

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE AGRONOMIA

FERNANDA MORAIS DA SILVA

PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE
PLANTAS

PONTA GROSSA
2026

FERNANDA MORAIS DA SILVA

PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE
PLANTAS

Trabalho apresentado à Disciplina de TCC
como requisito parcial para obtenção de
Grau de Engenheira Agrônoma na
Universidade Estadual de Ponta Grossa.
Orientador: Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes.

PONTA GROSSA

2026



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
COLEGIADO DO CURSO DE AGRONOMIA
COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

OTCC - Ano 2026

AVALIAÇÃO DE TCC

RELATÓRIO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Monografia:	<u>Produção de sorgo sacarina em diferentes populações de plantas</u>		
Autor (a):	<u>Fernanda Morais da Silva</u>		
Data da defesa:	<u>28.05.2026</u>	Horário:	<u>16h</u> Local: <u>F43</u>

Avaliadores:	
1-Orientador (a):	<u>Jaime Alberti Gomes</u> Assinatura: <u>[assinatura]</u>
2-Avaliador (a):	<u>Érik Jamur da Silva</u> Assinatura: <u>[assinatura]</u>
3-Avaliador (a):	<u>PAULO FERREIRA CARVALHO</u> Assinatura: <u>[assinatura]</u>

Itens a serem avaliados	Notas atribuídas		
	Orientador(a)	1º Avaliador(a)	2º Avaliador(a)
I- Apresentação oral (Até 2,0)	1,5	1,5	1,9
II- Trabalho escrito (Até 6,0)	5,0	4,5	5,0
III- Arguição (Até 2,0)	1,5	1,5	1,7
TOTAL	8,0	7,5	8,6
MÉDIA FINAL *	8,0		

* Orientador(a) nota final com uma casa após a vírgula

Atenção Professor(a) ORIENTADOR(A):

No caso de apresentação de trabalho, em evento técnico-científico, no qual o acadêmico conste como autor, poderá ser acrescentado ATÉ 10% da nota, na somatória final. Apresentar comprovante junto com os documentos entregues para a Coordenação de TCC.

FORMULÁRIO 4
OTCC
AGRONOMIA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado todas as oportunidades possíveis para que eu conseguisse chegar até aqui.

À minha família, por todo amor e apoio durante todas as etapas da minha vida, sem vocês, nada disso seria possível.

Aos meus amigos, que me ajudaram na realização deste trabalho e fizeram parte da minha jornada acadêmica, as risadas e parcerias ficarão comigo.

Ao meu orientador, Jaime Alberti Gomes, pela oportunidade de poder tê-lo como auxílio em todo o processo de desenvolvimento do trabalho, por toda a paciência e profissionalismo. Seus ensinamentos foram valiosos, principalmente o comprometimento visto desde as salas de aula até mais de perto como orientador, obrigada professor.

Aos membros da banca avaliadora, por aceitarem o convite feito e pela disponibilidade.

À Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), uma universidade pública e de qualidade que forma todos os anos inúmeros alunos dando suporte à formação de várias carreiras profissionais espalhadas pelo Brasil e pelo mundo, onde temos direitos e deveres a serem cumpridos, visando sempre a luta pelo estudo público de qualidade

Por último, agradeço a todos que, de algum modo contribuíram para a concretização deste trabalho, seja de forma direta ou indireta.

RESUMO

SILVA, F. M. **PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO EM DIFERENTES POPULAÇÕES DE PLANTAS**. Orientador: Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes. Ponta Grossa, 2026. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2026.

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) apresenta elevado potencial para produção de biomassa e utilização na indústria bioenergética, principalmente devido ao acúmulo de açúcares fermentáveis e matéria seca nos colmos e grãos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes populações de plantas sobre o desempenho agrônomo da cultivar BRS 506 de sorgo sacarino cultivada no estado do Paraná. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), durante a safra 2024/25, em delineamento em blocos, composto por cinco tratamentos e três repetições, sendo os tratamentos representados pelas populações de 105.000, 115.000, 125.000, 135.000 e 145.000 plantas ha^{-1} . As variáveis avaliadas foram altura de plantas, diâmetro do colmo, massa verde, massa seca e produtividade de grãos. Os resultados demonstraram influência da densidade populacional sobre o desenvolvimento agrônomo do sorgo sacarino BRS 506, com destaque para redução linear do diâmetro do colmo e aumento linear da massa seca total com o incremento da população de plantas. A produtividade apresentou comportamento quadrático, com ponto de máxima eficiência produtiva estimado em aproximadamente 106.413,79 plantas ha^{-1} e produtividade máxima próxima de 10,33 Mg ha^{-1} . Considerando o rendimento médio de 360 litros de etanol por tonelada de grãos processados, estimou-se potencial produtivo aproximado de 3.718,8 L ha^{-1} de etanol. Dessa forma, conclui-se que o manejo adequado da densidade populacional influencia diretamente o desempenho produtivo e o potencial bioenergético do sorgo sacarino, favorecendo o aproveitamento industrial da cultura para produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* (L.) Moench; sorgo sacarino. Biomassa. Bioenergia. População de plantas.

ABSTRACT

SILVA, F. M. **PRODUCTION OF SWEET SORGHUM UNDER DIFFERENT PLANT POPULATIONS**. Advisor: Prof. Dr. Jaime Alberti Gomes. Ponta Grossa, 2026. Bachelor's Thesis – State University of Ponta Grossa, 2026.

Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) has high potential for biomass production and use in the bioenergy industry, mainly due to the accumulation of fermentable sugars and dry matter in stems and grains. The present study aimed to evaluate the effect of different plant populations on the agronomic performance of the BRS 506 sweet sorghum cultivar grown in the state of Paraná, Brazil. The experiment was carried out at the Capão da Onça Experimental Farm of the State University of Ponta Grossa (UEPG) during the 2024/25 growing season, using a randomized block design composed of five treatments and three replications. The treatments consisted of plant populations of 105,000; 115,000; 125,000; 135,000; and 145,000 plants ha⁻¹. The evaluated variables were plant height, stem diameter, fresh biomass, dry biomass, and grain yield. The results demonstrated that plant density influenced the agronomic development of BRS 506 sweet sorghum, with a linear reduction in stem diameter and a linear increase in total dry biomass as plant population increased. Grain yield showed a quadratic response, with the point of maximum productive efficiency estimated at approximately 106,413.79 plants ha⁻¹ and maximum productivity close to 10.33 Mg ha⁻¹. Considering an average yield of 360 liters of ethanol per ton of processed grain, the estimated ethanol production potential was approximately 3.718,8 L ha⁻¹. Therefore, it can be concluded that proper management of plant population directly influences the productive performance and bioenergy potential of sweet sorghum, favoring its industrial use for biofuel production.

Keywords: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Sweet sorghum. Biomass. Bioenergy. Plant population.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação acumulada, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça /UEPG.....	21
Figura 2 – Balanço hídrico durante o ciclo do sorgo, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça / UEPG.....	22
Figura 3 – Produção de massa verde em relação à população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG.....	26
Figura 4 – Massa seca total em relação a população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG.....	27
Figura 5 – Diâmetro do colmo em relação a população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG.....	28
Figura 6 – Altura das plantas em relação as populações avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG.....	29
Figura 7 – Produtividade de grãos em função da população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo no momento da instalação do experimento safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça / UEPG.....	20
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1. ORIGEM DA CULTURA DO SORGO.....	12
2.2. ASPECTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DO SORGO SACARINO....	15
2.2.1. Ciclo do desenvolvimento.....	15
2.2. Características fisiológicas.....	16
2.3 IMPORTÂNCIA DO SORGO NO MUNDO, BRASIL E PARANÁ.....	17
2.4. PROCESSO DE SEMEADURA MECANIZADA.....	17
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. OBJETIVO GERAL.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. HIPÓTESES.....	20
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5.1. ASPECTOS GERAIS DO EXPERIMENTO.....	21
5.2. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	25
5.3. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	22
5.4. VARIÁVEIS ANÁLISADAS DA CULTURA.....	26
5.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	26
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
7. CONCLUSÕES.....	34
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma cultura que pertence à família Poaceae, com ampla utilização no cenário agrícola brasileiro. Atualmente, o sorgo é utilizado para diversas finalidades, sendo elas a alimentação animal, a produção de etanol, a fabricação de silagem e, em menor escala, o consumo humano.

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), o Brasil cultiva cerca de 1,8 milhão de hectares de sorgo, com uma produção estimada em 3,3 milhões de toneladas por safra. O crescente interesse pela cultura está diretamente relacionado principalmente ao sorgo sacarino, já que o mesmo tem uma crescente no uso para bioetanol, valorizado por seu alto teor de açúcares solúveis, grande rusticidade e adaptabilidade a regiões com clima semiárido e seco. Sendo assim, sorgo sacarino acaba sendo uma cultura alternativa à cana-de-açúcar (CONAB, 2025).

O sorgo sacarino destaca-se como uma importante matéria-prima para a produção de etanol devido ao seu elevado potencial fermentativo e alta produção de biomassa. Além do uso bioenergético, a cultura apresenta versatilidade agrícola, podendo ser destinada à forragem, silagem, cobertura do solo e produção de grãos para alimentação animal. No Brasil, seu cultivo tem se expandido principalmente como alternativa na entressafra da soja e do milho, favorecendo a sustentabilidade, o melhor aproveitamento das áreas agrícolas e a diversificação dos sistemas produtivos (BANDEIRA *et al.*, 2015; REDDY *et al.*, 2005).

Diversos fatores influenciam na qualidade e a produtividade da cultura do sorgo, sendo o Teor de açúcares um dos mais relevantes, sobretudo nas linhagens voltadas para a produção de energia, que é o caso do sorgo sacarino BRS 506. O amido, principal reserva energética dos grãos, desempenha papel fundamental no rendimento industrial e no valor nutricional da cultura. Em condições de atraso na colheita do sorgo sacarino, parte dos açúcares presentes no colmo pode ser translocada e polimerizada na forma de amido nos grãos, principalmente na panícula, reduzindo o potencial açucareiro do colmo e aumentando a concentração de reservas energéticas nos grãos. Dessa forma, o manejo adequado da lavoura e o momento correto de colheita são fatores essenciais para garantir maior eficiência produtiva e viabilidade econômica da cultura (SOUSA *et al.*, 2021).

Para aumentar as chances de sucesso no estabelecimento da lavoura, pode-se utilizar o manejo orgânico do sorgo, caracterizado pela ausência de adubação química sintética e pelo controle manual de plantas daninhas. Esse sistema representa uma alternativa mais sustentável, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para o uso mais racional dos recursos naturais, mantendo o desenvolvimento e a produtividade da cultura (EMBRAPA, 2012).

Diante disso, o sorgo destaca-se como uma cultura estratégica para o agronegócio brasileiro, devido à sua versatilidade, rusticidade e potencial produtivo. Além disso, apresenta vantagens relacionadas à mecanização e à adaptação em diferentes sistemas de cultivo. A expansão do cultivo do sorgo sacarino depende de práticas de manejo que favoreçam o desempenho produtivo e a adaptação da cultura às diferentes condições de cultivo no Brasil (MACHADO, 2011).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORIGEM DA CULTURA DO SORGO

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta cultivada há milhares de anos e amplamente modificada pela ação humana por meio de processos contínuos de seleção. Ao longo das gerações, essa espécie foi sendo adaptada para suprir demandas alimentares e produtivas, sobretudo em regiões marcadas por condições edafoclimáticas desfavoráveis. Pesquisas históricas apontam o continente africano como o principal berço de domesticação do sorgo, embora existam indícios de centros secundários de diversidade genética na Índia. Evidências arqueobotânicas mostram que essa cultura já era cultivada por volta de 3000 a.C., em um contexto no qual a domesticação de gramíneas se consolidava em antigas civilizações, como a egípcia (RIBAS, 2004).

Em escala internacional, o sorgo apresenta ampla distribuição geográfica, com destaque para países como Estados Unidos, Índia, Nigéria, México e Sudão, onde a cultura exerce papel relevante tanto na alimentação quanto no setor energético. Embora a classificação da espécie seja semelhante em diferentes países, aspectos locais, como clima, solo e exigências de mercado, influenciam diretamente os modelos de produção adotados (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021).

A disseminação do sorgo pelo mundo ocorreu gradualmente; partindo da África, a cultura alcançou áreas do Oriente Médio, do subcontinente indiano, do Extremo Oriente e da Europa. Esse deslocamento esteve diretamente ligado às antigas redes comerciais terrestres e marítimas, especialmente às rotas da seda, que favoreceram a circulação de espécies agrícolas entre diferentes povos (RIBAS, 2004). No continente americano, sua chegada foi mais tardia, ocorrendo apenas no século XIX. Inicialmente, o cultivo foi introduzido no Caribe, expandindo-se posteriormente para o sudoeste dos Estados Unidos.

Nos Estados Unidos, a produção de sorgo ganhou força a partir do século XIX e avançou de maneira significativa nas primeiras décadas do século XX. Esse crescimento esteve relacionado, principalmente, à incorporação de inovações tecnológicas no setor agrícola. Entre os fatores de maior relevância, destacam-se os programas de melhoramento genético, que possibilitaram a seleção de variedades mais resistentes e adaptadas a diferentes ambientes. A adoção de híbridos, a partir

da década de 1960, representou outro marco importante, contribuindo expressivamente para o aumento do rendimento produtivo e para a expansão do cultivo em nível internacional (SILVA *et al.*, 2013).

A importância econômica do sorgo está fortemente associada à sua resistência e à sua capacidade de desenvolvimento em ambientes adversos, sobretudo em regiões de clima quente e com baixa disponibilidade de água. Em cenários assim, culturas tradicionais, como o milho, costumam apresentar menor desempenho. Estudos comparativos sobre culturas agrícolas demonstram que a adaptação fisiológica das plantas é um fator determinante para o sucesso produtivo em condições de estresse ambiental. O sorgo adapta-se bem a locais com precipitação anual entre 375 e 625 mm, destacando-se pela eficiência fisiológica, principalmente em relação ao aproveitamento da luz solar e ao seu ciclo produtivo reduzido (MENEZES *et al.*, 2015).

Essas características ampliam sua utilidade em diferentes setores, como alimentação humana, nutrição animal, geração de biocombustíveis com destaque para o etanol, uso industrial e produção forrageira. Além disso, o estágio de maturação da planta possui grande relevância no manejo agrícola, pois determina o momento mais adequado para a colheita, preservando o teor de sólidos solúveis totais no colmo, aspecto fundamental para fins energéticos. Nesse contexto, o sorgo sacarino tem se destacado como alternativa viável para a produção de agroenergia, especialmente pela elevada concentração de açúcares fermentáveis em seu colmo. Além disso, o amido presente nos grãos também pode representar uma importante fonte energética para produção de biocombustíveis, ampliando o potencial industrial da cultura (DOS SANTOS *et al.*, 2015, SOUZA *et al.*, 2014).

Sob a perspectiva agrônoma, o sorgo é agrupado em quatro categorias principais: granífero, forrageiro voltado à silagem e ao tipo sacarino, forrageiro destinado ao pastejo e à cobertura do solo, e sorgo vassoura. Dentre essas classificações, o sorgo granífero se destaca por sua expressiva relevância comercial, sendo amplamente produzido em diversas partes do mundo. Informações históricas indicam que, no início dos anos 2000, a produção global alcançou aproximadamente 58,9 milhões de toneladas, distribuídas em cerca de 37 milhões de hectares, com maior concentração na Ásia, África e América do Norte (FAO, 2023).

No cenário internacional, o sorgo possui papel estratégico para a segurança alimentar, constituindo fonte essencial de sustento para mais de 500 milhões de

peças em mais de 30 países. Entre os cereais de verão de maior relevância econômica, ocupa posição de destaque, sendo superado apenas por culturas como arroz, trigo, milho e batata. Mesmo diante de sua importância consolidada, seu potencial produtivo ainda é considerado subaproveitado. Pesquisas recentes também apontam que práticas de manejo, como a desfolha em diferentes estádios fenológicos, interferem diretamente no desenvolvimento e na produtividade do sorgo granífero, evidenciando a necessidade de estratégias técnicas adequadas para maximizar o rendimento da cultura (GABRIEL *et al.*, 2023).

Projeções indicavam que essa cultura tende a assumir maior protagonismo ao longo do século XXI, especialmente devido à sua capacidade de enfrentar os impactos das mudanças climáticas, à diversidade de aplicações e à facilidade de mecanização, quando comparada a culturas como a cana-de-açúcar (RIBAS, 2004; SIPÓS, 2008).

O sorgo é uma cultura agrícola de grande relevância devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, destacando-se pela rusticidade, eficiência fotossintética do tipo C4 e elevada produção de biomassa. No Brasil, inicialmente consolidou-se como alternativa para alimentação animal, porém, nas últimas décadas, passou a ganhar importância no setor bioenergético, principalmente pela utilização do sorgo sacarino na produção de etanol e biomassa (MAGALHÃES *et al.*, 2015).

O sorgo sacarino apresenta elevado potencial para produção de bioenergia em função da alta concentração de açúcares fermentáveis presentes no colmo, característica que favorece a produção de etanol. Além disso, em situações de atraso na colheita, parte desses açúcares pode ser translocada e polimerizada na forma de amido nos grãos, principalmente na panícula, ampliando o potencial energético e industrial da cultura. Outra vantagem importante é a possibilidade de aproveitamento integral da planta, incluindo colmo, grãos e biomassa residual (RIBEIRO *et al.*, 2013; GNASOUNOU *et al.*, 2004).

Do ponto de vista agrônomo, o sorgo apresenta características favoráveis ao cultivo mecanizado e à inserção em sistemas de sucessão de culturas, permitindo melhor aproveitamento das áreas agrícolas durante períodos de entressafra. Além disso, sua tolerância ao déficit hídrico contribui para estabilidade produtiva em diferentes condições ambientais. No Paraná, a cultura tem sido utilizada principalmente para alimentação animal, produção de silagem e geração de biomassa (EMBRAPA, 2004).

Apesar do potencial produtivo da cultura, fatores como doenças, ataque de pragas e acamamento ainda podem limitar o desempenho agrônomo das lavouras. Dessa forma, o melhoramento genético e o manejo adequado tornam-se fundamentais para obtenção de cultivares mais produtivas, resistentes e adaptadas às diferentes condições de cultivo (DURÃES, 2012; MENEZES, 2021).

2.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS E FISIOLÓGICOS DO SORGO SACARINO

2.2.1 Ciclo do desenvolvimento

O sorgo sacarino caracteriza-se por apresentar ciclo fenológico anual de curta a média duração, variando geralmente entre 120 e 150 dias, o que favorece sua inserção em sistemas produtivos dinâmicos e em períodos de entressafra. Seu desenvolvimento ocorre em etapas fisiológicas bem definidas, abrangendo germinação, fase vegetativa e fase reprodutiva. No contexto agroindustrial, especialmente para fins bioenergéticos, o período de maior relevância corresponde ao estágio em que há máxima concentração de açúcares solúveis nos colmos, condição essencial para elevar a eficiência na produção de etanol (COSTA, 2005).

A germinação do sorgo inicia-se com a absorção de água pela semente, ativando processos metabólicos responsáveis pela emissão da radícula e emergência da plântula. A uniformidade dessa etapa é fundamental para a formação de um estande adequado e para o desenvolvimento inicial da cultura (SOUSA, 2021).

A fase vegetativa caracteriza-se pelo intenso crescimento da planta, com expansão foliar, alongamento do colmo e desenvolvimento radicular. Nesse período ocorre a diferenciação do meristema apical, exigindo adequada disponibilidade hídrica e nutricional para o pleno desenvolvimento da cultura (JADOSKI, 2015; ESPINOZA; KELLEY, 2004).

O estágio reprodutivo inicia-se com a emissão da folha bandeira e da panícula, seguido pela floração e enchimento de grãos. Essa fase é responsável pelo acúmulo de reservas energéticas e definição do potencial produtivo da planta (MOREIRA *et al.*, 2016).

Durante o desenvolvimento reprodutivo, os colmos passam a acumular açúcares em maiores concentrações, principalmente entre 90 e 120 dias após a

semeadura. Esse acúmulo está diretamente relacionado ao potencial industrial do sorgo sacarino para produção de etanol (MOREIRA, 2016).

A maturidade fisiológica ocorre quando a planta encerra o acúmulo de matéria seca, coincidindo com elevadas concentrações de sacarose nos colmos. Esse período representa o momento ideal para colheita destinada à produção bioenergética (SOUSA, 2021).

O desempenho do sorgo sacarino é influenciado por fatores genéticos, nutricionais e ambientais. O manejo adequado da adubação, disponibilidade hídrica e escolha de cultivares contribui diretamente para a produtividade de biomassa e concentração de açúcares da cultura (JADOSKI, 2015; ALMODARES; HADI, 2019).

2.2.2 Características fisiológicas

O sorgo sacarino destaca-se por apresentar elevada adaptação a ambientes com altas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica, principalmente devido à presença da via fotossintética C_4 , que proporciona maior eficiência no aproveitamento de água e na assimilação de carbono. Além disso, a cultura apresenta mecanismos fisiológicos e estruturais que contribuem para sua tolerância ao estresse hídrico, como redução da transpiração, desenvolvimento radicular e manutenção da atividade fotossintética mesmo em condições adversas (EMYGDIO; MACHADO, 2014).

Durante o desenvolvimento da planta, ocorre acúmulo de matéria seca e de açúcares fermentáveis nos colmos, principalmente sacarose, glicose e frutose, compostos diretamente relacionados ao potencial de produção de etanol. À medida que a planta avança para os estádios reprodutivos, parte desses fotoassimilados pode ser translocada para a panícula, promovendo maior acúmulo de amido e matéria seca nos grãos, principalmente em condições de colheita tardia. Além disso, componentes estruturais da biomassa, como celulose e hemicelulose, também apresentam potencial para aproveitamento bioenergético, influenciando a eficiência industrial da cultura (OYIER *et al.*, 2017).

O desempenho fisiológico do sorgo sacarino também está relacionado à disponibilidade hídrica, ao manejo nutricional e às características genéticas das cultivares. A adequada disponibilidade de água e nutrientes favorece a produção de biomassa e o acúmulo de açúcares nos colmos, enquanto condições de déficit hídrico podem reduzir o crescimento e o rendimento produtivo da cultura. Além disso, o sorgo

sacarino apresenta elevada adaptação a diferentes condições climáticas, destacando-se pela tolerância ao calor e à baixa disponibilidade hídrica, características relacionadas ao metabolismo fotossintético C_4 . O desenvolvimento da cultura é favorecido em temperaturas elevadas, enquanto temperaturas muito baixas podem comprometer a germinação, emergência e o estabelecimento inicial das plantas (RIBAS, 2004; DURÃES, 2011; MOREIRA *et al.*, 2016).

2.3 IMPORTÂNCIA DO SORGO NO MUNDO, BRASIL E PARANÁ

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) destaca-se entre as culturas agrícolas de elevada relevância econômica e produtiva devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas e produtivas. A cultura possui grande importância econômica em diversos países, sendo utilizada para alimentação humana, nutrição animal, produção de biomassa e geração de bioenergia. Sua rusticidade e tolerância ao déficit hídrico favorecem o cultivo em regiões com limitações ambientais, ampliando sua relevância no cenário agrícola mundial (ALBUQUERQUE *et al.*, 2021; REDDY, 2005).

No Brasil, o sorgo consolidou-se principalmente como alternativa para produção de grãos, silagem e alimentação animal. Entretanto, nas últimas décadas, o sorgo sacarino passou a ganhar destaque no setor bioenergético devido à elevada concentração de açúcares fermentáveis presentes no colmo, favorecendo a produção de etanol e biomassa para fins industriais (LEÃO *et al.*, 2022).

No estado do Paraná, a cultura vem ampliando sua importância devido à adaptação às condições climáticas regionais e à possibilidade de utilização em sistemas de sucessão de culturas e períodos de entressafra. Além disso, o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas tem contribuído para expansão do sorgo em diferentes sistemas agrícolas e agroindustriais (SOUZA *et al.*, 2014).

2.4 PROCESSO DE SEMEADURA MECANIZADA

A semeadura representa uma das etapas mais importantes para o estabelecimento inicial das culturas agrícolas, pois influencia diretamente a distribuição das plantas, a emergência e o desenvolvimento inicial da lavoura.

Problemas relacionados às condições físicas do solo e à regulação inadequada das máquinas podem comprometer a uniformidade de deposição das sementes, reduzindo o potencial produtivo da cultura (MANTOVANI *et al.*, 2017).

Entre os principais fatores físicos que interferem na semeadura destacam-se a compactação do solo, a umidade inadequada e a presença de resíduos vegetais na superfície. Solos compactados dificultam o aprofundamento adequado dos mecanismos sulcadores e prejudicam o contato entre solo e semente, afetando a germinação e a emergência das plântulas e o desenvolvimento radicular. Além disso, condições excessivas de umidade podem causar aderência de solo aos componentes da semeadora, reduzindo a eficiência operacional (EMBRAPA, 2015).

As interferências mecânicas estão associadas principalmente à regulação e ao funcionamento das semeadoras-adubadoras. Velocidades excessivas de operação, falhas na regulação dos dosadores e desgaste de componentes podem provocar distribuição irregular das sementes e desuniformidade no estande de plantas. A correta calibração dos equipamentos é fundamental para garantir profundidade uniforme de deposição e adequado espaçamento entre sementes (SILVA, 2025; FERNANDES *et al.*, 2014).

O processo de semeadura mecanizada consiste na abertura do sulco, deposição da semente, distribuição do fertilizante e posterior cobertura do solo. A eficiência dessa operação depende da interação entre máquina, solo e condições climáticas, sendo essencial o ajuste adequado dos mecanismos distribuidores para assegurar uniformidade no estabelecimento da cultura (ARTUZO *et al.*, 2015).

Na cultura do sorgo, a semeadura mecanizada adequada possui grande importância devido à necessidade de uniformidade populacional para maximização da produtividade. A distribuição homogênea das sementes favorece melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e reduz a competição intraespecífica entre plantas, contribuindo para maior eficiência produtiva da cultura (MAY *et al.*, 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar a produtividade do sorgo sacarino BRS 506 submetido a diferentes populações de plantas visando à produção bioenergética.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a massa verde total do sorgo sacarino;
- Determinar a massa seca total do sorgo sacarino;
- Quantificar a massa verde de folhas, colmos e panículas;
- Quantificar a massa seca de folhas, colmos e panículas;
- Avaliar a altura de plantas;
- Mensurar o diâmetro do colmo;
- Determinar a população de plantas mais eficiente para produção bioenergética.

4 HIPÓTESES

H0: A população de plantas não interfere na produtividade de grãos do sorgo sacarino e nos demais componentes do rendimento.

H1: A população de plantas interfere na produtividade de grãos do sorgo sacarino e nos demais componentes do rendimento.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ASPECTOS GERAIS DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado na Fazenda Escola Capão da Onça (coordenadas geográficas: 25°05'26,2" S e 50°03'25,8" W, altitude aproximada de 990 m.) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), no estado do Paraná. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, caracterizado por elevada profundidade, boa drenagem e baixa fertilidade natural, características típicas de solos altamente intemperizados (SANTOS *et al.*, 2018).

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2024 a março de 2025, em condições de temperatura média de 20 °C, $\pm$ 5°C em clima subtropical úmido mesotérmico do tipo Cfb, segundo a classificação de Wladimir Köppen.

O experimento foi semeado no dia 01 de novembro de 2024, para verificar a viabilidade das sementes utilizadas e a regulação da semeadora, foi realizado um teste de germinação em bandejas plásticas autoclaves com substratos de areia e o resultado foi de 83% de germinação, a semeadora foi regulada para se atingir 11,25 plantas por metro com o objetivo de atingir uma população de plantas de 125.000 plantas por ha⁻¹.

A semeadura foi realizada sob plantio direto com a semeadora Massey Ferguson MF509 M 45 contendo um espaçamento entre linhas de 0,9 m. Precedendo a semeadura das cultivares de Sorgo Sacarino, foram implantadas culturas de cobertura de inverno. As espécies utilizadas foram nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), ervilhaca (*Vicia sativa*) e aveia preta (*Avena strigosa*) (02/07/24). Posteriormente efetuou-se o manejo com rolo faca, com o objetivo de favorecer o processo de semeadura do sorgo (sistema de plantio direto). Não se realizou manejo químico. A semeadura foi realizada em profundidade de 0,03 m, utilizando-se a cultivar BRS 506.

Nos 40 dias que antecederam a semeadura, foi realizada a coleta de amostras de solo, a fim de realizar análise química de rotina. Com o auxílio de trado holandês, retiraram-se dez subamostras de solo da camada de 0–20 cm, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta (Tabela 1).

Tabela 1 - Atributos químicos do solo no momento de instalação do experimento safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça / UEPG

pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	P (Mehlich-1)	MO	CTC	V
CaCl ₂	-----cmol _c dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³	%
5,23	2,07	0,0	2,5	1,54	0,14	24,33	34,57	6,32	49,0

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – UEPG.

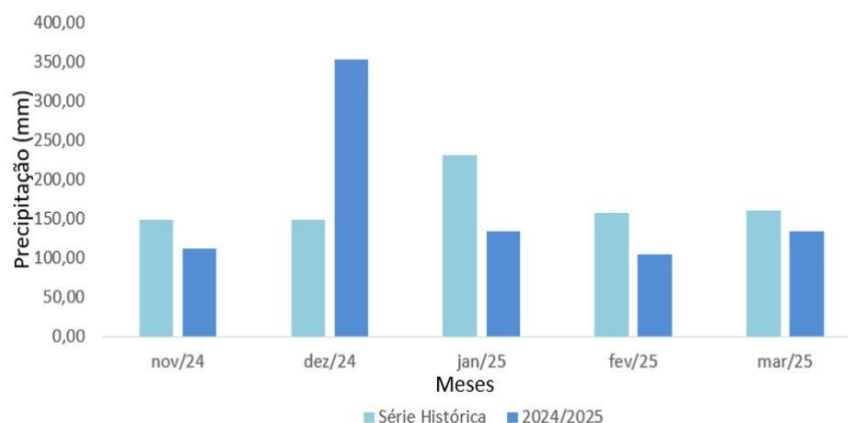
De acordo com os resultados da análise de solo realizada previamente à semeadura, o solo apresentava pH em CaCl₂ de 5,23, indicando acidez moderada. A saturação por bases (V%) foi de 49,00%, valor que demonstra fertilidade intermediária e presença moderada de cátions básicos no complexo de troca do solo. A ausência de alumínio trocável é um aspecto positivo, pois reduz o risco de toxidez às raízes e favorece o desenvolvimento das plantas.

Os teores de cálcio e magnésio foram de 2,56 e 1,54 cmol_c dm⁻³, respectivamente, contribuindo para a fertilidade do solo e para processos fisiológicos essenciais das plantas. O potássio apresentou teor de 0,14 cmol_c dm⁻³, nutriente relacionado ao equilíbrio hídrico, transporte de fotoassimilados e crescimento vegetal. O fósforo disponível, determinado pelo extrator Mehlich-1, apresentou valor de 24,33 mg dm⁻³, indicando disponibilidade adequada para o estabelecimento inicial da cultura.

O teor de matéria orgânica foi de 34,57 g dm⁻³, contribuindo para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi de 6,32 cmol_c dm⁻³, indicando capacidade moderada de retenção e fornecimento de nutrientes. Dessa forma, as condições químicas do solo no momento da instalação do experimento podem ser consideradas adequadas para o cultivo do sorgo sacarino.

Já os dados de pluviosidade e de temperatura da área durante as duas safras do experimento, estão representados na Figura 1.

Figura 1 – Precipitação acumulada, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça / UEPG

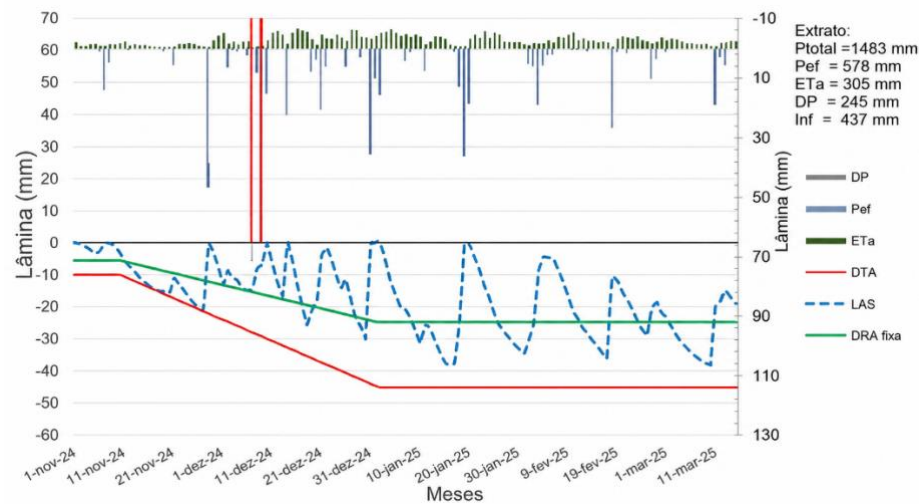


Fonte: adaptado da Estação Meteorológica da BASF®, 2025, localizada na Fazenda Escola Capão da Onça da UEPG.

Observa-se que a distribuição pluviométrica durante a safra 2024/25 apresentou variações em relação à média histórica da região. O mês de dezembro de 2024 registrou precipitação significativamente superior à série histórica, enquanto os meses de novembro de 2024, janeiro, fevereiro e março de 2025 apresentaram volumes inferiores ou próximos da média esperada. Esses resultados demonstram irregularidade na distribuição das chuvas ao longo do ciclo da cultura.

A Figura 2 abaixo apresenta o comportamento do balanço hídrico durante o ciclo de desenvolvimento do sorgo sacarino na safra 2024/25, conduzido na Fazenda Escola Capão da Onça – UEPG, evidenciando a variação da disponibilidade de água no solo ao longo do período experimental.

Figura 2 – Balanço hídrico durante o ciclo do sorgo, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça / UEPG



Fonte: A autora.

O balanço hídrico ao longo do período experimental evidenciou oscilações na disponibilidade de água no solo, com ocorrência de períodos de déficit hídrico associados à distribuição irregular das precipitações e à demanda evapotranspirativa da cultura. Observa-se que, ao longo do ciclo do sorgo sacarino, a lâmina de água no solo (LAS) apresentou reduções mais acentuadas principalmente entre dezembro de 2024 e janeiro de 2025, caracterizando momentos de restrição hídrica. Entretanto, também foram observados períodos de recuperação da disponibilidade hídrica em função da ocorrência de precipitações ao longo do ciclo.

A disponibilidade total de água (DTA) apresentou redução gradual ao longo do período experimental, enquanto a disponibilidade real de água (DRA fixa) permaneceu inferior aos valores ideais em determinados momentos do ciclo. Nessas condições, a evapotranspiração real (ETa) variou conforme a disponibilidade hídrica do solo, apresentando redução nos períodos em que a LAS permaneceu abaixo da DRA fixa, evidenciando maior intensidade do déficit hídrico.

Mesmo sob condições temporárias de restrição hídrica, o sorgo sacarino apresentou tolerância ao estresse devido às suas adaptações fisiológicas, permitindo a manutenção do desenvolvimento da cultura em condições de baixa disponibilidade de água (WU *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2020).

5.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura do sorgo sacarino foi realizada em 1º de novembro de 2024, em sistema de plantio direto, utilizando espaçamento de 0,9 m entre linhas. O experimento foi conduzido em sistema orgânico durante todo o ciclo da cultura.

Após a cultura já implantada, foi realizada a verificação da população de plantas, observando-se variações entre 105 mil e 145 mil plantas ha^{-1} . Com base nesses resultados, foram estabelecidas cinco faixas de densidade populacional; 105, 115, 125, 135 e 145 mil plantas ha^{-1} .

A população de plantas foi determinada a partir da relação entre o espaçamento entre linhas e a distância média entre plantas na linha de semeadura, considerando a área individual ocupada por cada planta. Inicialmente, calculou-se a área ocupada por planta por meio da multiplicação entre o espaçamento entre linhas (0,9 m) e a distância média entre plantas na linha. Posteriormente, os valores foram extrapolados para o número de plantas por hectare, utilizando-se a relação entre a área ocupada por planta e a área correspondente a um hectare (10.000 m^2), conforme critérios utilizados para avaliação de estande de plantas descritos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

A determinação das populações experimentais também foi realizada calculando-se previamente a distância teórica entre plantas necessária para obtenção das populações desejadas de 105.000, 115.000, 125.000, 135.000 e 145.000 plantas ha^{-1} , mantendo-se o espaçamento entre linhas de 0,9 m. Dessa forma, as menores distâncias entre plantas corresponderam às maiores populações, enquanto maiores distâncias entre plantas resultaram em menores populações por hectare.

Durante o ciclo da cultura, as práticas de manejo adotadas seguiram os protocolos do Laboratório de mecanização Agrícola voltados à produção orgânica. Aos 130 dias após a emergência (DAE). As plantas foram submetidas às avaliações de altura da planta, população, diâmetro do colmo, massa de mil grãos, massa verde das folhas, da panícula, do colmo e da planta inteira e produtividade. Em seguida, os materiais foram levados à estufa com circulação forçada de ar a 60°C até atingirem massa constante. Posteriormente, foram realizadas análises de massa seca das folhas, da panícula, do colmo e da massa seca total da planta.

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos correspondentes às populações de 105.000, 115.000, 125.000, 135.000 e 145.000 plantas ha^{-1} da cultivar BRS 506 de sorgo sacarino, distribuídos em três blocos.

Em cada parcela, foram selecionadas aleatoriamente seis plantas para avaliação, totalizando 18 plantas por tratamento e 90 plantas amostradas no experimento.

5.4 VARIÁVEIS ANÁLISADAS DA CULTURA

Foram avaliadas as massas verdes do colmo (MVC), folhas (MVF), panícula (MVP) e da planta inteira, bem como as massas secas do colmo (MSC), folhas (MSF), panícula (MSP) e massa seca total. As coletas foram realizadas aos 130 dias após a emergência (DAE), de forma aleatória, utilizando seis plantas por bloco, totalizando 18 plantas por população avaliada. Para determinação das massas, as estruturas vegetais foram separadas manualmente e pesadas individualmente em balança digital, com os resultados expressos em quilogramas (kg).

A altura de plantas foi determinada com auxílio de fita métrica, sendo mensurada a distância entre a base da planta e o ápice da panícula, com os resultados expressos em metros (m). O diâmetro do colmo foi avaliado com auxílio de paquímetro, sendo as medições realizadas na região mediana do colmo e expressas em milímetros (mm).

Para avaliação da massa de mil grãos (MMG), foram coletadas amostras de grãos provenientes de cada parcela experimental. Posteriormente, os grãos foram separados em subamostras e pesados em balança de precisão, com os resultados expressos em gramas (g), sendo a massa de mil grãos determinada a partir das médias obtidas.

A produtividade foi determinada com base na massa de grãos colhidos manualmente em cada parcela experimental, sendo os valores posteriormente convertidos para quilogramas por hectare (kg ha^{-1}). Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise estatística para comparação do desempenho das diferentes populações de plantas avaliadas.

Toda a massa de grãos colhida foi mensurada utilizando uma balança digital após a retirada das impurezas. A umidade foi determinada com o auxílio do medidor de umidade do grão. Assim determinou-se a produtividade em kg ha^{-1} , considerando a correção de umidade para 14%.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de variâncias, seguidos da análise de variância (ANOVA). Quando verificado efeito significativo, realizou-se análise de regressão para ajuste dos modelos.

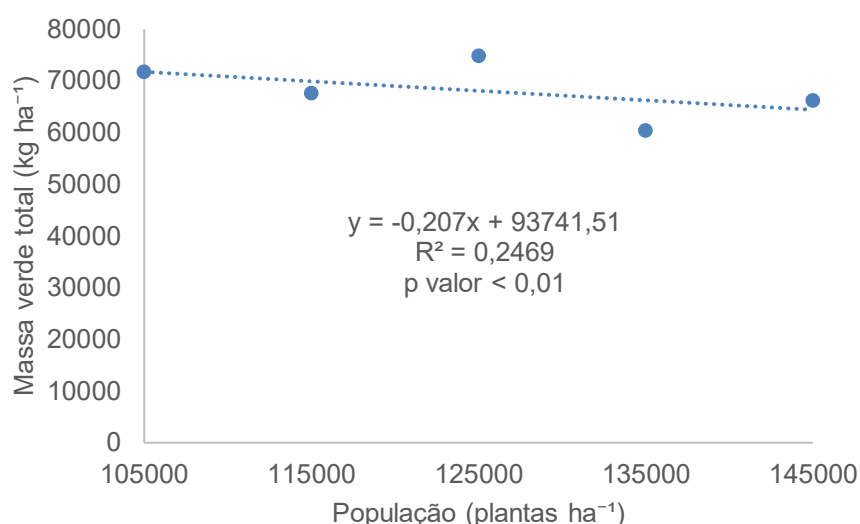
As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software RStudio®, (POSIT TEAM, 2024).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante o experimento permitiram avaliar o comportamento do sorgo sacarino em relação às variáveis agronômicas analisadas. A seguir, são apresentados os resultados referentes às avaliações de massa verde, massa seca, altura de plantas, diâmetro do colmo e produtividade da cultura ao longo do período experimental.

A Figura 3 apresenta os resultados para a massa verde total das plantas nas diferentes populações avaliadas no experimento.

Figura 4 – Produção de massa verde total em relação à população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG



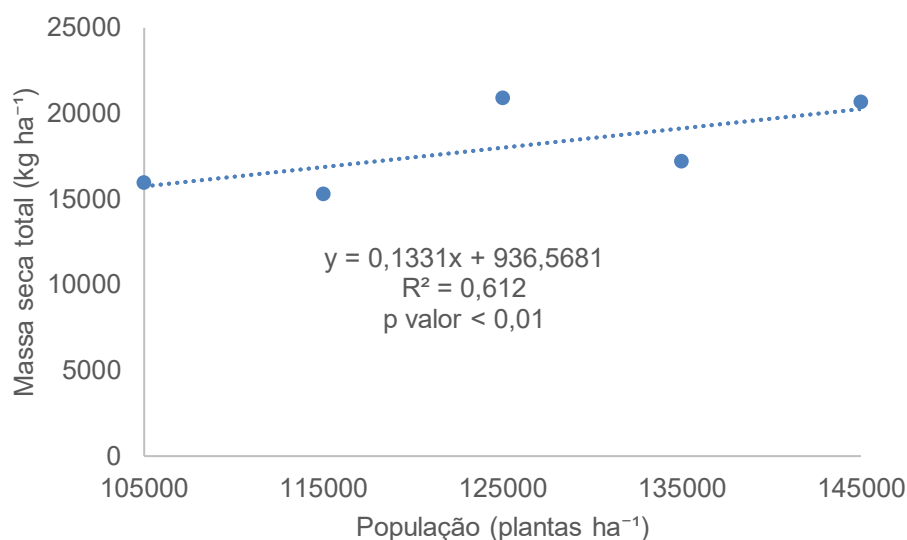
Fonte: A autora.

No que se refere à variável massa verde, observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos, associada a um coeficiente de variação de 5,72%, o que demonstra consistência e precisão nos resultados obtidos. A massa verde representa a biomassa fresca acumulada pelas plantas e está diretamente relacionada ao vigor vegetativo. A Figura 3 demonstra que a massa verde total apresentou comportamento variável entre as populações avaliadas, sem tendência linear expressiva. Apesar da regressão indicar leve redução da massa verde com o aumento da densidade populacional, o baixo coeficiente de determinação, evidencia

baixa relação entre as variáveis, indicando que a população de plantas explicou apenas pequena parte da variação observada. A dispersão dos dados sugere influência de outros fatores sobre a produção de biomassa. Em condições de maior adensamento, a competição intraespecífica por luz, água e nutrientes tende a se intensificar, podendo limitar o desenvolvimento individual das plantas e afetar o acúmulo de massa verde, conforme descrito por Taiz e Zeiger (2017).

A Figura 4 apresenta os resultados da massa seca total do sorgo sacarino BRS 506 em função das populações de plantas avaliadas no experimento.

Figura 5 – Massa seca total em relação a população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG



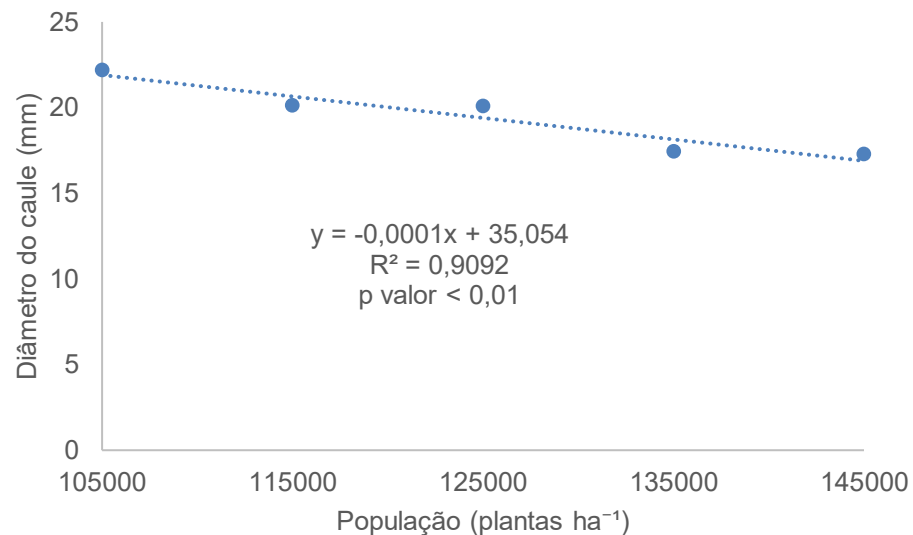
Fonte: A autora.

A massa seca total apresentou efeito significativo dos tratamentos com coeficiente de variação de 6,3%, demonstrando boa precisão experimental. A regressão linear evidenciou tendência positiva entre a densidade populacional e a massa seca total por hectare, indicando aumento da produção de biomassa estrutural com o incremento da população de plantas. O coeficiente de determinação demonstra ajuste moderado do modelo, evidenciando que parte considerável da variação da massa seca foi influenciada pela densidade populacional. Esse comportamento sugere que maiores populações proporcionaram melhor aproveitamento da área cultivada e maior interceptação de radiação solar, favorecendo o acúmulo de matéria seca por hectare. A massa seca representa uma variável que representa a fração

estrutural da biomassa vegetal, importante para fins energéticos, industriais e de aproveitamento da cultura. Resultados semelhantes foram relatados por Zwirtes *et al.* (2015), que destacam a relação entre incremento populacional, produção de biomassa e potencial do sorgo sacarino para fins bioenergéticos.

A Figura 5 apresenta os resultados do diâmetro do colmo do sorgo sacarino BRS 506 em função das populações de plantas avaliadas no experimento.

Figura 6 – Diâmetro do colmo em relação a população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG



Fonte: A autora.

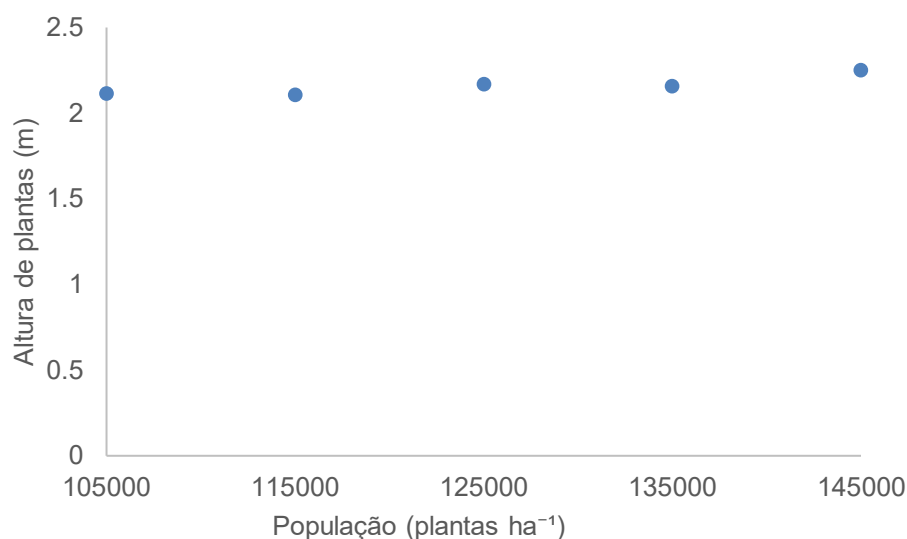
O diâmetro do colmo apresentou efeito significativo dos tratamentos com coeficiente de variação de 3,26%, verificou-se ajuste linear significativo em função da densidade populacional, mostrando a redução do diâmetro com o aumento na população, indicando maior competição intraespecífica entre as plantas nas maiores densidades avaliadas. Esse comportamento está relacionado à priorização do crescimento em altura e ao maior direcionamento dos fotoassimilados para o alongamento vegetal, reduzindo o espessamento dos colmos.

O diâmetro do colmo é uma característica importante para a sustentação estrutural da planta, estando diretamente relacionado à resistência ao acamamento e ao desenvolvimento vegetativo do sorgo. Resultados semelhantes foram observados por May *et al.* (2012) e Durães (2014), que relatam redução do diâmetro do colmo em

maiores populações devido ao aumento da competição por luz, água e nutrientes entre as plantas.

A Figura 6 apresenta os resultados da altura de plantas do sorgo sacarino BRS 506 em função das populações de plantas avaliadas no experimento.

Figura 7 – Altura das plantas em relação as populações de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG

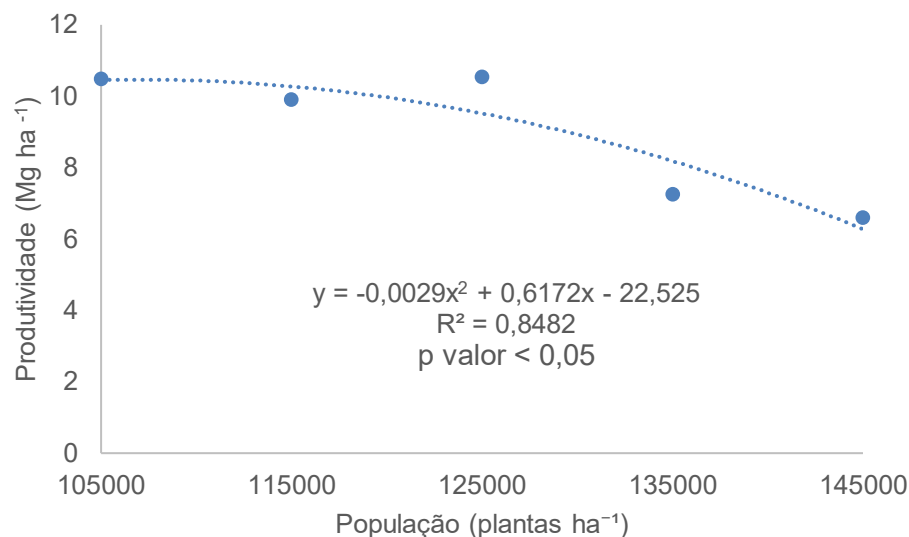


Fonte: A autora.

A altura de plantas não apresentou efeito significativo dos tratamentos ($p = 0,05130$), ou seja, p valor $> 0,05$ com coeficiente de variação de 2,63%. Apesar da ausência de diferença estatística significativa entre as populações avaliadas, observou-se tendência de incremento da altura de plantas com o aumento da densidade populacional. Esse comportamento sugere que o espaçamento de 0,90 m entre linhas proporcionou maior distribuição das plantas e melhor entrada de radiação solar no dossel, reduzindo a competição por luz entre indivíduos. Dessa forma, mesmo com o aumento da densidade, não houve influência significativa sobre a altura das plantas, indicando menor ocorrência de estiolamento. Segundo Silva *et al.* (2017), a competição por radiação solar em populações mais adensadas pode estimular o alongamento vegetal; entretanto, no presente estudo, o espaçamento utilizado possivelmente contribuiu para minimizar esse efeito.

A Figura 7 apresenta os resultados da produtividade de grãos do sorgo sacarino em função das populações de plantas avaliadas no experimento.

Figura 8 – Produtividade de grãos em função da população de plantas avaliadas no experimento, safra 2024/25, Fazenda Escola Capão da Onça, UEPG



Fonte: A autora.

A produtividade apresentou comportamento quadrático em função das populações avaliadas, indicando aumento do rendimento até determinado limite populacional. Esse comportamento demonstra que com máxima eficiência estimada em aproximadamente 106.413,79 plantas ha⁻¹ o incremento da população de plantas pode favorecer o aproveitamento da área cultivada e dos recursos disponíveis, porém densidades excessivas tendem a intensificar a competição intraespecífica, reduzindo a eficiência produtiva individual das plantas.

Segundo Magalhães *et al.* (2015), a definição da população ideal de plantas é um dos principais fatores relacionados ao desempenho produtivo do sorgo o que podemos relacionar aqui. Resultados semelhantes também foram relatados por Ribeiro (2013), que verificou alterações no rendimento da cultura em função do adensamento populacional e da competição entre plantas.

Indicando assim que a distribuição das plantas no campo afeta diretamente a competição intraespecífica, modificando o aproveitamento de recursos essenciais, como luminosidade, água, nutrientes e espaço físico. Assim, a escolha adequada da população de plantas torna-se um dos principais componentes do manejo agrônomo, uma vez que densidades excessivamente baixas podem reduzir o

aproveitamento da área, enquanto populações muito elevadas intensificam a competição, prejudicando o desenvolvimento individual das plantas (EKEFRE *et al.*, 2017; XUAN *et al.*, 2015).

A partir da derivação da equação de regressão, estimou-se ponto de máxima eficiência produtiva próximo de 106,4 mil plantas ha⁻¹, com produtividade máxima estimada em aproximadamente 10,33 Mg ha⁻¹. O elevado coeficiente de determinação evidencia forte relação entre a densidade populacional e a produtividade da cultura, demonstrando que o ajuste populacional influencia diretamente o desempenho produtivo do sorgo sacarino. Resultados semelhantes foram observados por BANDEIRA *et al.* (2015), que destacam a importância do manejo populacional e das características agronômicas da cultura para maximizar o potencial bioenergético do sorgo sacarino.

Segundo Ramos *et al.* (2025), o sorgo apresenta rendimento médio entre 360 e 410 litros de etanol por tonelada de grãos processados, em função do elevado teor de amido presente nos grãos. Considerando a produtividade máxima estimada neste estudo (10,33 Mg ha⁻¹), estimou-se potencial produtivo aproximado de 3.718,8 litros de etanol por hectare, utilizando-se o rendimento médio de 360 L t⁻¹ de grãos.

$$10,33 \text{ Mg ha}^{-1} \times 360 \text{ L Mg}^{-1} = 3.718,8 \text{ L ha}^{-1}$$

Esses resultados reforçam o potencial do sorgo sacarino como alternativa para produção de biocombustíveis, especialmente em sistemas agrícolas de sucessão e entressafra, demonstrando que o manejo adequado da densidade populacional pode contribuir para maior eficiência produtiva e melhor aproveitamento industrial da cultura, tanto pela biomassa produzida quanto pelo aproveitamento energético dos grãos ricos em amido.

7 CONCLUSÕES

A massa verde apresentou leve redução com o aumento da população de plantas. Enquanto a massa seca total apresentou aumento com a elevação da população de plantas.

Conclui-se que o diâmetro do colmo reduziu conforme o aumento da população de plantas, sendo os menores valores observados nas populações mais elevadas.

Houve leve tendência de aumento da altura de plantas com o aumento da população de plantas.

A produtividade apresentou comportamento quadrático, com máxima eficiência estimada em aproximadamente 106.413,79 plantas ha⁻¹, indicando a existência de uma população ideal. A determinação desse ponto foi realizada por meio da derivação da equação de regressão quadrática ajustada aos dados experimentais, utilizando-se a expressão $X = \frac{-b}{2a}$ correspondente ao vértice da parábola. Nessa população, a produtividade máxima estimada foi de aproximadamente 10,33 Mg ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. J. B.; MENEZES, C. B.; FREITAS, R. S. **Origem, evolução e domesticação do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021.
- ALBUQUERQUE, C. J. B. et al. 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.
- ALMODARES, A.; HADI, M. R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **International Journal of Agricultural Sciences**, v. 9, n. 2, p. 1–9, 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ARTUZO, F. D.; JANDREY, W. F.; CASARIN, F.; MACHADO, J. A. D. Tomada de decisão a partir da análise econômica de viabilidade: estudo de caso no dimensionamento de máquinas agrícolas. **Custos e @gronegócio on line**, v. 11, n. 3, p. 183–205, 2015.
- BANDEIRA, A. H. et al. Influência do espaçamento de entrelinhas nos caracteres agrônômicos de sorgo sacarino na Depressão Central do RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 8., 2015, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBMP, 2015.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Guia de inspeção de campos para produção de sementes**. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009. p. 404.
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília, DF: CONAB, v. 12 – Safra 2024/25, n. 8, maio 2025. Disponível em: CONAB. Acesso em: 12 maio 2025.
- COSTA, P. H. A. et al. Antioxidant-enzymatic system of two sorghum genotypes differing in salt tolerance. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 4, p. 353–362, 2005.
- DURÃES, F. O. M. Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. **Agroenergia em Revista**, Brasília, ano 2, n. 3, ago. 2011.
- DURÃES, F. O. M. et al. **Desempenho produtivo e curva de maturação de genótipos de sorgo sacarino avaliados na região de Ivaiporã - Paraná**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014.
- 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. **Cultivo do sorgo**. 9. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

EMBRAPA. **Sorgo sacarino “a safrinha da cana-de-açúcar”**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **BRS 506: o sorgo sacarino mais testado e implantado no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

EMYGDIO, B. M.; MACHADO, D. P. (ed.). **Anais da 58ª Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Milho e 41ª Reunião Técnica Anual de Pesquisa de Sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

ESPINOZA, L.; KELLEY, J. (ed.). **Grain sorghum production handbook**. Little Rock: University of Arkansas Cooperative Extension Service, 2004.

EKEFRE, D. E. et al. Evaluation of three cultivars of sweet sorghum as feedstocks for ethanol production in the Southeast United States. **Heliyon**, v. 3, n. 12, 2017.

FERNANDES, P. G. et al. Interferência do espaçamento e da população de plantas de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 975–981, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAOSTAT: crops and livestock products**. Roma, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/>. Acesso em: 24 fev. 2026.

GABRIEL, L. A. et al. Desfolha artificial na cultura do sorgo granífero em diferentes estádios fenológicos. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, v. 9, n. 1, 2023.

GNASOUNOU, E.; DAURIAT, A.; WYMAN, C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 9, p. 985–1002, 2004.

JADOSKI, C. J. **Avaliações fisiológicas de sorgo sacarino inoculado com Azospirillum brasilense em função da adubação nitrogenada e reguladores vegetais**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

LEÃO, G.; JUNIOR, W.; FERNANDES, M. Área plantada, produtividade e produção da cultura do sorgo e sua versatilidade de uso. **Anais da Semana Universitária**, 2022.

MACHADO, C. M. M. Produção de etanol de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, Brasília, ed. 3, ago. 2011.

MANTOVANI, E. C. et al. **Adequação de uma semeadora para a semeadura/implantação de sorgo sacarino e biomassa em área de descanso da cana-de-açúcar**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. **Ecofisiologia do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.

MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PARRELLA, R. A. C. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol. Sistema BRS1G** - Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012.

MENEZES, C. B. (ed.). **Melhoramento genético de sorgo**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 397–430.

MENEZES, C. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de sorgo cultivadas sob estresse hídrico e irrigação plena. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 14, n. 1, p. 101–115, 2015.

MOREIRA, L. R. et al. Características morfológicas de sorgo sacarino BRS 501 em déficit hídrico. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 3, p. 135–145, 2016.

OYIER, M. O. et al. Effect of harvesting stage on sweet sorghum genotypes in Western Kenya. **The Scientific World Journal**, v. 2017, p. 1–10, 2017.

POSIT TEAM. **RStudio: Integrated Development Environment for R**. Boston: Posit Software, PBC, 2024. Disponível em: <https://posit.co/>. Acesso em: 11 maio 2026.

RAMOS, N. P. et al. **Sorgo como matéria-prima para uso em rotas de produção de etanol de primeira geração**. Brasília, DF: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2025.

REDDY, B. V. S. et al. Sweet sorghum: a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. **International Sorghum and Millets Newsletter**, v. 46, p. 79–86, 2005.

RIBEIRO, P. C. O. et al. Caracterização de cultivares de sorgo sacarino na região central de Minas Gerais visando a produção de etanol. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 9., 2013, São Paulo. **Anais** São Paulo, 2013.

RIBAS, P. M. **Sorgo: introdução e importância econômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004.

SANTOS, R. F. et al. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 1–12, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, T. I. et al. Produtividade de variedades de sorgo em diferentes arranjos populacionais em primeiro corte e rebrota. **Revista Espacios**, v. 38, n. 27, p. 16, 2017.

SILVA, K. J. et al. Seleção de híbridos de sorgo granífero cultivados no verão em três localidades. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 1, p. 44–53, 2013.

SILVA, A. V. et al. (org.). **Ciências agrárias em foco: uma visão multi e interdisciplinar**. v. 3. Formiga, MG: Editora MultiAtual, 2025.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CAVALCANTE, W. S. S.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, G. N. Crescimento e desenvolvimento da cultura do sorgo sob déficit hídrico. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 49281–49296, 2020.

SIPÓS, B. et al. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 153, p. 151–162, 2008.

SOUSA, C. S.; LIMA, S. C. S. F. (org.). **Métodos e técnicas para uma agricultura sustentável**. v. 3. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2021.

SOUZA, R. S. et al. Curvas de maturação de cultivares de sorgo sacarino. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 9., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Congresso Internacional de Bioenergia, 2014.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

WU, J. et al. Physiology of plant responses to water stress and related genes: a review. **Forests**, v. 13, p. 324, 2022.

XUAN, T. D. et al. Influence of sowing times, densities, and soils to biomass and ethanol yield of sweet sorghum. **Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 11657–11670, 2015.

ZWIRTES, A. L. et al. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo em diferentes densidades populacionais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 676–689, 2015.