1,71a | 2,49a | 1,49a | 1,49a | 1,34a | 1,42a | 1,54a | 1,59a |

E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.**: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

Peakocky & Wilson (1984) mostram também que a taxa de emergência de folhas aumenta quando a temperatura aumenta de 13°C para 23°C, declinando quando a temperatura fica acima dos 34°C.

Com relação à temperatura mínima, Paul (1990) evidencia que para a cultura desenvolver todos seus processos fisiológicos normalmente, o limite inferior é de 16°C para a maioria dos cultivares. Cita ainda que temperaturas inferiores a 10°C causam redução da área foliar, do enraizamento, da altura da planta, acumulação de matéria seca e atrasa o fechamento dos estômatos. Nesta pesquisa, observa-se que a temperatura mínima não foi limitante, em ambos os ciclos avaliados, estando em todos os meses acima dos 19°C (Tabela 2).

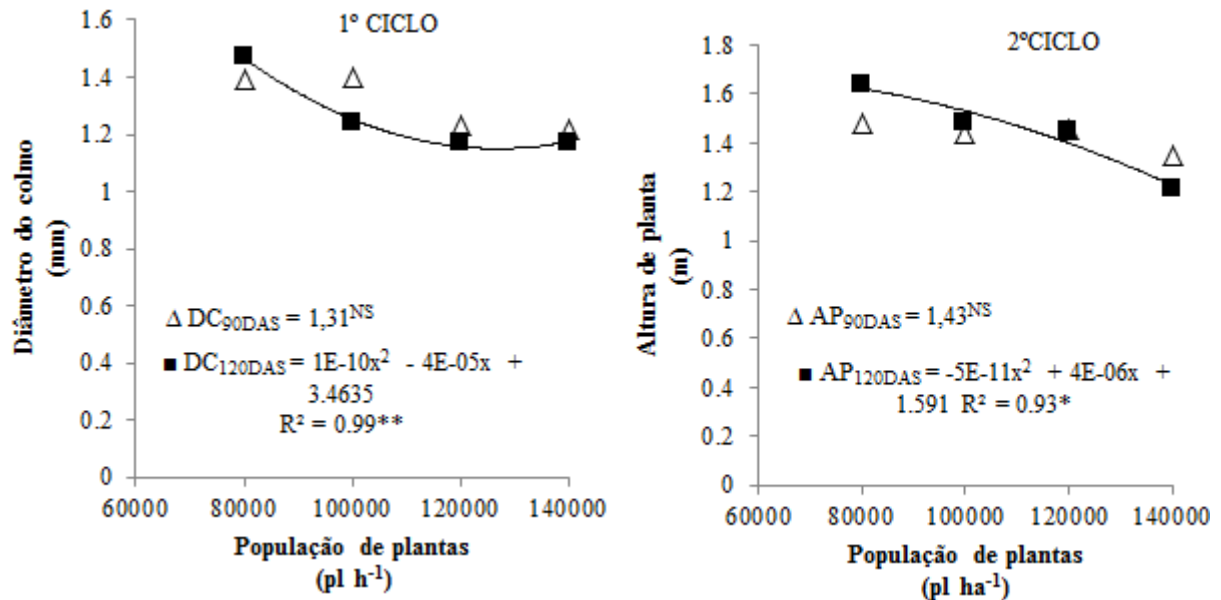
Ao comparar os resultados dessa pesquisa com os de Avelino *et al.* (2011), em um estudo feito sobre densidade e época de semeadura no município de Araguaína-Tocantins, sob condições climáticas semelhantes (clima tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno com temperatura variando de 18°C a 40°C) em regime de sequeiro, a altura da planta foi inferior às encontradas neste trabalho, variando de 0,45 a 1,20 m. Porém, ao comparar com os valores obtidos por Pereira Filho *et al.* (2013), em estudo feito também sobre diferentes densidades de semeadura no município de Sete Lagoas-Minas Gerais, com condições climáticas diferentes (clima tropical chuvoso, savana com inverno seco, temperaturas variando de 15 a 34°C) em regime de sequeiro, a altura das plantas, foram superiores às encontradas nessa pesquisa, variando de 2,91 a 2,92 m.

Snider *et al.* (2012), afirmam que plantas cultivadas em populações de plantas menos densa possui um maior crescimento em altura, devido à menor competição entre as plantas favorecendo o aproveitamento dos fatores de produção disponíveis em cada época de semeadura.

Para o fator população de plantas, no 1º e no 2º ciclo, com o corte realizado aos 120 dias após a semeadura (120 DAS), houve efeito significativo, sendo o modelo ajustado por o polinomial quadrático, com os coeficientes de determinação de 99 e 93%, respectivamente.

Observa-se na Figura 8 que no 1º ciclo, as plantas atingiram altura máxima de 2,58 m na população de 80.000 pl ha⁻¹ e com altura mínima de 2,48 m na população de 140.000 pl ha⁻¹. Já no 2º ciclo, a altura máxima ocorreu na população de 80.000 pl ha⁻¹ com 1,59 m e mínima de 1,17 m de altura na população de 140.000 pl ha⁻¹. Isso implica que a altura das plantas foi influenciada de modo negativo, ou seja, quanto maior a população de plantas por hectare, menor será a altura das plantas. Com relação ao corte aos 90DAS, não houve significância, para os dois ciclos estudados.

Figura 8 - Altura de planta em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em metros (m). ΔAP_{90DAS} = Altura de planta 90 dias após a semeadura; $\blacksquare AP_{120DAS}$ = Altura de planta 120 dias após a semeadura.

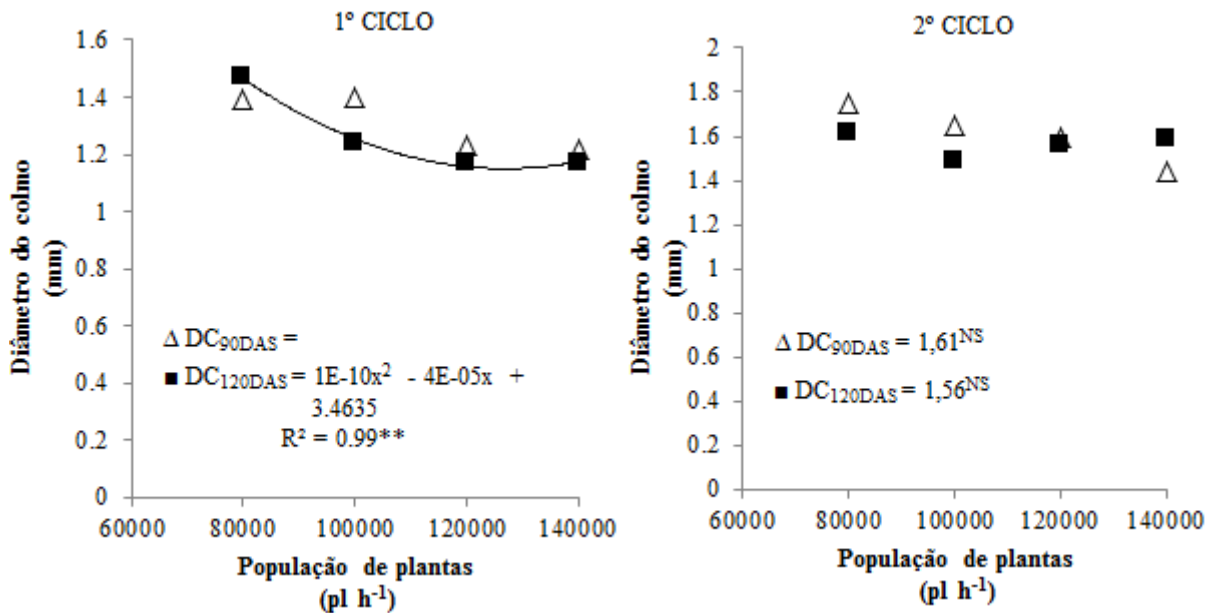


Avaliando o diâmetro de colmos (Tabela 3), para o fator espaçamento entrelinhas houve significância, no 1º ciclo, e corte aos 120 DAS. O espaçamento de 90 cm entrelinhas foi o que mostrou a maior média (1,42 cm), diferindo das demais, proporcionado pelo aumento na interceptação da radiação solar pelo dossel da planta, aumentando a disponibilidade de fotoassimilados (MAY *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013). Com relação ao 2º ciclo, nos dois cortes e o corte realizado aos 90 DAS, no 1º ciclo, o diâmetro dos colmos não respondeu de modo significativo ao aumento do espaçamento entrelinhas da cultura.

Nota-se, ainda, que o diâmetro dos colmos no segundo ciclo foram maiores, nos dois cortes avaliados, evidenciando que no segundo ciclo, apesar das altas temperaturas limitarem o crescimento em altura, favoreceu o aumento do diâmetro do colmo, sendo esta uma característica desejada na cultura do sorgo sacarino para a produção de etanol.

Para o fator população de plantas, apenas no 1º ciclo, com o corte aos 120 DAS, foi verificado modelo significativo, sendo ajustado ao polinomial quadrático (Figura 9), com a elevação da população de 80 para 140 mil pl ha⁻¹ provocando decréscimo de 1,21 mm no diâmetro dos colmos. O 2º ciclo não apresentou significância nas duas épocas de corte.

Figura 9 - Diâmetro em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em milímetros (mm). ΔDC_{90DAS} = Diâmetro dos colmos 90 dias após a semeadura; ■ DC_{120DAS} = Diâmetro dos colmos 120 dias após a semeadura.



Esses resultados corroboram com os obtidos por May *et al.* (2012), os quais afirmaram que o aumento da população de plantas ha⁻¹ pode resultar na redução do diâmetro. Os mesmos autores também afirmam que a redução do diâmetro dos colmos se correlaciona positivamente com o acamamento e quebraamento de plantas.

Pereira Filho *et al.* (2013) afirmam que a característica de acamamento de planta interfere no processo de colheita, tanto dificultando as operações, como aumentando as perdas de biomassa e de rendimento de caldo e açúcares. A estatura muito elevada de cultivar pode estar sujeita ao acamamento devido a vários fatores, como a ação de ventos fortes. Neste experimento, não foi registrado acamamento de plantas.

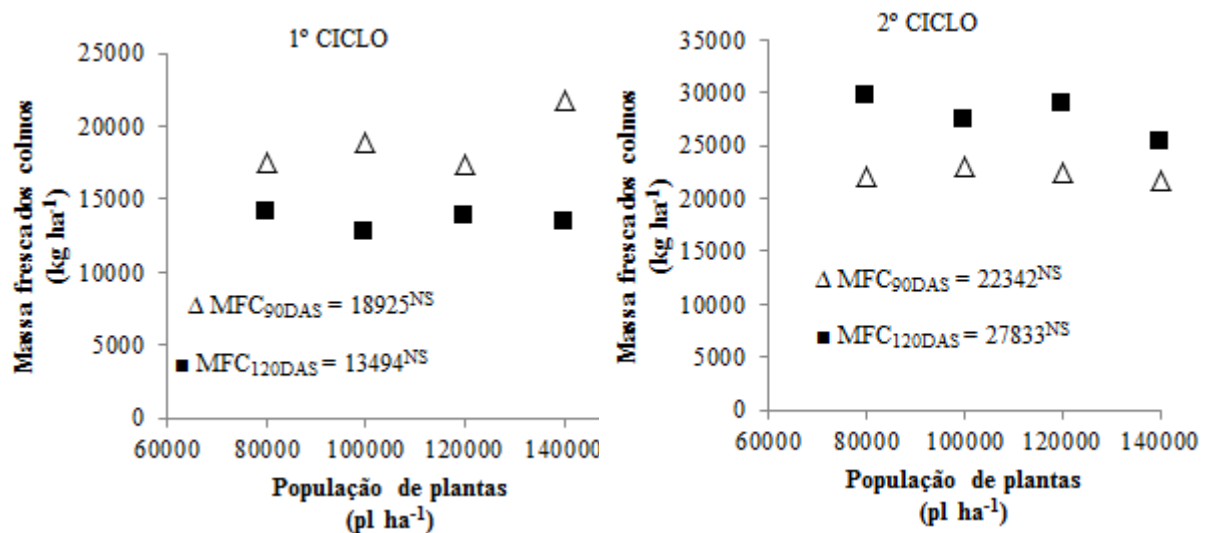
Quanto à matéria fresca dos colmos, de acordo com a Tabela 4, houve efeito do fator espaçamento entrelinhas, no 2º ciclo, com o corte feito aos 120 DAS, com maior produção de massa fresca dos colmos observada no espaçamento de 70 cm, com média de 31.025 kg ha⁻¹ (Figura 10).

Tabela 4 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massa fresca e seca dos colmos em épocas e cortes diferentes, em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES DE VARIÇÃO | 1º CICLO | | 2º CICLO | | 1º CICLO | | 2º CICLO | |
|-------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1º CORTE | 2º CORTE | 1º CORTE | 2º CORTE | 1º CORTE | 2º CORTE | 1º CORTE | 2º CORTE |
| | MFC | | | | MSC | | | |
| Teste F | -----MFC----- | | | | -----MSC----- | | | |
| E | 0,23 ^{NS} | 0,53 ^{NS} | 2,90 ^{NS} | 6,22* | 0,79 ^{NS} | 0,78 ^{NS} | 1,24 ^{NS} | 7,07* |
| P | 1,41 ^{NS} | 1,29 ^{NS} | 0,13 ^{NS} | 0,81 ^{NS} | 0,86 ^{NS} | 2,52 ^{NS} | 0,72 ^{NS} | 3,51* |
| E*P | 0,61 ^{NS} | 1,88 ^{NS} | 1,57 ^{NS} | 0,55 ^{NS} | 0,74 ^{NS} | 1,29 ^{NS} | 0,91 ^{NS} | 0,68 ^{NS} |
| CV1(%) | 29,94 | 48,55 | 26,32 | 18,04 | 27,42 | 50,48 | 45,91 | 17,95 |
| CV2(%) | 31,59 | 19,98 | 22,91 | 25,87 | 29,99 | 18,58 | 33,49 | 22,73 |
| Espaçamento (E) | -----kg ha ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| 70 cm | 19648a | 21087a | 25080a | 31025a | 4843a | 6813a | 5585a | 7893a |
| 80 cm | 18827a | 20900a | 20167a | 27710ab | 4456a | 6291a | 4671a | 6307b |
| 90 cm | 18300a | 17948a | 21780a | 24765b | 4308a | 5444a | 4391a | 6672ab |

E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. MFC = massa fresca do colmo e MSC = massa seca dos colmos. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

Figura 10 - Massa fresca dos colmos em função da população de plantas em duas épocas de semeadura e corte expressa em metros (kg ha⁻¹). Δ MFC_{90DAS} = Massa fresca dos colmos 90 dias após a semeadura; ■MFC_{120DAS} = Massa fresca dos colmos 120 dias após a semeadura.

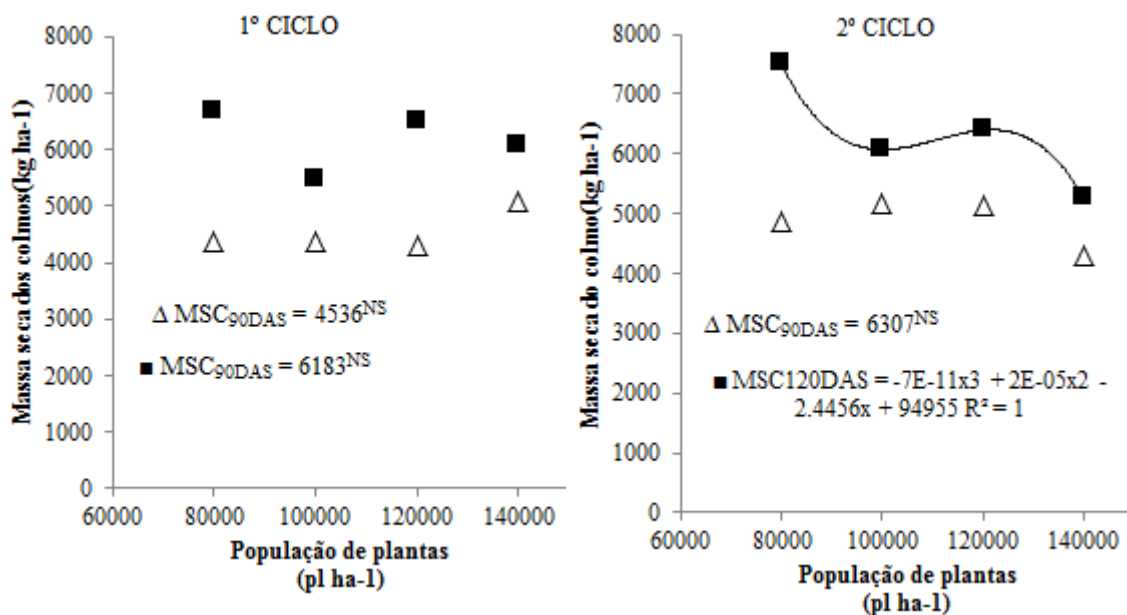


Com relação ao fator espaçamento entrelinhas para a matéria seca dos colmos os espaçamentos utilizados diferiram entre si no 2º ciclo com o corte feito aos 120DAS, obtendo a maior produção média (7893 kg ha⁻¹) no espaçamento de 70 cm.

Na Figura 11, observa-se que para o fator população de plantas, a matéria seca dos colmos obteve modelo de regressão cúbico no 2º ciclo com o corte aos 120DAS. De modo que produção de massa seca de colmos apresentou-se inversamente proporcional ao aumento da população de plantas, onde maior produção (11475 kg ha⁻¹) ocorreu na população de 80.000 pl ha⁻¹.

Para Soares *et al.* (2014), em geral, os colmos corresponderam a 60% do total de massa seca acumulada. No entanto, para Singh *et al.* (2012) os colmos representaram mais de 70% do total da biomassa seca produzida.

Figura 11 - Massa seca dos colmos em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha⁻¹). Δ MSC_{90DAP} = massa seca dos colmos 90 dias após a semeadura; ■ MSC_{120DAP} = massa seca dos colmos 120 dias após a semeadura.



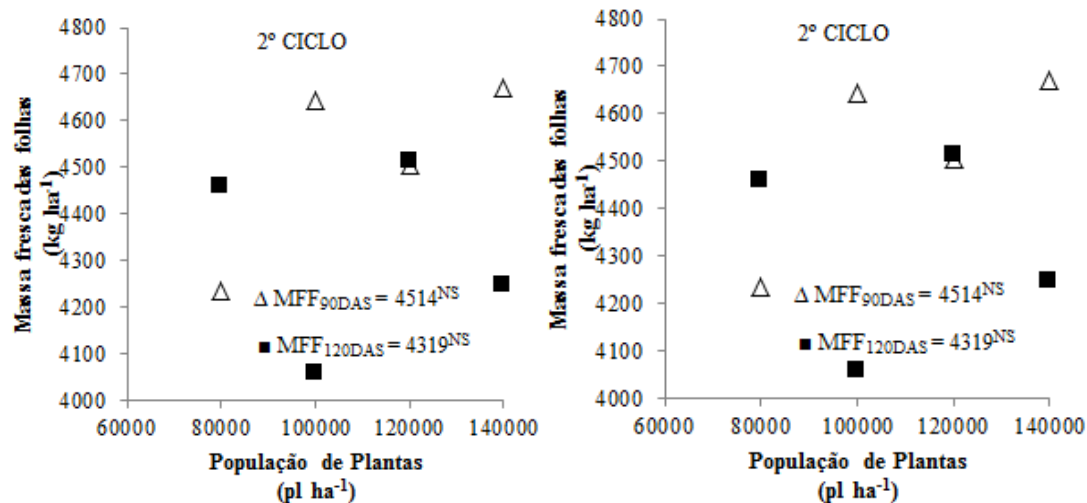
De acordo com a Tabela 5, a matéria fresca das folhas apresentou significância apenas para o fator espaçamento entrelinhas, no 2º ciclo, com o corte aos 90 DAS. O espaçamento de 70 cm resultou em maior acúmulo de massa fresca, para as duas épocas de semeadura, não apresentando diferenças significativas para o fator população de plantas nas duas épocas de semeadura e cortes (Figura 12).

Tabela 5 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca das folhas em épocas e cortes diferentes em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| Teste F | 1° | | 2° | | 1° | | 2° | |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CICLO | | CICLO | | CICLO | | CICLO | |
| | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° |
| | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE |
| | -----MFF----- | | | | -----MSF----- | | | |
| E | 0,21 ^{NS} | 0,51 ^{NS} | 9,72** | 0,36 ^{NS} | 0,57 ^{NS} | 0,28 ^{NS} | 11,61** | 5,50 * |
| P | 2,03 ^{NS} | 1,60 ^{NS} | 0,56 ^{NS} | 0,84 ^{NS} | 1,08 ^{NS} | 2,49 ^{NS} | 0,62 ^{NS} | 2,22 ^{NS} |
| E*P | 0,85 ^{NS} | 0,12 ^{NS} | 1,06 ^{NS} | 1,03 ^{NS} | 0,74 ^{NS} | 0,78 ^{NS} | 0,89 ^{NS} | 2,38 ^{NS} |
| CV1(%) | 23,13 | 27,87 | 14,58 | 27,93 | 25,12 | 47,88 | 23,19 | 22,23 |
| CV2(%) | 24,59 | 30,82 | 20,33 | 18,34 | 27,56 | 21,38 | 32,37 | 24,06 |
| Espaçamento (E) | -----kg/ ha ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| 70 cm | 4166,07a | 2760,71a | 5107,14a | 4494,64a | 1509,70a | 1183,94a | 1984a | 2856a |
| 80 cm | 3959,38a | 2662,50a | 4226,56b | 4329,69a | 1493,40a | 1061,20a | 1418b | 2397ab |
| 90 cm | 4109,03a | 2935,42a | 4210,65b | 4135,31a | 1492,37a | 1302,40a | 1445b | 2228b |

E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. MVF = Massa fresca das folhas e Massa seca das folhas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

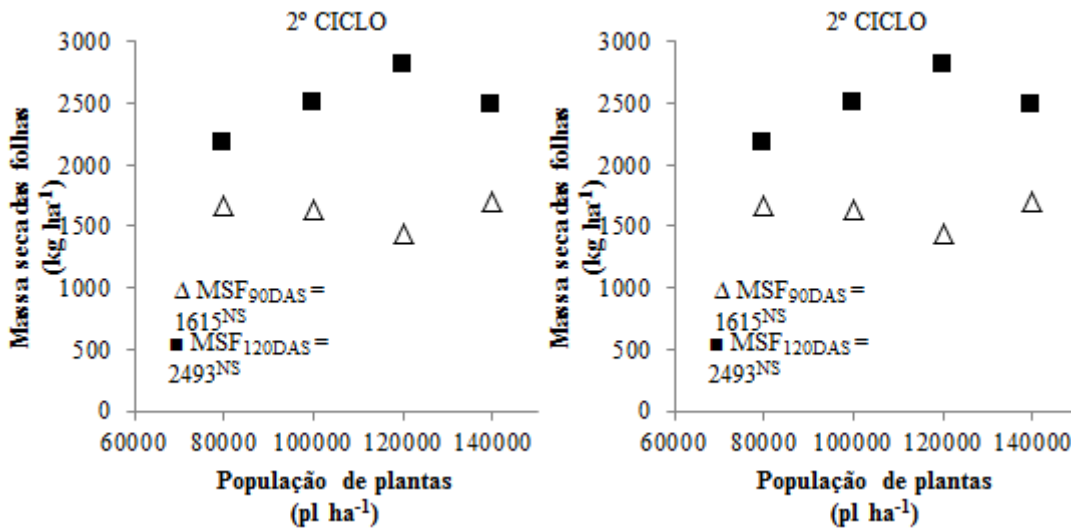
Figura 12 - Massa fresca das folhas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha⁻¹). Δ MFF_{90DAP} = Massa fresca das folhas 90 dias após a semeadura; \blacksquare MFF_{120DAP} = Massa fresca das folhas 120 dias após a semeadura.



No tocante à massa seca das folhas, o 2° ciclo apresentou significância, tanto no corte aos 90DAS como no corte aos 120DAS, sendo o espaçamento de 70 cm entrelinhas que

apresentou maior incremento de massa seca das folhas, não sendo influenciada pelo fator população de plantas (Figura 13).

Figura 13 - Massa seca das folhas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). Δ MSF_{90DAP} = Massa seca das folhas 90 dias após a semeadura; ■ MSF_{120DAP} = Massa seca das folhas 120 dias após a semeadura.



Fernandes (2013) observou, que da mesma forma que ocorreu para massa seca de colmos por planta, a massa seca de folhas também foi influenciada pelo aumento do espaçamento entrelinhas. O estudo demonstrou ainda que o sorgo sacarino não suporta competição na linha de cultivo e que, para maiores produtividades por planta, o cultivo em espaçamentos simples reduzidos pode resultar em maiores médias de massa de colmos e folhas.

Neste trabalho os resultados foram contrários, demonstrando que o sorgo é resistente à competição e que produz bem em espaçamentos entre plantas adensados (maiores populações), em relação à massa de colmos e de folhas secas, nas condições dessa pesquisa. Essas respostas podem estar associadas às diferenças edafoclimáticas, e as características da cultivar em estudo, demonstrando que no estudo feito por Fernandes (2013) a planta de sorgo sacarino, do cultivar BRS 506, não tem capacidade produtiva, sob condições de alta competição entre plantas e que o cultivar utilizado neste estudo, a BRS 511, pode apresentar tais características na região do Cariri.

Para a massa fresca das panículas não ocorreu significância para os fatores em estudo, nas duas épocas de semeadura e nos dois cortes (Tabela 6). Quanto à massa seca houve

significância para o fator espaçamento, no 2º ciclo, no corte feito aos 120 DAS, onde o espaçamento de 70 cm entrelinhas apresentou mais uma vez a maior produtividade.

Tabela 6 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca das panículas em épocas e cortes diferentes em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES DE VARIACÃO | 1º | | 2º | | 1º | | 2º | |
|--------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CICLO | | CICLO | | CICLO | | CICLO | |
| | 1º | 2º | 1º | 2º | 1º | 2º | 1º | 2º |
| | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE |
| Teste F | -----MFP----- | | | | -----MSP----- | | | |
| E | 1,71 ^{NS} | 0,10 ^{NS} | 0,05 ^{NS} | 4,36 ^{NS} | 2,38 ^{NS} | 0,24 ^{NS} | 1,79 ^{NS} | 6,24* |
| P | 1,07 ^{NS} | 0,20 ^{NS} | 0,76 ^{NS} | 1,96 ^{NS} | 2,03 ^{NS} | 0,70 ^{NS} | 1,84 ^{NS} | 2,62 ^{NS} |
| E*P | 0,34 ^{NS} | 1,20 ^{NS} | 1,47 ^{NS} | 1,11 ^{NS} | 0,36 ^{NS} | 1,30 ^{NS} | 2,28 ^{NS} | 1,22 ^{NS} |
| CV1(%) | 24,99 | 63,97 | 44,28 | 27,27 | 21,30 | 61,60 | 47,48 | 24,66 |
| CV2(%) | 27,53 | 35,26 | 47,97 | 29,77 | 27,96 | 30,21 | 39,35 | 25,52 |
| Espaçamento (E) | -----kg/ ha ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| 70 cm | 489,29a | 453,57a | 549,11a | 1098,21a | 282,20a | 340,41a | 167,18a | 593,65a |
| 80 cm | 457,03a | 489,06a | 548,18a | 1098,18a | 272,01a | 354,82a | 195,72a | 576,86ab |
| 90 cm | 415,29a | 445,14a | 571,76a | 847,89a | 240,46a | 306,20a | 229,83a | 442,57b |

E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. MSP = massa seca das panículas e MSP = massa seca das panículas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

Não houve influência do fator população de plantas, na massa fresca e seca das panículas, para o cultivar estudado (Figuras 14 e 15). Esse resultado corrobora com os obtidos por Habyarimana *et al.* (2004), Wortmann *et al.* (2010) e Snider *et al.* (2012), que não verificaram efeito das populações avaliadas entre 79.000 a 233.000 plantas por hectare sobre a produtividade de diferentes cultivares de sorgo.

Figura 14 - Massa fresca das panículas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha⁻¹). Δ MFP_{90DAS} = Massa fresca das panículas 90 dias após a semeadura; ■ MFP_{120DAS} = Massa fresca das panículas 120 dias após a semeadura.

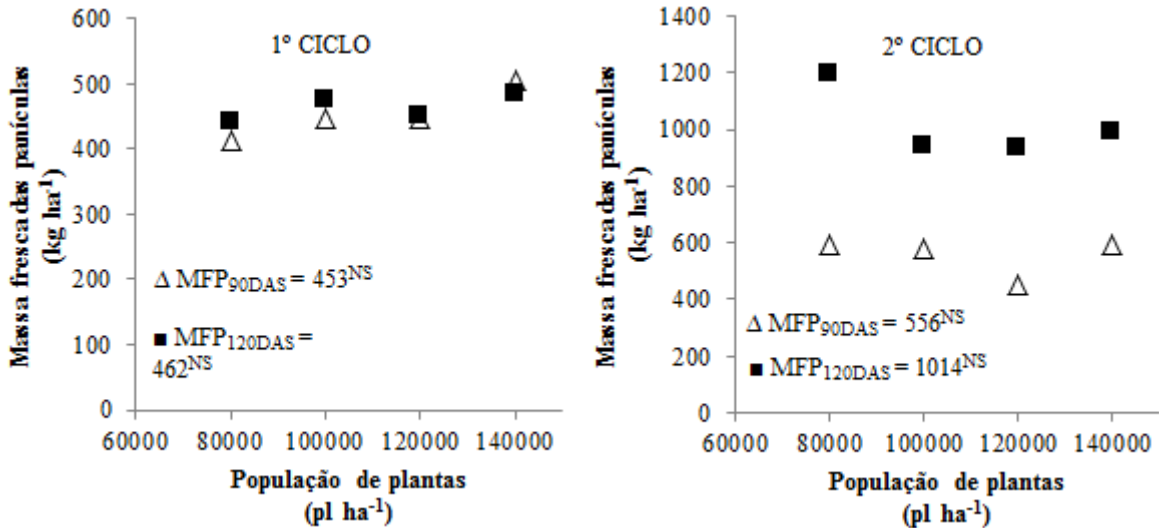
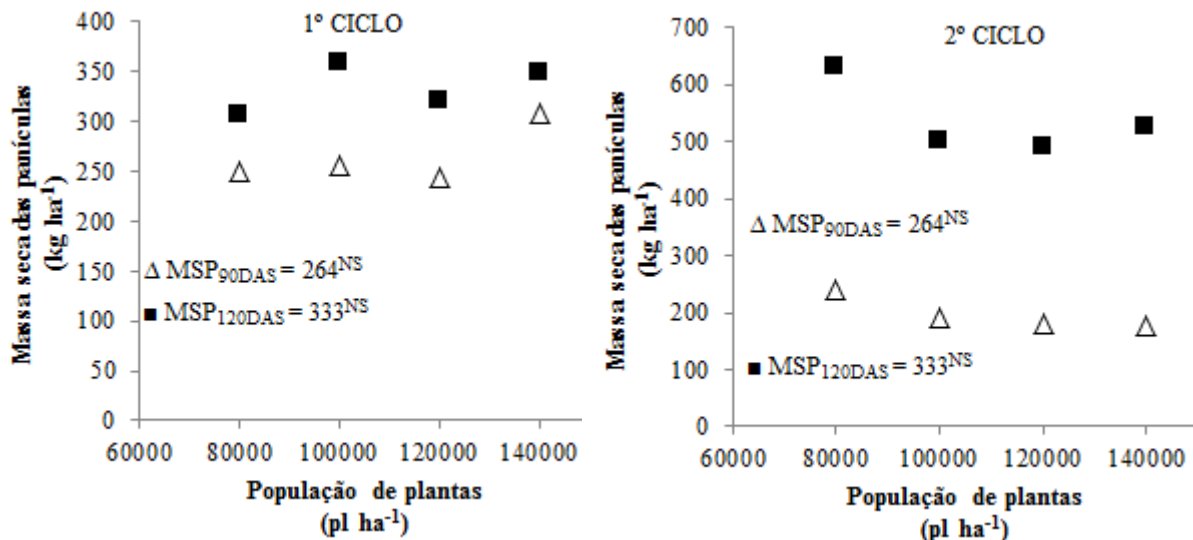


Figura 15 - Massa seca das panículas em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha⁻¹). Δ MSP_{90DAS} = Massa seca das panículas 90 dias após a semeadura; ■ MSP_{120DAS} = Massa seca das panículas 120 dias após a semeadura.



O comportamento da variável massa fresca total foi similar ao observado para a massa fresca dos colmos, ocorrendo significância para o fator espaçamento, no segundo ciclo, com corte aos 120 DAS. A massa fresca total aumentou com a redução do espaçamento, com valor máximo de 36.618,75 kg ha⁻¹, para o espaçamento de 70 cm entrelinhas (Tabela 7). Já o fator

população de plantas, com relação à massa fresca total, não apresentou significância (Figura 16).

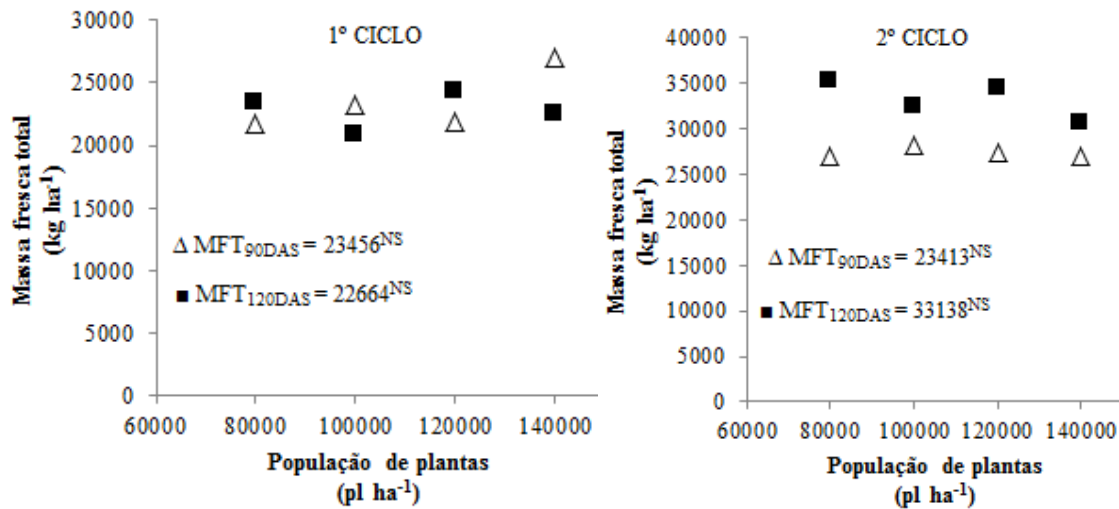
De acordo com Pereira Filho *et al.* (2013) ao avaliarem as variedades BR 501, 505, 506 e 507 e um híbrido simples forrageiro BR 601, semeados nas densidades de semeaduras de 75.000, 100.000, 125.000, 150.000 e 175.000 plantas ha⁻¹ com o corte aos 120DAS, a produção de massa verde variou de 86,0 t ha⁻¹ (BR 506) a 54,1 t ha⁻¹, (BR 601). Os rendimentos de massa verde obtidos neste trabalho estão abaixo dos encontrados por Pereira Filho *et al.* (2013), mas estão de da amplitude de rendimento de massa verde (27,9 a 124 t ha⁻¹) encontrada em 36 materiais de sorgo sacarino (variedades, híbridos e linhagens), (ALMODARES & HADI, 2009).

Tabela 7 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para as variáveis massas fresca e seca total, em épocas e cortes diferentes em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES | 1° | | 2° | | 1° | | 2° | |
|-------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CICLO | | CICLO | | CICLO | | CICLO | |
| | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° |
| VARIAÇÃO | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE |
| Teste F | -----MFT----- | | | | -----MST----- | | | |
| E | 0,21 ^{NS} | 0,40 ^{NS} | 3,69 ^{NS} | 5,63* | 0,63 ^{NS} | 0,54 ^{NS} | 3,06 ^{NS} | 10,18* |
| P | 1,51 ^{NS} | 1,18 ^{NS} | 0,11 ^{NS} | 0,82 ^{NS} | 1,16 ^{NS} | 1,79 ^{NS} | 0,40 ^{NS} | 2,65 ^{NS} |
| E*P | 0,65 ^{NS} | 1,50 ^{NS} | 1,55 ^{NS} | 0,46 ^{NS} | 0,74 ^{NS} | 0,94 ^{NS} | 1,07 ^{NS} | 1,08 ^{NS} |
| CV1(%) | 28,31 | 45,01 | 22,70 | 17,46 | 24,37 | 44,93 | 30,99 | 14,72 |
| CV2(%) | 29,72 | 19,64 | 21,51 | 23,80 | 26,89 | 17,91 | 28,49 | 19,85 |
| Espaçamento | -----kg ha ⁻¹ ----- | | | | | | | |
| (E) | | | | | | | | |
| 70 cm | 24303,57a | 24301,79a | 30736,61a | 36618,75a | 6635,48a | 8518a | 7736,18a | 11342,50a |
| 80 cm | 23243,75a | 24052,34a | 24942,71a | 33188,54ab | 6222,02a | 7983a | 6284,98a | 9281,37b |
| 90 cm | 22824,10a | 21329,17a | 26562,50a | 29748,94b | 6041,36a | 7219a | 6066,76a | 9342,69b |

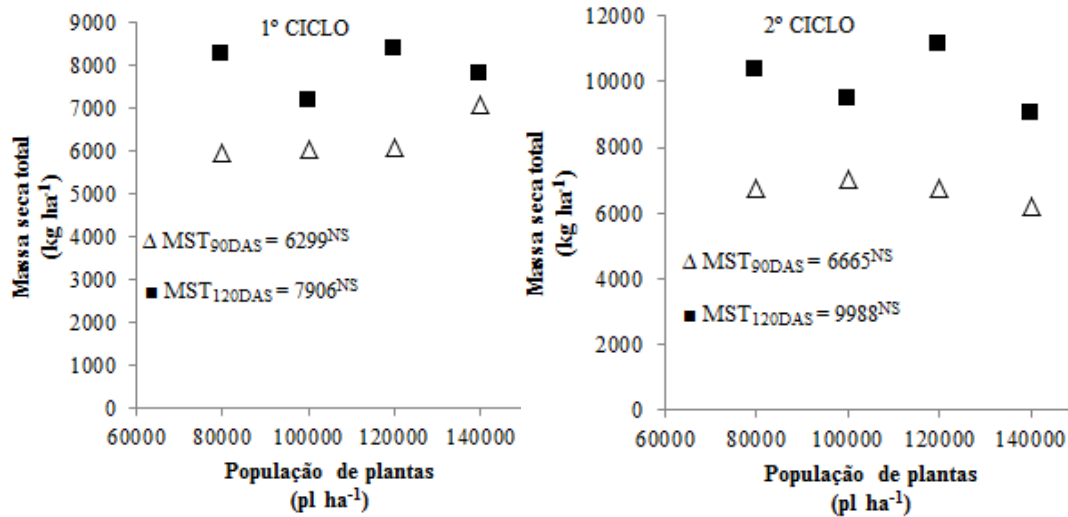
E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. MFT= Massa fresca total e MST = massa seca do total. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.**: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

Figura 16 - Massa fresca total em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta \text{MFT}_{90\text{DAS}}$ = Massa fresca total aos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare \text{MFT}_{120\text{DAS}}$ = Massa fresca total aos 120 dias após a semeadura.



Da mesma forma que na massa verde total a massa seca também foi influenciada pelo espaçamento entrelinhas ($P < 0,05$), no 2º ciclo com o corte aos 120DAS, sendo o espaçamento de 70 cm entrelinhas que apresentou a maior produção de massa seca total, com média de $11342,5 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabela 7), mas não foi influenciada pelo fator população de plantas (Figura 17).

Figura 17 - Massa seca total em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (kg ha^{-1}). $\Delta \text{MST}_{90\text{DAS}}$ = Massa seca total aos 90 dias após a semeadura; ■ $\text{MST}_{120\text{DAS}}$ = Massa seca total aos 120 dias após a semeadura.



Essa produtividade de massa seca total está bem abaixo das produtividades relatadas para cultivares de sorgos comerciais existentes no mercado, que estão em torno de 15 a 20 t ha^{-1} (MONTEIRO, J. S. T.; HAVRLAND, B.; INANOVA, T *et al.* 2012; RODRIGUES *et al.*, 2008; SKONIESKI *et al.*, 2010). Contudo, Santos *et al.* (2014) ao investigar o potencial de sorgo para produção de biocombustíveis, obteve resultados que se aproximam dos encontrados neste trabalho, para a produtividade de massa seca total dos materiais CMSXS 7020 e o CMSXS 652 que foi de 12,46 e 12,50 t ha^{-1} .

A variável volume de caldo sofreu efeito significativo apenas para o fator espaçamento entrelinhas, no 2º ciclo, com o corte aos 120 DAS. O volume de caldo diminuiu proporcionalmente ao aumento dos espaçamentos de 70 para 90 cm, resultando em decréscimo de 970 L ha^{-1} (Tabela 8).

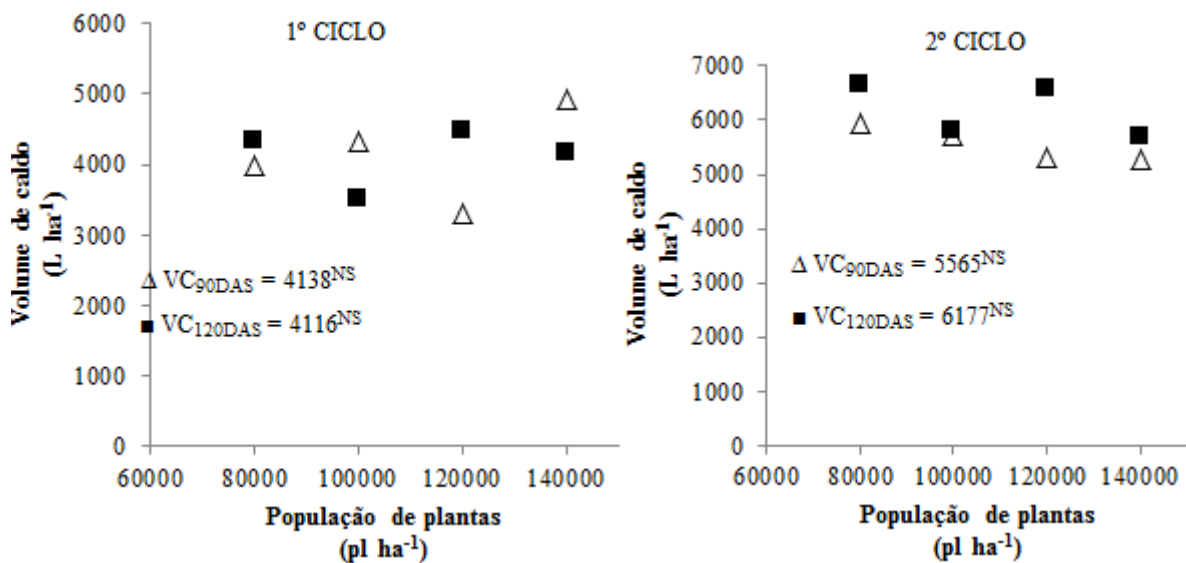
Resultados semelhantes foram observados por Kumar *et al.* (2008) em experimento conduzido em diferentes localidades na Índia. Tais autores demonstraram ao avaliar cultivares de sorgo sacarino sob dois arranjos de plantas (15 x 40 e 15 x 60 cm), que as maiores produtividades de caldo foram obtidas nos menores espaçamentos e nas maiores populações de plantas. Novamente o fator população de plantas não influenciou quanto à quantidade de caldo produzida (Figura 18).

Tabela 8 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para a variável volume de caldo e sólidos solúveis totais em épocas e cortes diferentes em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES DE VARIACÃO | 1° | | 2° | | 1° | | 2° | |
|--------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CICLO | | CICLO | | CICLO | | CICLO | |
| | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° | 1° | 2° |
| | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE | CORTE |
| | -----VC----- | | | | -----SST----- | | | |
| Teste F | | | | | | | | |
| E | 0,55 ^{NS} | 0,21 ^{NS} | 2,56 ^{NS} | 5,42* | 0,63 ^{NS} | 3,62 ^{NS} | 0,46 ^{NS} | 0,02 ^{NS} |
| P | 1,25 ^{NS} | 1,12 ^{NS} | 0,44 ^{NS} | 0,55 ^{NS} | 1,27 ^{NS} | 0,84 ^{NS} | 0,21 ^{NS} | 0,24 ^{NS} |
| E*P | 0,91 ^{NS} | 2,28 ^{NS} | 1,48 ^{NS} | 0,46 ^{NS} | 0,47 ^{NS} | 0,62 ^{NS} | 1,24 ^{NS} | 1,61 ^{NS} |
| CV1(%) | 55,97 | 55,68 | 33,59 | 14,66 | 9,21 | 3,66 | 12,68 | 4,13 |
| CV2(%) | 49,83 | 34,22 | 30,62 | 38,57 | 5,49 | 3,88 | 8,90 | 5,06 |
| Espaçamento (E) | -----L ha ⁻¹ ----- | | | | -----°BRIX----- | | | |
| 70 cm | 3680,36a | 3841,96a | 6241a | 6759a | 21,15a | 22,13a | 17,44a | 20,69a |
| 80 cm | 4207,81a | 4358,59a | 4763a | 6047ab | 20,91a | 22,31a | 18,06a | 20,63a |
| 90 cm | 4527,08a | 4149,31a | 5694a | 5729b | 21,67a | 22,88a | 17,38a | 20,65a |

VC = volume de caldo. SST = sólidos solúveis totais. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

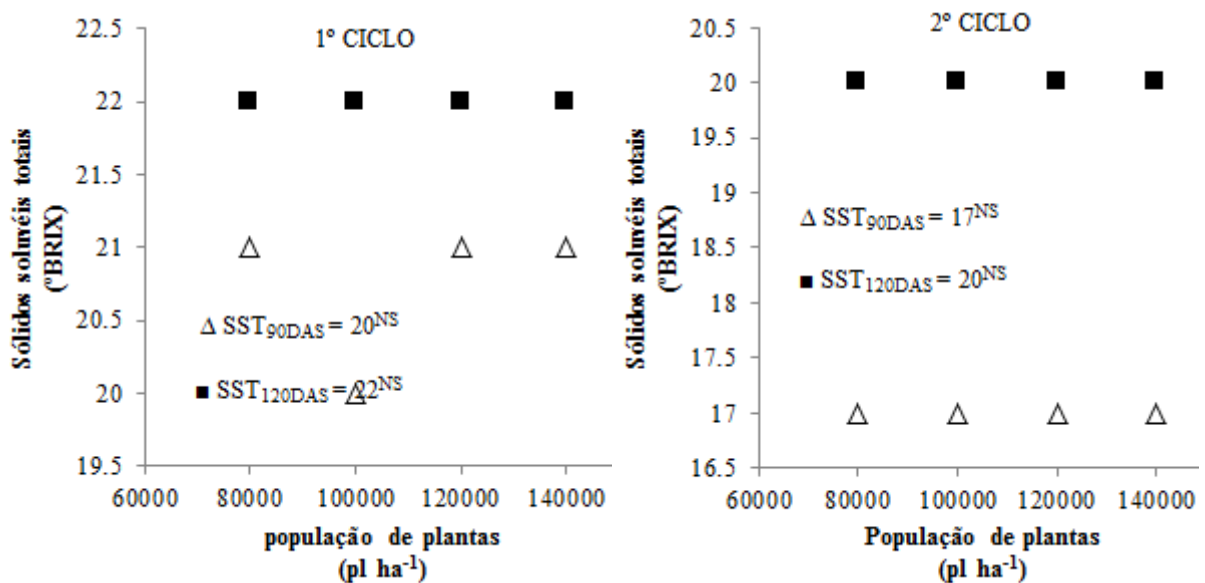
Figura 18 - Volume de caldo em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (L ha⁻¹). ΔVC_{90DAS} = Volume de caldo aos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare VC_{120DAS}$ = Volume de caldo aos 120 dias após a semeadura.



Trabalhos sobre o efeito da densidade de plantas no rendimento do sorgo sacarino são inconsistentes. Alguns autores destacam que taxas elevadas de semeadura propiciam incrementos na produtividade de massa; em outros casos, não é verificado nenhum efeito sobre a produtividade (STICKLER e LAUDE, 1960; STEINER, 1986; HABYARIMANA *et al.*, 2004; WORTMANN *et al.*, 2010; SNIDER *et al.*, 2012). O rendimento de sorgo sacarino, em resposta à densidade de semeadura, parece ser dependente do ambiente e da cultivar (MENEZES *et al.*, 2015).

O °BRIX é um termo que representa a aproximação do conteúdo de sólidos solúveis totais, apresentando correlação significativa e positiva com a concentração total de açúcar (TEETOR *et al.*, 2011; MASSON *et al.*, 2015), e é diretamente influenciado pela taxa fotossintética das plantas. No entanto, neste trabalho, os sólidos solúveis totais não foram influenciados pelos fatores em estudo, espaçamento entrelinhas e população de plantas (Figura 19), mas apresentou de acordo com Davila-Gomes *et al.* (2011) médias aceitáveis nas duas épocas de semeadura (Tabela 8), por está dentro da faixa considerada desejável que é acima de 11°BRIX.

Figura 19 - Sólidos solúveis totais em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (°BRIX). Δ SST_{90DAS} = Sólidos solúveis totais aos 90 dias após a semeadura; \blacksquare SST_{120DAS} = Sólidos solúveis totais aos 120 dias após a semeadura.



Para as concentrações de açúcares redutores, houve interação significativa entre os fatores espaçamento entrelinhas e população de plantas, no 1º ciclo, com o corte realizado aos

120 DAS (Tabela 9). Observa-se na Figura 14 que, na população de 80.000 pl ha⁻¹ não houve diferença quanto aos espaçamentos entrelinhas, com relação à produção de açúcares redutores. Na população de 100.000 pl ha⁻¹ foi observado que no espaçamento de 70 cm entrelinhas houve maior concentração de açúcares redutores e que as populações de 120.000 e 140.000 pl ha⁻¹, o espaçamento de 90 cm entrelinhas foi o que proporcionou a maior concentração de açúcares redutores.

Tabela 9 - Síntese da análise de variância e do teste de médias para a variável açúcares redutores em épocas e cortes diferentes em função do espaçamento entrelinhas e população de plantas. Crato-CE, 2017

| FONTES DE VARIAÇÃO | 1º CICLO | | 2º CICLO | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 1º CORTE | 2º CORTE | 1º CORTE | 2º CORTE |
| Teste F | AR | | | |
| E | 0,48 ^{NS} | 0,12 ^{NS} | 1,85 ^{NS} | 1,36 ^{NS} |
| P | 1,52 ^{NS} | 1,94 ^{NS} | 2,75* | 3,63* |
| E*P | 1,37 ^{NS} | 2,94* | 1,95 ^{NS} | 0,85 ^{NS} |
| CV1(%) | 60,53 | 57,04 | 69,59 | 59,06 |
| CV2(%) | 40,91 | 23,64 | 41,90 | 35,16 |
| Espaçamento (E) | ----- mg/L----- | | | |
| 70 cm | 0,25a | 0,23b | 0,48a | 0,43a |
| 80 cm | 0,21a | 0,19a | 0,36a | 0,31a |
| 90 cm | 0,21a | 0,18a | 0,58a | 0,41a |

E = espaçamento entrelinhas; P = população de plantas. AR = açúcares redutores. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. **: significativo (P<0,01); *: significativo (P<0,05); NS: não significativo; CV%: coeficiente de variação.

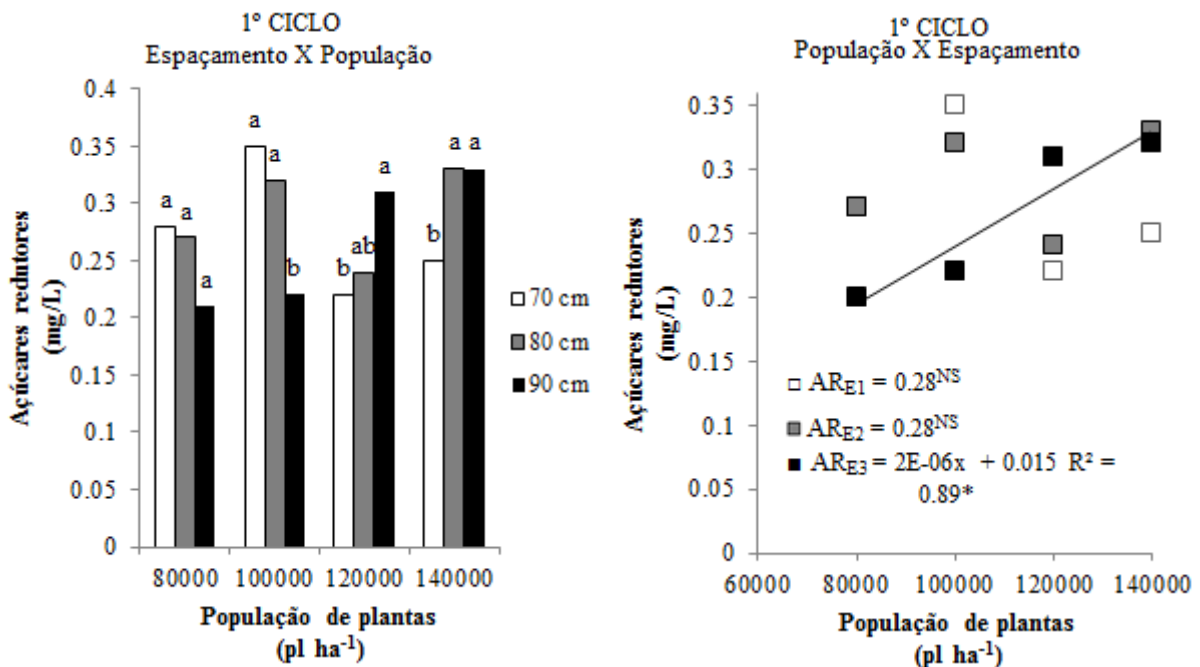
Gomes (2014) aos estudar a produção de etanol, utilizando MIX de sorgo sacarino e cana-de-açúcar em processo de maturação em Jaboticabal-SP, com a semeadura em dezembro, verificou que os maiores valores de sólidos solúveis totais (17,2) e açúcares redutores (1,2) foram obtidos para o caldo do sorgo sacarino, na segunda época de plantio e segundo corte. Estes resultados indicam que na primeira avaliação realizada aos 90 DAS, as características desejadas para a produção de etanol, a partir do caldo do sorgo sacarino, estavam mais imaturas (SANTOS *et al.* 2012).

Já com relação ao fator população, os açúcares redutores apresentaram comportamento significativo (P<0,05), apenas para o espaçamento entrelinhas de 90 cm, com

o melhor modelo ajustado sendo o linear, ou seja, a cada aumento de 20 mil plantas por hectare ocorreu elevação de 0,015mg/L da amostra na concentração de açúcares redutores (Figura 20).

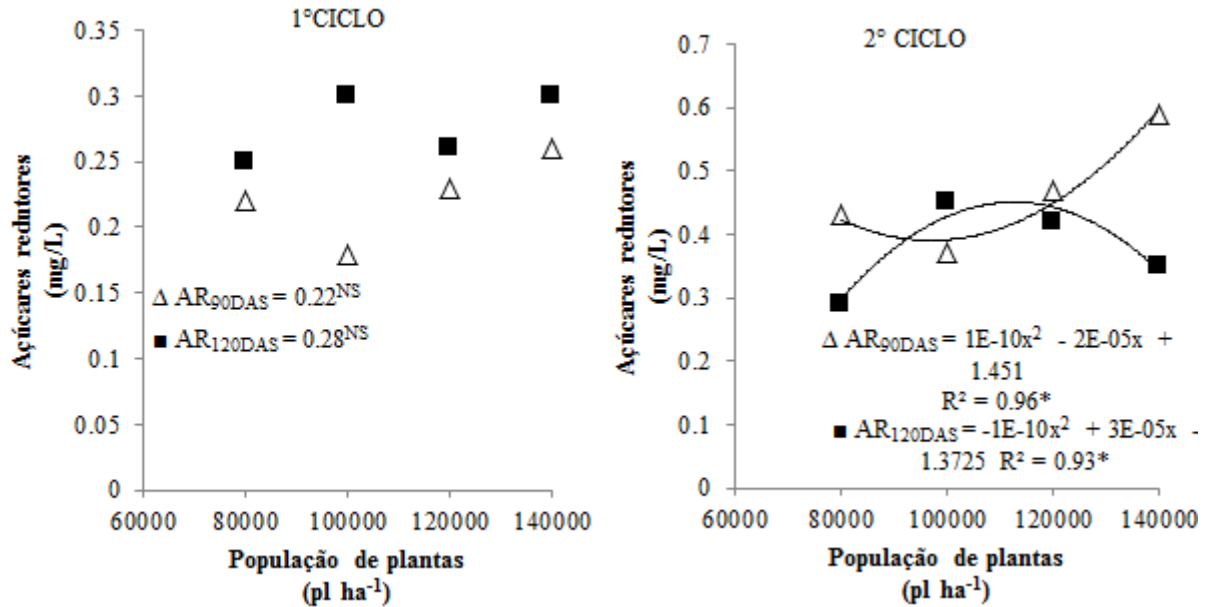
Em trabalho realizados por Pereira Filho *et al.* (2013) e Fiorini *et al.* (2016), que avaliaram a produtividade de sorgo sacarino em função de populações de plantas e de épocas de corte, não observaram diferenças significativas com o aumento das populações de plantas.

Figura 20 - Desdobramento da interação entre as populações de plantas e os espaçamentos entrelinhas, para os açúcares redutores. □--AR_{E1} = Açúcares redutores no espaçamento de 70 cm; ■—AR_{E2} = açúcares redutores no espaçamento de 80 cm; ■—AR_{E3} = açúcares redutores no espaçamento de 90 cm.



Com relação ao 2º ciclo, tanto no corte feito aos 90 DAS como aos 120 DAS, apresentou efeito significativo para o fator população de plantas (Figura 21), sem a ocorrência de interação entre os fatores em estudo. Para o corte realizado as 90 DAS, a concentração dos açúcares redutores obtiveram acréscimos com o aumento da população de plantas. Efeito contrário ocorreu para o corte realizado as 120 DAS, onde a concentração de açúcares redutores diminuiu com o aumento da população de plantas por hectare. Isso implica que à medida que a planta entra no estágio de maturidade fisiológica, há perda de água nos tecidos vegetais e consequentemente uma maior concentração de açúcares solúveis totais no caldo extraído.

Figura 21 - Açúcares redutores em função da população de plantas em duas épocas de semeadura corte expressa em (g/100g da amostra). ΔAR_{90DAP} = Açúcares redutores aos 90 dias após a semeadura; $\blacksquare AR_{120DAP}$ = Açúcares redutores aos 120 dias após a semeadura.



De acordo com Ribeiro Filho *et al.* (2008) após 34 dias do florescimento do sorgo sacarino, ocorre uma conversão dos açúcares que estão presentes na seiva elaborada da planta para amido presentes nos grãos, que servirão como material de reserva ou convertidos em material fibroso sob a forma de celulose (TSUCHIHASHI e GOTO, 2004).

5 CONCLUSÃO

O melhor efeito para o sistema de produção do sorgo sacarino nas condições da região do cariri cearense é o arranjo populacional com espaçamento entrelinhas de 70 cm e população de 80 mil pl ha⁻¹ com o corte realizado aos 120 dias após a semeadura independente da época de plantio.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. da C.; GUIMARÃES, A. de S.; OLIVEIRA, R. M. de; SILVA, K. M. de J. Sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 1, p. 69-85, 2012.
- AVELINO, P. M.; JOSE NEIVA, N. M.; ARAUJO, V. L. EMERSON ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C. E JOÃO RESTLE, J. Características agronômicas e estruturais de híbridos de sorgo em função de diferentes densidades de plantio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 534-541, 2011.
- ALMODARIS, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, v. 4, n. 9, p. 772-780, 2009.
- AZEVEDO, M. S.; SANTOS, R. V. O; MAGALHÃES, T. V. Produção de etanol no Brasil. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, p. 151-154, 2012.
- BEZERRA, A.A. de C.; TÁVORA, F.J.A.F.; FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q. Características de dossel e de rendimento em feijão-caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1239-1245, 2009.
- BIZINOTO, T.K.M.C.; OLIVEIRA, E.G. de; MARTINS, S.B.; SOUZA, S.A. de; GOTARDO, M. Cultivo da mamoneira influenciada por diferentes populações de plantas. **Bragantia**, v.69, p.367-370, 2010.
- BRASIL. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **4º levantamento cana-de-açúcar safra 2014/2015 - Abril/2016**. Online. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_p_ortugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf. Acesso em: 03 novembro 2016.
- BRASIL: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: sorgo, safra 2013/2014: terceiro levantamento: dezembro/2014**. Disponível em:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2015.
- BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA), **Clima**. Disponível em:< <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>. Acesso em, 23 de março de 2016.
- BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistemas de Produção de sorgo**, ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 5ª Set./2009.
- BRASIL. FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da Mesorregião do Sul Cearense / Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**, 2012.
- CABRAL, P. H. R.; JAKELAITIS, A.; CARDOSO, I. S.; ARAÚJO, V. T.; PEDRINI, E. C. F. Interferência de plantas daninhas na cultura do sorgo cultivado em safrinha. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 3, p. 308-314, 2013.

CANAVALIS – MONSANTO COMPANY. **Sorgo Sacarino**. 2012. Disponível em: <http://www.canavialis.com.br/produtos/sorgo-sacarino/index.aspx> . Acesso em: 13/11/2015.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções** Piracicaba-SP , 2006. 112 p.

CUNHA, S. P.; SEVERO FILHO, W. A. Avanços tecnológicos na obtenção de etanol a partir de sorgo sacarino (*sorghum bicolor (l.) moench*). **Revista tecnológica**, v. 14, n. 2, p. 69-75, 2010.

DAVILA-GOMEZ, F. J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; ROONEY, W. L.; SERNASALDIVAR, S. O. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor (L) Moench*). **Industrial Crops and Products**, v. 33, p. 611-616, 2011.

EASTIN, J.D. Influence of temperature on sorghum respiration on yield. **Agron. Abst.** P.71. 1976.

ERICKSON, J. E.; HELSEL, Z. R.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; WANG, Y.; SOLLENBERGER, L. E.; GILBERT, R. A. Planting date affects biomass and brix of sweet sorghum grown for biofuel across Florida. **Agronomy Journal**, v. 103, n. 6, p. 1827-1833, 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT/Production/Crops-2013**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>> . Acesso em: 04/01/ 2016.

FERNANDES, P. G. **Avaliação agrônômica de dois cultivares de sorgo sacarino (*sorghum bicolor (l.) moench*) em sete lagoas - MG**. Tese apresentada ao centro de ciências e tecnologias agropecuárias da universidade estadual do norte fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de doutor em produção vegetal. 2013.

FERNANDES, P. G.; MAY, A.; COELHO, F. C.; ABREU, M. C.; BERTOLINO, K. M. Influência do espaçamento e da população de plantas de sorgo sacarino em diferentes épocas semeadura. **Ciência Rural**, v.44, n.6, 2014.

FIORINI, I. V. A.; VON PINHO, R. G.; SANTOS, A. O.; BORGES, I. D.; PIRES, L. P. M.; RESENDE., E. L.; PEREIRA, H. D. Influência de populações, de épocas de semeadura e de corte na produtividade do sorgo sacarino BRS 506. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.1, p. 94-104, 2016.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analyssis system. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIORINI, I. V. A.; VON PINHO, R. G.; SANTOS, A. O.; BORGES, I. D.; PIRES, L. P. M.; RESENDE., E. L.; PEREIRA, H. D. Influência de populações, de épocas de semeadura e de corte na produtividade do sorgo sacarino BRS 506. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.1, p. 94-104, 2016.

FONTES, M. M., SILVA, B. A., DANTAS, J. P., SILVEIRA, D. C., CAVALCANTI, M. T. Caracterização físico-química do melado de sorgo granífero sacarino [*sorghum bicolor* moench], **Revista Verde**, v.6, n.1, p. 216 – 219, 2011.

KÖEPPEN, W. **Climatologia**: con um estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

KUMAR, S. R.; SHROTRIA, P. K.; DESHMUKH, J. P. Characterizing Nutrient Management Effect on Yield of Sweet Sorghum Genotypes. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 4, n. 6, p. 787-789, 2008.

HABYARIMANA, E.; BONARDI, P.; LAURETI, D.; DI BARI, V.; COSENTINO, S.; LORENZONI, C. Multilocational evaluation of biomass sorghum hybrids under two stand densities and variable water supply in Italy. **Industrial Crops and Products**, v. 20, p. 3-9, 2004.

KRÜGER, C.A.M.B.; SILVA, J.A.G. da; MEDEIROS, S.L.P.; DALMAGO, G.A.; SARTORI, C.O.; SCHIAVO, J. Arranjo de plantas na expressão dos componentes da produtividade de grãos de canola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1448-1453, 2011.

IEA. International Energy Agency. **Sustainable Production of Secondgeneration Biofuels**. Paris: OECD/IEA, 2010. 221 p.

LOPES, S. J. *et al.* Espaçamento entre plantas de sorgo granífero: produtividade de grãos e qualificação do modelo estatístico. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 649–656, 2009.

MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; PEREIRA FILHO, I. A.; variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p. 278-290, 2012.

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

MENEZES, C. B.; RIBEIRO, A. S.; TARDIN, F. D.; CARVALHO, A. J.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; PORTUGAL, A. F.; SILVA, K. J.; SANTOS, C.V.; ALMEIDA, F. H. L. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo em ambientes com e sem restrição hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.14, n.1, p. 101-115, 2015.

MONTEIRO, J. S. T.; HAVRLAND, B.; INANOVA, T. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bioenergy value – importance for Portugal. **Agricultura Tropica et Subtropica**, v. 45, n. 1, p. 12-19, 2012.

PAUL, C. **Agromonia del sorgo**. ICRISAT/LASIP. Mexico, 1990.

PARRELLA, R. A. da C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, v. 2, n. 3, p. 8-9, 2011.

PEACOCK, J.M. & WILSON, G.L. **Sorghum**. In: Goldsworthy, P.; Fisher, N.M. Eds. The physiology of field crops. Joh, Wiley Sons Ltd. 1984.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F.; Cruz, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.2, p. 118-127, 2013.

PRABU, C. S.; MURUGESAN, A. G. Potential utilization of sorghum field waste for fuel ethanol production employing *Pachysolen tannophilus* and *Saccharomyces cerevisiae*. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 2788-2792, 2011.

RATNAVATHI, C. V.; CHAKRAVARTHY, S. K.; KOMALA, V. V.; CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V. Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. **Sugar Tech**, v. 13, n. 4, p. 399-407, 2011.

RIBEIRO FILHO, N. M.; ALVES, R. M.; FLORÊNCIO, I. M.; FLORENTINO, E. R.; DANTAS, J. P. Viabilidade de utilização do caldo do sorgo sacarino para a produção de álcool carburante (etanol). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 2, p. 30-39, 2008.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. da S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655: híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade**. Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 2 (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 107).

SANTOS, R. F., PLACIDO, H. F., EMANUELI BASTOS GARCIA, E. B., CANTÚ, C. ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., FRIGO, K. D. A. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 01- 12, 2015.

SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, A. C.; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa- produtividade e qualidade de fibra. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.13, n.1, p. 1-13, 2014.

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H. de; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v.35, n.5, p.1004-1010, 2012.

SKONIESKI, F.; NORNBORG, J.; AZEVEDO, E.; DAVID, D.; KESSLER, J.; MENEGAZ, A. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 32, n. 1, 2010.

SINGH, M. P.; ERICKSON, J. E.; SOLLENBERGER, L. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; FEDENRO, J. R. Mineral composition and biomass partitioning of sweet sorghum grown for bioenergy in the southeastern USA. **Biomass and Bioenergy**, v. 47, n. 1, p. 1-8, 2012.

SNIDER, J.L. The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Industrial Crops and Products**, v.37, p.527-535, 2012.

SOARES, E. R.; COUTINHO, E. L. M.; RAMOS, S. B.; SILVA, M. S.; BARBOSA, J. C. Acúmulo de matéria seca e macronutrientes por cultivares de sorgo sacarino. **Revista Semina**, v. 35, n. 6, p. 3015-3030, 2014.

SORATTO, R. P., SOUZA-SCHLICK, D. S., GIACOMO, B. M. S., ZANOTTO, M. D., FERNANDES, A. M. Espaçamento e população de plantas de mamoneira de porte baixo para colheita mecanizada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.46, n.3, p.245-253, 2011.

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

TEETOR, V. H.; DUCLOS, D. V.; WITTENBERG, E. T.; YOUNG, K. M.; CHAWHUAYMAK, J.; RILEY, M. R.; RAY, D. T. Effects of planting date on sugar and ethanol yield of sweet sorghum grown in Arizona. **Industrial Crops and Products**, v. 34, p. 1293-1300, 2011.

TSUCHIHASHI, N.; GOTO, Y. Cultivation of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) and determination of its harvest time to make use as the raw material for fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. **Plant Production Science**, v. 1, n. 7, p. 442- 448, 2004.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. Os desafios do setor sucroenergético e o “movimento + etanol”. São Paulo: UNICA, 2012. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/irs/agronegocio/pdf/transparencias_reuniao_cosag_06_02_12_-_marcos_jank_-_20120206_cosag_jank-unica.pdf>. Acesso em: 10 de janeiro de 2017.

WORTMANN, C. S.; LISKA, A.; FERGUSON, R. B.; LYON, D. J.; KLEIN, R. N. Dryland performance of sweet sorghum and grain crops for biofuel in Nebraska. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 1, p. 319-326, 2010.

WHITFIELD, M. B.; CHINN, M. S., VEAL, M. W. Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. **Industrial Crops and Products**, v. 37, p. 362-375, 2012.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Bioenergy**, v. 40, p. 1-12, 2012.