

**INSTITUTO FEDERAL DO PARANÁ**  
**GUSTAVO HENRIQUE BATISTA BARBARA**

**DESEMPENHO PRODUTIVO E CURVA DE MATURAÇÃO DE**  
**GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO AVALIADOS NA REGIÃO DE**  
**IVAIPORÃ – PARANÁ**

IVAIPORÃ  
2024

**GUSTAVO HENRIQUE BATISTA BARBARA**

**DESEMPENHO PRODUTIVO E CURVA DE MATURAÇÃO DE  
GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO AVALIADOS NA REGIÃO DE  
IVAIPORÃ – PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nayara Norrene Lacerda Durães


IVAIPORÃ  
2024

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Gustavo Henrique Batista Barbara


### DESEMPENHO PRODUTIVO E CURVA DE MATURAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO AVALIADOS NA REGIÃO DE IVAIPORÃ-PARANA

O presente trabalho em graduação foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDA ALVES DE PAIVA**  
Data: 26/08/2024 08:53:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---


Profa. Dra. Fernanda Alves de Paiva  
Instituto Federal do Paraná – Campus Ivaiporã

Documento assinado digitalmente  
 **RAFAEL AUGUSTO DA COSTA PARRELLA**  
Data: 24/08/2024 19:23:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---


Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella  
Pesquisador A  
Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas- MG

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal do Paraná, Campus Ivaiporã.

Documento assinado digitalmente  
 **DENIS SANTIAGO DA COSTA**  
Data: 03/09/2024 10:54:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Coordenação do Curso Engenharia Agrônoma  
Prof. Dr. Denis Santiago da Costa  
Siape: 1400880

Documento assinado digitalmente  
 **NAYARA NORRENE LACERDA DURAES**  
Data: 24/08/2024 18:31:16-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Nayara Norrene Lacerda Durães (Orientadora)  
Siape: 1068571

Ivaiporã, 24 de Agosto de 2024.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me deu luz e sabedoria e a minha família,  
pela atenção dedicada ao longo de todo trabalho de conclusão de curso.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre estar comigo nos momentos em que mais precisei.

À orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nayara Norrene Lacerda Durães por depositar confiança em ser minha orientadora, acreditando que conseguiria desenvolver este trabalho e pela nossa amizade construída nesse tempo.

Aos meus pais que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

À minha namorada, pelo companheirismo e ajuda em todos momentos.

Ao meu irmão que me ajudou sem medir esforços.

Aos meus amigos, Gabriel, Kaio, Gustavo, Enrique, Douglas, Giovanni e demais amigos que ajudaram durante o trabalho.

Ao Dr. Rafael Augusto Parrella, pelo apoio.

À EMBRAPA Milho e Sorgo, pelo material cedido.

Aos servidores do IFPR campus Ivaiporã, pelo auxílio.

Ao Instituto Federal do Paraná.

Aos professores, por todo apoio prestado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Pois sabemos que a tribulação produz a paciência, a paciência prova a fidelidade e a fidelidade, comprovada, produz a esperança. E a esperança não engana. Porque o amor de Deus foi derramado em nossos corações pelo Espírito Santo que nos foi dado.”*

**Romanos 5, 3-5**

## RESUMO

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem ganhando espaço e se consolidando em áreas de cultivo em todo o mundo, sendo uma cultura complementar a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na produção de etanol, pois possui caules suculentos rico em açúcares fermentáveis. Este trabalho teve como objetivo determinar curvas de maturação de genótipos de sorgo sacarino provenientes do programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e sorgo, através da avaliação do perfil de acúmulo de açúcar no colmo ao longo do tempo, com foco em estabelecer o período de utilização industrial (PUI) desejando maximizar o aproveitamento industrial para a produção de etanol. Os doze genótipos foram cultivados no município de Ivaiporã/PR em oito épocas de colheita. O delineamento experimental foi em blocos completos, com parcela formada por uma linha de 5,0 m. Foram avaliadas as características de florescimento (FLOR), altura de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV) e estande final (ESTANDE) e o teor de sólidos solúveis totais (SST). O genótipo de sorgo sacarino que mais se destacou na região de Ivaiporã – PR foi o CMSXS5041 que obteve os melhores resultados para altura de plantas, produtividade de massa verde e teor de sólidos solúveis totais. Apresentando assim potencial produtivo e aptidão para produção de etanol. Os genótipos BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 e CMSXS5043 foram promissores, com boa perspectiva para ampliar a janela de colheita das usinas por apresentarem PUI igual e/ou superior 30 dias. Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento. Híbridos e variedades não distinguiram significativamente quanto a nenhuma das características avaliadas. Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento.

**Palavras-chaves:** Etanol; maturidade fisiológica; período de utilização industrial; *Sorghum bicolor*.

## ABSTRACT

Sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is gaining space and consolidating in growing areas around the world, being that complementary crop to sugarcane (*Saccharum* spp.) in the ethanol biofuel, because it has succulent crops rich in sugars you ferment. The objective of this work is to determine maturation curves of sweet sorghum genotypes from the EMBRAPA Corn e Sorghum breeding program, through the assessment of the sugar accumulation profile over a long period of time, with a focus on establishing the period of industrial use. (PIU) seeking to maximize industrial utilization for ethanol production. The twelve genotypes, which were grown in Ivaiporã-PR in eight harvest dates. The experimental design was a casualized blocks, with plots formed by one line rows of 5.0 m. The traits of flowering (FLOW), plant height (PH), green mass production (GMP) and final stage (STAND) and the total soluble solids (TSS) are evaluated. The genotype of sweet sorghum that stands out the most in the region of Ivaiporã – PR was CMSXS5041 that obtains the best results for plant height, green mass productivity and total solids theory. It also presents productive potential and suitability for ethanol production. The genotypes BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 and CMSXS5043 are promising, with a good perspective to expand the capacity of plants by presenting PIU equal to and/or greater than 30 days. The hybrids CMSXS5029 and CMSXS5039 do not meet the solid theory theory at least at any time. Hybrids and varieties do not differ significantly in terms of their guaranteed characteristics. The hybrids CMSXS5029 and CMSXS5039 do not meet the solid theory theory at least at any time.

**Keywords:** Ethanol; physiological maturity; period of industrial use; *Sorghum bicolor*.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	PROBLEMA.....	12
1.2	HIPÓTESE.....	12
1.3	OJETIVO GERAL.....	12
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>13</b>
DESEMPENHO PRODUTIVO E CURVA DE MATURAÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO AVALIADOS NA REGIÃO DE IVAIPORÃ – PARANÁ		
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A queima dos combustíveis fósseis é responsável por 86% das emissões de gases que causam o efeito estufa (Goldemberg et al., 2023). A crescente demanda por energia e a exploração intensiva de reservas destes combustíveis nos levam a uma reflexão sobre a necessidade de substituição de fontes derivadas do petróleo por fontes renováveis, a exemplo dos biocombustíveis.

No setor de biocombustíveis, o Brasil tem na cana-de-açúcar a principal matéria-prima da cadeia produtiva de etanol. Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil - Conab na safra 22/23 o rendimento de etanol foi de aproximadamente 29 bilhões de litros (CONAB, 2023). Cenário que coloca o Brasil como o segundo maior produtor de etanol e reflete a sua importância no âmbito bioenergético.

Contudo, o setor energético vem buscando novas matérias-primas capazes de atender a produção de etanol durante o período da entressafra canavieira (Fagundes et al., 2021). Ademais, a disponibilidade de água tende a se tornar nos próximos anos um fator limitante na produção agrícola da cana em algumas regiões, uma vez que, a cultura apresenta grande necessidade hídrica (Dayakar et al., 2004). Nesse cenário, o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] caracterizado pela alta eficiência fotossintética e capacidade de energia semelhante à cana-de-açúcar é uma importante alternativa de negócio para usinas melhorarem o fluxo de fornecimento de etanol demandados.

O sorgo sacarino é eficiente na produção de biomassa e possui colmo suculento contendo açúcares fermentáveis o que possibilita a produção de etanol, alcançando rendimentos de 3,000 a 6,000 L.ha<sup>-1</sup> em um ciclo de crescimento mais curto (quatro meses) quando comparado ao cultivo da cana-de-açúcar (Parrella et al., 2014).

Adicionalmente, o sorgo não exige mudanças estruturais na indústria, apenas ajustes no planejamento agrícola para a inserção de novas operações de plantio, tratamentos culturais e colheita. Por ser uma cultura totalmente mecanizável, de propagação por sementes, o interesse por seu cultivo em áreas extensas tem aumentado. Comparado a outras culturas energéticas, o sorgo é tolerante ao estresse hídrico e possibilita sua utilização em áreas sem aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, além de ser tolerante à baixa fertilidade e à acidez no solo (Appiah-Nkansah et al., 2019).

No Brasil, o cenário da cultura e de forte evolução, com mais investimento em tecnologia. Dados da CONAB (2023) apontam que na safra 22/23 houve um acréscimo de 36,9 % na produção de sorgo em relação à safra anterior. Cada vez mais o sorgo sacarino

tem ganhado espaço em usinas, principalmente, em áreas de reforma de canaviais eliminando a necessidade de expandir novas áreas produção. No Paraná o sorgo está em rápida expansão, principalmente, durante a segunda safra como alternativa ao milho, diante das dificuldades enfrentadas pela cigarrinha- do-milho (Vidal, 2022).

Ao contrário da cana-de-açúcar, o período de acúmulo de açúcares no colmo no sorgo sacarino, tem início na sua fase reprodutiva, especialmente, no estágio de maturidade fisiológica dos grãos (Teixeira et al., 1999). A avaliação do perfil de acúmulo de açúcar no caule é decisiva na determinação do potencial de uso de cada cultivar.

Os programas de melhoramento do sorgo sacarino objetivam a obtenção de cultivares com elevada produção de etanol por hectare, o que impõe a avaliação de diversos caracteres agroindustriais (Lombardi et al., 2024). Nesse sentido, a caracterização das curvas de maturação de genótipos constitui-se um desses aspectos importantes, pois permite a determinação do período de utilização industrial (PUI) crucial para planejamento da colheita e beneficiamento do material pela usina, que deverá ser o mais longo possível, com limite mínimo de 30 dias (Parrela et al., 2014). Ante o exposto, este trabalho teve como objetivo estabelecer as curvas de maturação de 12 genótipos de sorgo sacarino provenientes do programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e Sorgo, por meio da análise do perfil de acúmulo de açúcar no colmo ao longo do tempo, a fim de determinar o PIU visando maximizar o aproveitamento industrial para a produção de etanol.

## 1.1 PROBLEMA

O setor energético apresenta importância consolidada no agronegócio brasileiro, pela expressiva quantidade de empregos ou pela sua característica e capacidade de produzir energia de forma sustentável. A cana-de-açúcar e a matéria-prima que determina a matriz energética do Brasil. Entretanto, durante a entressafra da cana as usinas ficam ociosas, além disso, a cana exige condições ambientes específicas para o sucesso do seu cultivo. Assim, em virtude das impossibilidades de fornecimento estável ao mercado, novas rotas de produção são demandas pelo setor sucroenergético nacional. Especial atenção tem sido dada ao sorgo sacarino para preencher a lacuna das usinas, pois apresenta colmos com caldo semelhante ao da cana, rico em açúcares servindo para produção de etanol na mesma instalação utilizada pela cana-de-açúcar. Mas, a seleção de genótipos superiores e adaptados à produção de etanol impõe a avaliação de diversos caracteres agroindustriais.

Entre tais caracteres está o PIU pode ser definido como o período em que a cultivar pode permanecer no campo mantendo a produtividade e a qualidade em níveis ótimos, de acordo com os padrões mínimos estabelecidos para garantir o processamento pela indústria.

## 1.2 HIPÓTESE

O estudo da curva de maturação de sorgo irá permiti a seleção de genótipos que apresentem maior aptidão para produção de etanol e que atendam a exigência das usinas quanto ao PUI.

## 1.3 OJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Estabelecer as curvas de maturação de 12 genótipos de sorgo sacarino por meio da análise do perfil de acúmulo de açúcar no colmo ao longo de oito épocas de colheita.

### 1.3.2 Objetivo específico

Determinar o Período de utilização industrial (PUI) de 12 genótipos de sorgo sacarino.

Seleção de genótipos superiores de sorgo sacarino para produção de etanol adaptados as condições ambientais do município de Ivaiporã.

## 2. DESENVOLVIMENTO

### **Desempenho Produtivo e Curva de Maturação de Genótipos de Sorgo Sacarino Avaliados na Região de Ivaiporã - Paraná**

### **Productive Performance and Maturation Curve of Sweet Sorghum Genotypes assessed in the Ivaiporã – Paraná Region**

### **Desempeño Productivo y Curva de Maduración de Genotipos de Sorgo Dulce Evaluados en la Región de Ivaiporã – Paraná**

#### **RESUMO**

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] vem ganhando espaço e se consolidando em áreas de cultivo em todo o mundo, sendo uma cultura complementar a cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na produção de etanol, pois possui caules suculentos rico em açúcares fermentáveis. Este trabalho teve como objetivo determinar curvas de maturação de genótipos de sorgo sacarino provenientes do programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e sorgo, através da avaliação do perfil de acúmulo de açúcar no colmo ao longo do tempo, com foco em estabelecer o período de utilização industrial (PUI) desejando maximizar o aproveitamento industrial para a produção de etanol. Os doze genótipos foram cultivados no município de Ivaiporã/PR em oito épocas de colheita. O delineamento experimental foi em blocos completos, com parcela formada por uma linha de 5,0 m. Foram avaliadas as características de florescimento (FLOR), altura de plantas (ALT), produção de massa verde (PMV) e estande final (ESTANDE) e o teor de sólidos solúveis totais (SST). O genótipo de sorgo sacarino que mais se destacou na região de Ivaiporã – PR foi o CMSXS5041 que obteve os melhores resultados para altura de plantas, produtividade de massa verde e teor de sólidos solúveis totais. Apresentando assim potencial produtivo e aptidão para produção de etanol. Os genótipos BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 e CMSXS5043 foram promissores, com boa perspectiva para ampliar a janela de colheita das usinas por apresentarem PUI igual e/ou superior 30 dias. Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento. Híbridos e variedades não distinguiram significativamente quanto a nenhuma das características avaliadas. Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento.

**Palavras-chaves:** Etanol; maturidade fisiológica; período de utilização industrial; *Sorghum bicolor*.

#### **ABSTRACT**

Sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] is gaining space and consolidating in growing areas around the world, being that complementary crop to sugarcane (*Saccharum* spp.) in the ethanol biofuel, because it has succulent crops rich in sugars you ferment. The objective of this work is to determine maturation curves of sweet sorghum genotypes from the EMBRAPA Corn e Sorghum breeding program, through the assessment of the sugar accumulation profile over a long period of time, with a focus on establishing the period of industrial use. (PIU) seeking to maximize industrial utilization for ethanol production. The

twelve genotypes, which were grown in Ivaiporã-PR in eight harvest dates. The experimental design was a casualized blocks, with plots formed by one line rows of 5.0 m. The traits of flowering (FLOW), plant height (PH), green mass production (GMP) and final stage (STAND) and the total soluble solids (TSS) are evaluated. The genotype of sweet sorghum that stands out the most in the region of Ivaiporã – PR was CMSXS5041 that obtains the best results for plant height, green mass productivity and total solids theory. It also presents productive potential and suitability for ethanol production. The genotypes BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 and CMSXS5043 are promising, with a good perspective to expand the capacity of plants by presenting PIU equal to and/or greater than 30 days. The hybrids CMSXS5029 and CMSXS5039 do not meet the solid theory theory at least at any time. Hybrids and varieties do not differ significantly in terms of their guaranteed characteristics. The hybrids CMSXS5029 and CMSXS5039 do not meet the solid theory theory at least at any time.

**Keywords:** Ethanol; physiological maturity; period of industrial use; *Sorghum bicolor*.

## INTRODUÇÃO

A queima dos combustíveis fósseis é responsável por 86% das emissões de gases que causam o efeito estufa (Goldemberg *et al.*, 2023). A crescente demanda por energia e a exploração intensiva de reservas destes combustíveis nos levam a uma reflexão sobre a necessidade de substituição de fontes derivadas do petróleo por fontes renováveis, a exemplo dos biocombustíveis.

No setor de biocombustíveis, o Brasil tem na cana-de-açúcar a principal matéria - prima da cadeia produtiva de etanol. Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento do Brasil - Conab na safra 22/23 o rendimento de etanol foi de aproximadamente 29 bilhões de litros (CONAB, 2023). Cenário que coloca o Brasil como o segundo maior produtor de etanol e reflete a sua importância no âmbito bioenergético.

Contudo, o setor energético vem buscado novas matérias-primas capazes de atender a produção de etanol durante o período da entressafra canavieira (Fagundes *et al.*, 2021). Ademais, a disponibilidade de água tende a se tornar nos próximos anos um fator limitante na produção agrícola da cana em algumas regiões, uma vez que, a cultura apresenta grande necessidade hídrica (Dayakar *et al.*, 2004). Nesse cenário, o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] caracterizado pela alta eficiência fotossintética e capacidade de energia semelhante à cana-de-açúcar é uma importante alternativa de negócio para usinas melhorarem o fluxo de fornecimento de etanol demandados.

O sorgo sacarino é eficiente na produção de biomassa e possui colmo suculento contendo açúcares fermentáveis o que possibilita a produção de etanol, alcançando rendimentos de 3,000 a 6,000 L.ha<sup>-1</sup> em um ciclo de crescimento mais curto (quatro meses)

quando comparado ao cultivo da cana-de-açúcar (Parrella *et al.*, 2014). Adicionalmente, o sorgo não exige mudanças estruturais na indústria, apenas ajustes no planejamento agrícola para a inserção de novas operações de plantio, tratos culturais e colheita. Por ser uma cultura totalmente mecanizável, de propagação por sementes, o interesse por seu cultivo em áreas extensas tem aumentado. Comparado a outras culturas energéticas, o sorgo é tolerante ao estresse hídrico e possibilita sua utilização em áreas sem aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, além de ser tolerante à baixa fertilidade e à acidez no solo (Appiah-Nkansah *et al.*, 2019).

No Brasil, o cenário da cultura é de forte evolução, com mais investimento em tecnologia. Dados da CONAB (2023) apontam que na safra 22/23 houve um acréscimo 36,9 % na produção de sorgo em relação à safra anterior. Cada vez mais o sorgo sacarino tem ganhado espaço em usinas, principalmente, em áreas de reforma de canaviais eliminando a necessidade de expandir novas áreas produção. No Paraná o sorgo está em rápida expansão, principalmente, durante a segunda safra como alternativa ao milho, diante das dificuldades enfrentadas pela cigarrinha- do-milho (Vidal, 2022).

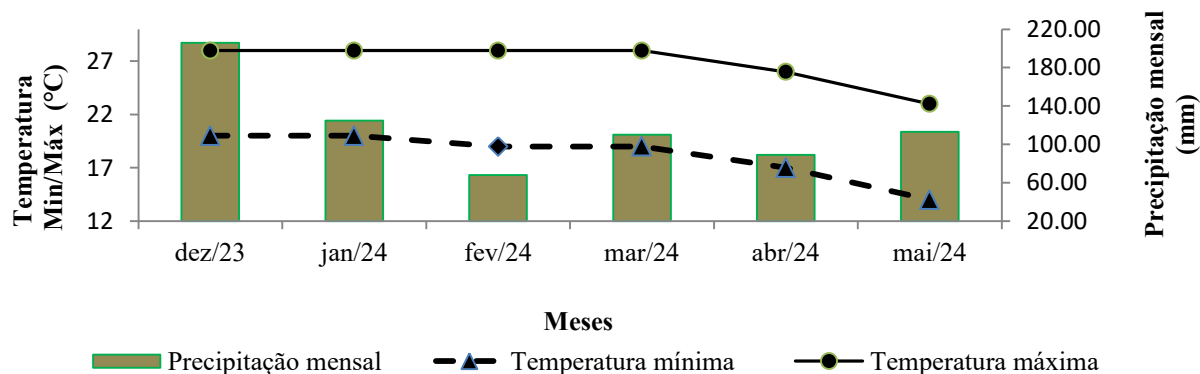
Ao contrário da cana-de-açúcar, o período de acúmulo de açúcares no colmo no sorgo sacarino, tem início na sua fase reprodutiva, especialmente, no estágio de maturidade fisiológica dos grãos (Teixeira *et al.*, 1999). A avaliação do perfil de acúmulo de açúcar no caule é decisiva na determinação do potencial de uso de cada cultivar.

Os programas de melhoramento do sorgo sacarino objetivam a obtenção de cultivares com elevada produção de etanol por hectare, o que impõe a avaliação de diversos caracteres agroindustriais (Lombardi *et al.*, 2024). Nesse sentido, a caracterização das curvas de maturação de genótipos constitui-se um desses aspectos importantes, pois permite a determinação do período de utilização industrial (PUI) crucial para planejamento da colheita e beneficiamento do material pela usina, que deverá ser o mais longo possível, com limite mínimo de 30 dias (Parrella *et al.*, 2014). Ante o exposto, este trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho produtivo e estabelecer as curvas de maturação de 12 genótipos de sorgo sacarino provenientes do programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e Sorgo, por meio da análise do perfil de acúmulo de açúcar no colmo ao longo do tempo, a fim de determinar o PIU visando maximizar o aproveitamento industrial para a produção de etanol.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Durante a safra 2023/2024 foi instalado ensaio comparativo de genótipos de sorgo sacarino em diferentes épocas de corte na fazenda escola do Instituto Federal do Paraná – campus Ivaiporã, localizado no município de Ivaiporã – PR (24°15'22.36"S e 51°42'48.94" O), altitude de 649 m. O clima da região é *cfá* (Köppen), úmido em todas as estações e com verão quente e temperatura média de 19,5°C. Os dados climáticos durante o período de condução do experimento estão apresentados na figura 1, bem como, os valores de fotoperíodo (Figura 2).

**Figura 1.** Dados climáticos, precipitação mm, temperatura média, município Ivaiporã- PR, durante o período de condução da pesquisa (Dezembro de 2023 a Maio de 2024).



Fonte: CLIMATEMPO

**Figura 2.** Valores do fotoperíodo (horas) no 15º dia de cada mês, em função da latitude do município de Ivaiporã-PR.



Fonte: ESALQ.

Na operação de semeadura foram aplicados 400 kg ha<sup>-1</sup> de 8-28-16 (NPK) e 200 kg ha<sup>-1</sup> de uréia na cobertura aos 20 dias após a semeadura. Após 15 dias da emergência foi realizado o desbaste de forma a manter oito plantas por metro linear, totalizando 40 plantas por linha e uma população de 80.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A adubação de cobertura foi realizada, aos 30 dias após a emergência, mediante aplicação de 100 Kg de N, utilizando o formulado



30:0:20. O experimento foi conduzido em condições de sequeiro. O solo classificado como argiloso, segundo a análise de solo, cujas características são descritas na tabela 1.

**Tabela 1.** Análises químicas de amostras do solo pré-plantio para as áreas experimentais utilizadas no experimento para a profundidade de 0 a 20 cm.

Profundidade	pH CaCl <sub>2</sub>	Mat. Org.	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC (t)	CTC (T)	SB
Cm		%	mg/dm <sup>3</sup>	----- cmolc/dm <sup>3</sup> -----							%
0 – 20	4,5	3,2	9,2	0,18	3,6	1,7	0,1	6,5	5,5	11,9	46
	V	M	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	Ca	Mg	K
	%		-----mg/dm <sup>3</sup> -----					-----CTC %-----			
0 – 20	46	2	0,14	5,7	-	74,1	1,6	12,6	30	14	2

Mat. Org. = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, Al = alumínio, H + Al = hidrogênio + alumínio, SB = soma de bases, CTC (t) = capacidade de troca catiônica efetiva, CTC (T) = capacidade de troca catiônica em pH 7, V = saturação de bases, m = saturação de alumínio, B = boro, Cu = cobre, Fe = ferro, Mn = manganês, Zn = zinco, S = enxofre.

Fonte: Autor.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, com oito repetições e 12 genótipos-elite de sorgo sacarino, provenientes do programa de melhoramento da EMBRAPA Milho e Sorgo, onde cada linha de 5,0 m e com espaçamento de 0,5 m de cada genótipo foi designada para cada época de corte, constituindo a parcela experimental, totalizando uma população de 80,000 pls/ ha<sup>-1</sup> (Tabela 2).

**Tabela 2** - Identificação dos Genótipos-elite de Sorgo e cronograma de colheita das parcelas experimentais, Ivaiporã- PR, na safra 2023/2024.

Genótipos	Cultivar	<sup>1/</sup> Colheita/DAA
BRS716	Híbrido Biomassa (T)	01/12/23 - Plantio
CMSXS5017	Variedade (P - PI)	19/03/24 – 110 dias
CMSXS5020	Variedade (T- PS)	29/03/24 – 120 dias
CMSXS5021	Variedade (T- PS)	08/04/24 – 130 dias
CMSXS5027	Híbrido Simples (P- PI)	18/04/24 – 140 dias
CMSXS5029	Híbrido Simples (P- PI)	28/04/24 – 150 dias
CMSXS5035	Híbrido Simples (T-PS)	08/05/24 – 160 dias
CMSXS5037	Híbrido Simples (T- PS)	18/05/24 – 170 dias
CMSXS5039	Híbrido Simples (T-PS)	28/05/24 – 180 dias
CMSXS5041	Híbrido Simples (T-PS)	-
CMSXS5043	Híbrido Simples (T-PS)	-
CMSXS7500	Híbrido Biomassa (T-PS)	-

(P) precoce; (T) tardia; <sup>1/</sup>DAA= dias após o plantio; PS= fotossensível; PI= fotoinsensível.

Fonte: Autoria Própria

O controle das plantas daninhas foi realizado de forma mecânica e química. Quando utilizada a forma de controle químico, foi realizada mediante aplicação de herbicida à base do ingrediente ativo Atrazina, utilizando-se uma dosagem de 3 kg i.a. por hectare. Os demais tratos culturais foram realizados, todas as vezes que se fizeram necessários, a exemplo do controle fitossanitário.

Nos ensaios das curvas de maturação foram mensuradas as características agronômicas e tecnológicas, conforme descrição a seguir:

- a) Florescimento (FLOR, dias) – será anotado o número de dias transcorridos desde o plantio até o ponto em que 50% das plantas da parcela floresceram;
- b) Produção de massa verde (PMV, t.ha<sup>-1</sup>) - serão cortadas as plantas da parcela a 3,0-5,0 cm da superfície do solo. Posteriormente, pesaram-se as plantas inteiras, por meio de uma balança de suspensão digital, em Kg. Os dados foram depois convertidos em t.ha<sup>-1</sup>;
- c) Altura de Planta (ALT, m) – será determinado, a partir da altura média (m) de oito plantas tomadas aleatoriamente de cada parcela, sendo medidas da superfície do solo ao ápice da panícula com auxílio de uma trena;
- d) Sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) - medido em amostra do caldo homogeneizado extraído dos oito colmos de cada parcela, por meio de refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura e resolução máxima de 0.1 °Brix;
- e) Estande final (ESTANDE) – número de plantas na parcela durante a colheita.

Os dados obtidos foram submetidos quanto às pressuposições de análise de variância (ANOVA) através dos testes de Shapiro-Wilk (1965) e Bartlett (1937) e, posteriormente, atendido os pressupostos foi realizada à ANOVA ao nível de 5% de probabilidade de acordo com o teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas por meio do teste Scott-Knott (1974) ao nível de 5%, para fins de agrupamento de médias ajustadas dos genótipos.

A análise de regressão foi realizada para descrição do efeito da época de corte sobre as características estudadas (Ramalho *et al.*, 2012). Como critério para escolha do modelo de regressão será considerada a magnitude dos coeficientes de regressão, significativos a 5% de probabilidade pelo teste t. Visando caracterizar o período de utilização industrial (PUI), será estabelecido um valor mínimo de 15° Brix para SST, que é o valor mínimo ideal para início do processo fermentativo para produção de etanol. Todas as análises

estatísticas foram realizadas com o auxílio dos programas estatísticos R versão 3.4.0 (R Core Team, 2016) com o uso dos pacotes “easynova” (Arnhold, 2013), “ExpDes.pt” (Ferreira *et al.*, 2016) e “ggplot2” (Wickham, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos das análises de variância para ESTANDE, FLOR, ALT, PROD e SST estão descritos na Tabela 3. Foi observada diferença significativa para genótipos e bloco/épocas de colheita para a maioria das características analisadas ( $p \leq 0,01$ ). Fato que confirma a existência de alto grau de variabilidade genética entre os genótipos e alterações devido o avanço do estágio de desenvolvimento fisiológico dos mesmos. Os valores dos coeficientes de variação experimental foram satisfatórios, indicaram boa precisão experimental e estão em conformidade com trabalhos publicados para a cultura do sorgo (Oliveira, 2021; Parrela *et al.*, 2016; Assefa *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2022).

Houve redução de 27% no ESTANDE, quando comparado com a população 80,000 plantas/ha<sup>-1</sup> proposta inicialmente (Tabela 3). Os genótipos CMSXS5017, CMSXS5027, CMSXS5029, CMSXS5035 e CMSXS7500 consistentemente mostraram maior redução de plantas no momento da colheita (Tabela 4). Esse resultado enfatiza a hipótese do baixo vigor do lote de sementes usadas na instalação dos experimentos. Tal fato torna as plântulas mais sensíveis às adversidades climáticas, diminuindo a porcentagem final de emergência e, normalmente, promovendo um estande desuniforme (Lanteri *et al.*, 2000).

**Tabela 3.** Análise de variância para as características florescimento (FLOR, em dias), Altura de plantas (ALT, em cm), ESTANDE (número final de plantas na parcela), Teor de sólidos solúveis totais (SST, em °brix) e Produtividade (PROD, em t.ha<sup>-1</sup>) de 12 genótipos de Sorgo em oito épocas de avaliação, Ivaiporã-PR, 2023/2024.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		ESTANDE	FLOR	ALT	PROD	SST
Genótipos (G)	11	323,89**	1737,86**	0,678**	2219,22**	14124*
Bloco/Épocas (E)	7	123,01	3,21	1,707**	5939,8**	14144**
Resíduo	77	40,66	1,70	0,098	567,8	4,002
Média		29,15	142,15	3,17	87,81	12,17
CV (%)		21,87	0,92	9,91	27,14	16,44

\*, \*\* Significativo, pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Autor

Os cultivares de sorgo são influenciados pelo comprimento do dia, apresentando desenvolvimento variável, conforme a região de cultivo e a época de semeadura (Silva *et*

*al.*, 2005). Quando semeados nos meses de novembro e dezembro, período em que o comprimento do dia excede 12h e 20m de luz, o sorgo inicia o florescimento tardiamente. De fato, com o plantio realizado no mês de dezembro (Figura 2), todos os genótipos floresceram 100 dias após o plantio, exibindo comportamento fotossensível (Tabela 4). O desdobramento de médias constatou que os híbridos CMSXS5035 e CMSXS5037 foram estatisticamente os mais precoces, florescendo entre 113 e 114 dias após o semeio (DAS), respectivamente. Por outro lado, a variedade CMSXS5027 e o híbrido CMSXS5020 foram estatisticamente os mais tardios (Tabela 4), sugerindo igualdade de sensibilidade ao fotoperíodo independente do tipo de cultivar a ser trabalhada.

**Tabela 4.** Agrupamento de médias para florescimento (FLOR, em dias), Altura de plantas (ALT, em cm), ESTANDE (número final de plantas na parcela), Teor de sólidos solúveis totais (SST, em °Brix) e Produtividade (PROD, em t.ha<sup>-1</sup>) para os 12 genótipos de Sorgo e oito épocas de avaliação, Ivaiporã- PR, 2023/2024.

<b>Genótipos-Elite</b>	<b>ESTANDE</b>	<b>FLOR</b>	<b>ALT</b>	<b>PROD</b>	<b>SST</b>
CMSXS5017	25,37b	143,00c	3,24b	111,21a	10,33b
CMSXS5027	22,00b	157,00a	2,80c	75,71b	12,04a
CMSXS5029	20,50b	145,00c	2,93c	85,30b	9,75b
CMSXS5020	32,25a	158,00a	3,56a	83,99b	10,94b
CMSXS5035	20,38b	113,00e	3,03c	110,73a	12,53a
CMSXS5037	34,38a	114,00e	3,12b	72,09b	14,05a
CMSXS5021	37,38a	143,00c	3,25b	100,27a	12,25a
CMSXS5039	30,25a	153,00b	3,37b	91,39a	12,05a
CMSXS5041	34,50a	144,00c	3,59a	103,52a	12,89a
CMSXS5043	29,63a	137,00d	3,29b	79,65b	14,17a
CMSXS7500	25,25b	154,00b	3,22b	84,83b	12,84a
BRS716	38,00a	144,00c	2,60c	55,04b	12,16a
<b>Épocas de Avaliação</b>	<b>ESTANDE</b>	<b>FLOR</b>	<b>ALT</b>	<b>PROD</b>	<b>SST</b>
110	30,83	142,08	2,42c	47,38c	6,80d
120	31,33	143,08	2,98b	58,64c	8,67c
130	32,38	142,25	3,04b	68,79c	10,25b
140	27,00	142,25	3,06b	79,39b	10,94b
150	23,50	142,92	3,30a	91,28b	15,21a
160	28,55	142,25	3,54a	105,59a	15,53a
170	27,17	142,25	3,54a	118,95a	15,03 <sup>a</sup>
180	32,50	141,17	3,64a	132,60a	14,92 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra são iguais entre si pelo teste Scott-Knott (1974) a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor

A grande estratégia da fotossensibilidade do sorgo é a de aumentar o período vegetativo, conseqüentemente o seu ciclo, refletindo em uma maior ALT e PROD. Tais características são um fator chave na produção de etanol, uma vez que, o caldo rico em açúcar fermentescível é extraído inteiramente desta biomassa (Murray *et al.*, 2009; Ritter *et al.*, 2008). Nas épocas iniciais de colheita foi observado um crescente aumento na ALT e PMV, então, após o florescimento (142 DAS) o sorgo finaliza o seu período vegetativo não

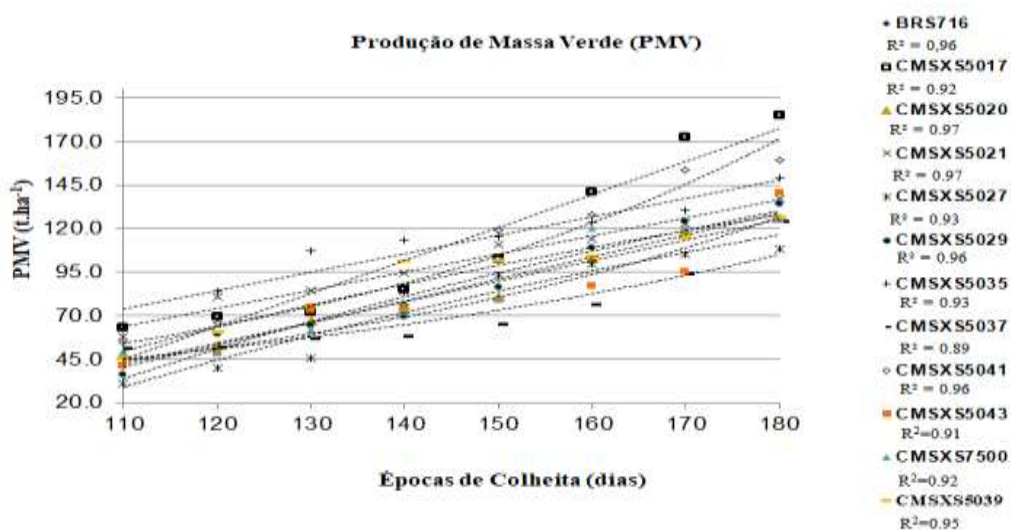
apresentando distinção significativa nas épocas de avaliação seguinte (Tabela 4). Notou-se que os híbridos fotossensíveis (Tabela 2) apresentaram ALT superior a 3,00m e PROD acima de 91,00 t.ha<sup>-1</sup>, destaque para o CMSXS5041 que apresentou maior porte e foi um dos mais produtivos. Entre os fotoinsensíveis o destaque foi à variedade CMSXS5017 (Tabela 4). Todavia, diante da complexidade na expressão ALT e PROD, além da época de cultivo é preciso considerar influência do ambiente no crescimento vegetativo das plantas (Craufurd e Qi, 2001). Fator que explica os resultados divergentes dos observados por Pereira *et al.* (2022) trabalhando com os mesmos genótipos de sorgo em Cárceres-MT, que verificaram maior precocidade e, ainda assim, porte superior a 4,00m, mas, menor produtividade.

O sorgo é considerado uma planta tolerante a altas temperaturas, mas, associado à deficiência hídrica, a sua taxa de crescimento diminui. Durante o ciclo da planta, a quantidade de água exigida pode variar de 450 a 600 mm (Sans *et al.*, 2003). Observou-se, que o pico de precipitação de 205,70 mm ocorreu na implantação da cultura, e ao longo do cultivo superou 600mm (Figura 1). Entretanto, Claaseen e Shaw (1970) observaram que períodos curtos de déficit hídrico possuem efeito significativo na alongação e diâmetro do colmo. Logo, as oscilações da precipitação, principalmente, nos meses de fevereiro e abril justificam a variação das respostas dos genótipos, independente do fotoperíodo quanto a ALT e PROD. Ressalta-se que, o híbrido biomassa BRS716 usado como testemunha, principalmente, no que se refere à PROD foi superado pelos demais genótipos, chama atenção a variedade CMSXS5017 que foi 49,49% superior (Tabela 4).

O teor SST é outra característica de grande importância para produção de etanol, pois está diretamente correlacionada ao teor de açúcares fermentáveis (ATR) no caldo, os quais são utilizados como alimentos pelas leveduras na produção de etanol, sendo, desejável em maior grau possível. Shukla *et al.* (2017) demonstraram que plantas que tem florescimento mais tardio tendem a conter maior teor de SST nos seus colmos, o que não se confirmou no presente trabalho (Tabela 4). Para SST, houve variação de 9,75 a 14,17 °Brix nos híbridos CMSXS5029 e CMSXS5043, respectivamente. Almodares e Hadi (2009), utilizando genótipos de sorgo sacarino entre variedades, híbridos e linhagens, também encontraram valores de SST de 14,32 °Brix. Na média, somente os híbridos CMSXS5037 e CMSXS5043 apresentaram valores próximos a 15° Brix (Tabela 4). Estes teores proporcionam produções que apresenta potencial em torno 3000 litros de etanol por hectare nas usinas sucroalcooleiras (Romagnoli *et al.*, 2020).

Na Figura 3 é possível observar as curvas de regressão da PMV dos genótipos avaliados. Os genótipos apresentaram valores entre aproximadamente 28,91 e 63,03 t.ha<sup>-1</sup> para os híbridos BRS716 e CMSXS5035, respectivamente aos 110 DAS. Notou-se que aos 180 DAS todos os genótipos alcançaram as maiores PROD, e ainda apresentaram tendência de acréscimo da PMV de acordo com ajuste linear significativo para a maioria dos genótipos, sugerindo a possibilidade de maior permanência do material a campo. Na média, o melhor desempenho ocorreu de forma significativa a partir dos 160 DAS, não havendo distinção das épocas de colheita seguintes (Tabela 4). A variedade CMSXS5017 superou os híbridos em até 25,00 t.h<sup>-1</sup> e à testemunha biomassa BRS716 em 58,71% aos 180 DAS (Figura 3). Verificam-se altas PROD obtidas com o sorgo para a maioria dos genótipos avaliados (CMSXS5017, CMSXS5021, CMSXS5035, CMSXS5039 e CMSXS5041) a partir de 150 DAS comparadas com a previsão da média nacional de produtividade da cana-de-açúcar, como na safra de 2023/2024, quando a média foi de 85,58 t.ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2023). Vale ressaltar que além de maior PROD o ciclo do sorgo foi de 180 dias, menos da metade da cana. Entretanto, apenas a alta PMV não fornece os requisitos necessários para a qualificação dos genótipos quando o objetivo é a produção de etanol. Tornando necessário avaliar as curvas de acúmulo de açúcares durante o desenvolvimento da cultura. Ademais, o setor sucroalcooleiro paga os fornecedores com parâmetro baseado na qualidade da matéria prima, em açúcares totais recuperáveis, e não apenas no peso do carregamento (CONSECANA, 2006).

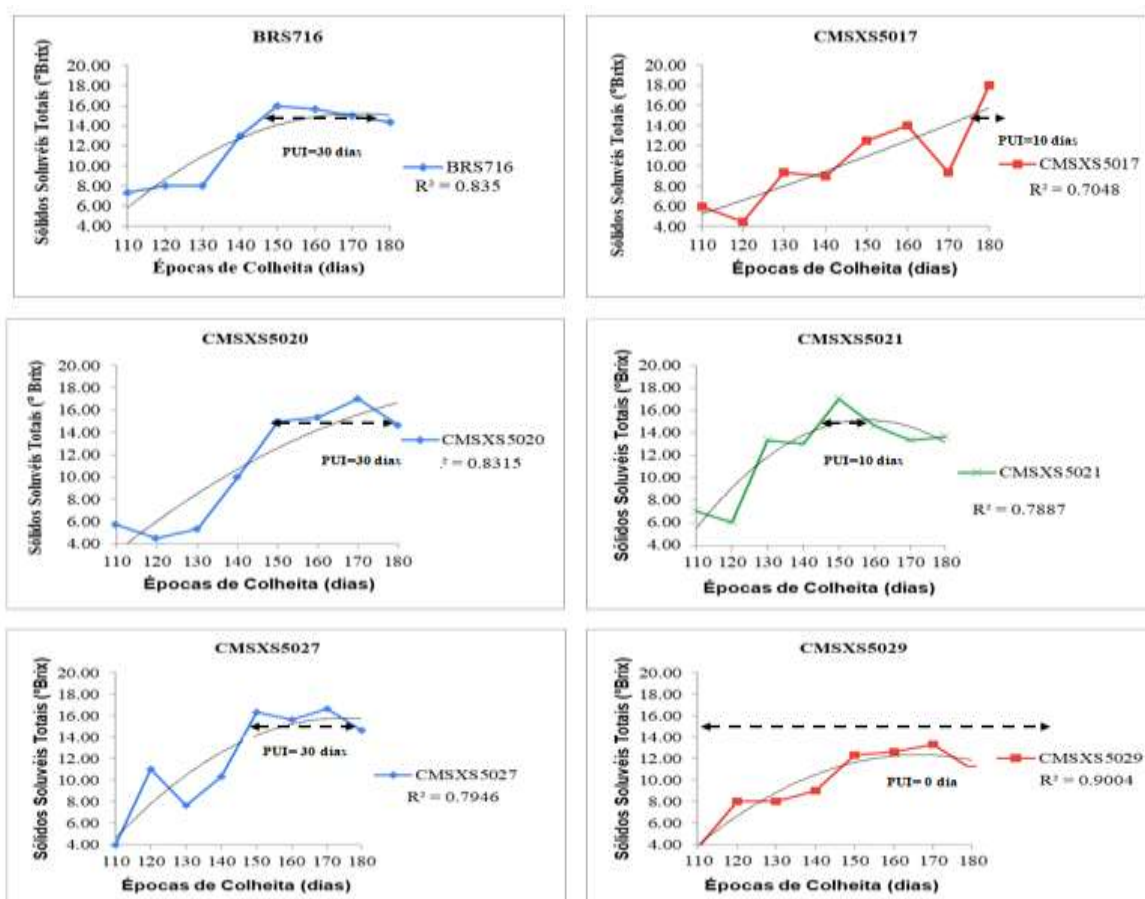
**Figura 3.** Curvas de Produção de Massa Verde (PMV) em t. ha<sup>-1</sup> de doze genótipos-elite de sorgo sacarino em oito épocas de colheita.



Fonte: Autor

Nas Figuras 4 e 5 estão representadas as curvas de maturação dos 12 genótipos de sorgo sacarino. Por ser de fácil medição e apresentar alta correlação com a concentração de açúcares solúveis, o Brix é amplamente utilizado pelas indústrias sucroalcooleiras para estimar o conteúdo de açúcar no colmo e confere credibilidade na predição dos rendimentos de etanol (Guigou *et al.*, 2011). Parrella *et al.* (2016) caracterizaram o PUI como período em que o Brix mantém-se no teor mínimo de 15°Brix o que prevê uma concentração de açúcar superior a 80 kg de açúcar por tonelada de colmos. As curvas de maturação foram efetuadas com o intuito de subsidiar tomadas de decisão quanto à colheita e ao PUI mínimo de 30 dias.

**Figura 4.** Curvas de maturação dos genótipos BRS716, CMSXS5017, CMSXS5020, CMSXS5021, CMSXS5027 e CMSXS5029 de sorgo sacarino avaliados em oito épocas de colheita. PUI correspondente ao teor de sólidos solúveis totais acima de 15° Brix, no município de Ivaiporã – PR, 2023/2024.

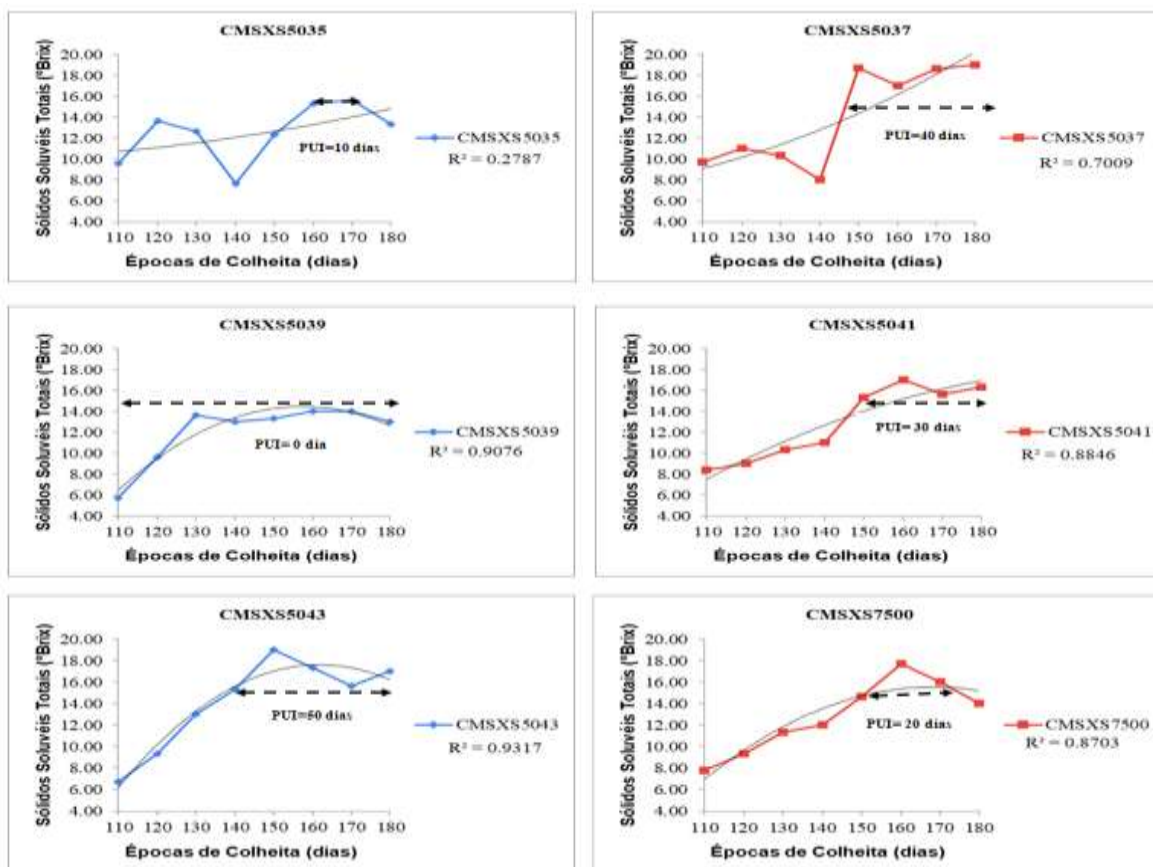


Fonte: Autor

Considerando que a maturidade fisiológica ocorre aproximadamente 40 dias após o florescimento (Ratnavathi *et al.*, 2010) e que o florescimento em média ocorreu após 142 DAS (Tabela 3) esperava-se que o ápice de acúmulo de °Brix ocorresse aproximadamente

aos 180 DAS. Em consonância com o florescimento a variedade CMSXS5017 e o híbrido CMSXS5037 apresentaram o ápice no teor de SST aos 180 DAS. Destaca-se que a variedade CMSXS5017 praticamente dobrou o teor de STT em um período de 10 dias. Entretanto, observou-se que para estes genótipos e os demais genótipos o acúmulo de SST igual ou superior a 15°Brix teve início aos 150 DAS (Figuras 4 e 5). A testemunha biomassa BRS716 manteve o teor de °Brix estabelecido a partir dos 150 DAS e o sustentou até os 170 DAS. Esse resultado não era esperado, pois, o BRS716 apesar de não ter sido produtivo nas condições do presente trabalho foi desenvolvido para geração de energia por meio da queima de biomassa (Borghetti *et al.*, 2020). Comportamento semelhante foi observado para a variedade CMSXS5020 e para o híbrido CMSXS5027, logo atingiram o PUI de 30 dias (Figura 4). Destaque para os híbridos mais precoces (Tabela 3) CMSXS5037 e CMSXS5043 os únicos a atingirem o teor de 19° Brix e a apresentaram PUI de 40 e 50 dias, respectivamente (Figura 5).

**Figura 5.** Curvas de maturação dos genótipos CMSXS5035, CMSXS5037, CMSXS5039, CMSXS5041, CMSXS5043 e CMSXS7500 de sorgo sacarino avaliados em oito épocas de colheita. PUI correspondente ao teor de sólidos solúveis totais acima de 15° Brix, no município de Ivaiporã – PR, 2023/2024.



Fonte: Autor



Por se tratar de uma característica que sofre forte influência do ambiente, houve variação do teor de SST ao longo das épocas de colheita. Souza *et al.* (2011) relatam que no período de menor volume de chuvas é observada uma maior demanda fisiológica pela planta e uma maior concentração de sólidos solúveis totais no caldo, qualificando a matéria prima a ser destinada ao processamento de etanol. Nesse sentido, notou-se que, aos 180 DAS houve uma tendência de redução de °Brix para a maioria dos genótipos avaliados (Figuras 4 e 5), período que coincidiu com um aumento no volume de chuva no ambiente experimental (Figura 2) que promoveu uma redução do teor de açúcar no caldo do colmo.

Analisando o comportamento dos genótipos, o período de maturidade fisiológica e as curvas com tendência de crescimento para SST, a inclusão de mais uma etapa de avaliação aos 190 DAS, poderia revelar picos de maior acúmulo para os genótipos uma vez que, mostraram sensibilidade ao fotoperíodo, e apresentam maior ciclo e produção de massa verde.

## CONCLUSÃO

O genótipo de sorgo sacarino que mais se destacou na região de Ivaiporã – PR foi o CMSXS5041 que obteve os melhores resultados para altura de plantas, produtividade de massa verde e teor de sólidos solúveis totais. Apresentando assim potencial produtivo e aptidão para produção de etanol.

Os genótipos BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 e CMSXS5043 foram promissores, com boa perspectiva para ampliar a janela de colheita das usinas por apresentarem PUI igual e/ou superior 30 dias.

Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento.

Híbridos e variedades não distinguiram significativamente quanto a nenhuma das características avaliadas.

### **3 . CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O genótipo de sorgo sacarino que mais se destacou na região de Ivaiporã – PR foi o CMSXS5041 que obteve os melhores resultados para altura de plantas, produtividade de massa verde e teor de sólidos solúveis totais. Apresentando assim potencial produtivo e aptidão para produção de etanol.

Os genótipos BRS 716, CMSXS5020, CMSXS5027, CMSXS5037, CMSXS5041 e CMSXS5043 foram promissores, com boa perspectiva para ampliar a janela de colheita das usinas por apresentarem PUI igual e/ou superior 30 dias.

Os híbridos CMSXS5029 e CMSXS5039 não atingiram o teor de teor de sólidos solúveis mínimo em nenhum momento.

Híbridos e variedades não distinguiram significativamente quanto a nenhuma das características avaliadas.

## REFERÊNCIAS

- AKBAR, D. et al. Reviewing commercial prospects of bioethanol as a renewable source of future energy – an Australian perspective. *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment*, 16, 441-458, 2019.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; TARDIN, F. D.; PARRELLA, R. A. C.; GUIMARÃES, A. S. OLIVEIRA, R. M.; SILVA, K. M. 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.
- ALMODARES, 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. Disponível: [https://www.researchgate.net/publication/228616516\\_Production\\_of\\_bioethanol\\_from\\_sweet\\_sorghum\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/228616516_Production_of_bioethanol_from_sweet_sorghum_A_review). Acesso em: 20 jun. 2024.
- ANDRADE, R. V.; OLIVEIRA, A. C. Maturação fisiológica do colmo e da semente de sorgo sacarino. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 10, n. 3, p. 19-31, 1988. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/478296>. Acesso em: 14 abr. 2024.
- APPIAH-NKANSAH, N. B. *et al.* Uma revisão do sorgo sacarino como uma cultura viável de bioenergia renovável e sua análise técnico-econômica. *Energia Renovável*, v. 143, p. 1121-1132, 2019.
- ARNHOLD, E. “**Pacote no ambiente R para análise de variância e análises complementares.**” *Revista Brasileira de Pesquisa Veterinária e Zootecnia*, p. 50, 2013.
- ASSEFA, A., BEZABIH, A., GIRMAY, G., ALEMAYEHU, T., LAKEW, A. (2020). Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor* ba(L.) Moench) variety performance in the lowlands area of wag lasta, north eastern Ethiopia, *Cogent Food & Agriculture*, v. 6, n. 1, p. 12. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1778603>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. *Proc. Royal Soc. London*. v. 160, p. 268-282, 1937.
- BATISTA, V. A. P. **Avaliação Bioenergética de Sorgos Biomassa, Sacarino e Forrageiro.** 2016. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Magister Scientiae. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais – Brasil. 81 f. Disponível: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9283/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- BORÉM, Aluizio. **Melhoramento de plantas.** Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- BORGHI, E.; SILVA, G. F da; CALONEGO, J. C ; PARRELLA, R. A da C.; ANTÔNIO, M. S. **Sorgo biomassa BRS 716 para produção de forragem e palha em sistema de plantio direto e preparo convencional com soja.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 216, 25 p., Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020.

CABRAL, P. D. S. *et al.* Avaliação agrônômica de híbridos de sorgo sacarino. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo: Milho e Sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar. 32. 2016, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves. 2016. p. 893-895. Disponível em: [http://www.abms.org.br/cnms2016\\_trabalhos/docs/1208.pdf](http://www.abms.org.br/cnms2016_trabalhos/docs/1208.pdf). Acesso em: 20 de jun de 2024.

CARVALHEIRO, E. M. **Evidências empíricas do impacto da desregulamentação na agroindústria canavieira do Paraná**. 2003. 76 f. Monografia (graduação) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo, 2003.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. **Tecnologia e fabricação do álcool**: Rede e-Tec Brasil. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: [http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo\\_prd\\_industr/tec\\_acucar\\_alcool/161012\\_tec\\_fabric\\_alc.pdf](http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prd_industr/tec_acucar_alcool/161012_tec_fabric_alc.pdf). Acesso em: 26 mar. 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2023) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safra/graos/boletimda-safra-de-graos>. Acesso em: 24 mar. 2024.

CONSECANA – SP. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. 5º edição, Piracicaba – SP, 2006.

CRAUFURD, P.Q.; Qi, A. (2001) - Photothermal adaptation of sorghum (*Sorghum bicolor*) In: Nigeria. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 108, n. 3, p. 199-211. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00241-6). Acesso em: 10 jul. 2024.

DAYAKAR, R. B. *et al.* **Sweet Sorghum cane for bio-fuel production: A SWOT analysis in Indian context**. Rajendranagar, Hyderabad, A P, India: National Research Center for Sorghum. 24 p. 2004.

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. 76 p. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 138). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68879/1/doc-138-1.pdf>. Acesso em: 08. mai. 2024.

DURÃES, N. N. L. **HETEROSE EM SORGO SACARINO**. 2014. Universidade Federal de Lavras. Dissertação – (Mestrado). Minas Gerais. 96 f. 2014. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3792/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Heterose%20em%20Sorgo%20Sacarino.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3792/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Heterose%20em%20Sorgo%20Sacarino.pdf). Acesso em: 23 abr. 2024.

ECULICA, Guilherme Cassicala. **Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars**. 2014. 60 f. Dissertação (Mestrado em Genética animal; Genética molecular e de microrganismos; Genética quantitativa; Genética vegetal; Me) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/4807>. Acesso em: 05 mai. 2024.

FAGUNDES, T. G. **Seleção de genótipos de sorgo sacarino com base no desempenho agroindustrial e no potencial fermentativo**. 2019. 51 f. Dissertação (Mestrado em

Botânica Aplicada) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/32685>. Acesso em: 20 jun. 2024.

FAGUNDES, T. G.; *et al.* Caracterização de Genótipos de Sorgo Doce Baseada no Desempenho Agroindustrial e Potencial Fermentativo. **Sugar Tech**, v. 57, p. 1-14, 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes**: experimental designs package. R package version 1.1.2. 2013. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=ExpDes>. Acesso: 13 jun. 2024.

FERREIRA, O. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento enzimático**. 2015. 98f. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/4642bc0c-c2e8-480f-a02e-0e5590d4a356/content>. Acesso em: 01 mai. 2024.

GOLDEMBERG, J. **Trinta anos da convenção do clima**. Estudos Avançados, v. 37, n. 107, p. 277-187, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37107.016>. Acesso em: 22 mar. 2024

GOMES, S. C. P. **Produção de etanol utilizando mix de sorgo sacarino e cana-deaçúcar em processo de maturação**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. 64 p. Jaboticabal. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/26877/1/TCC-Eudes%20Fernandes-final%20%281%29.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

GUIGOU, M., LAREO, C., PÉREZ, L. V., LLUBERS, M. E., VÁZQUEZ, D., FERRARI, M. D., 2011. Bioethanol production from sweet sorghum: Evaluation of post-harvest treatments on sugar extraction and fermentation. **Biomass Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3058-3062. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.04.028>. Acesso em: 08 jul. 2024.

KOLEMAN, O. H.; STOKES, L. E. **Storage studies of sorgo**. Washington: Agriculture Research Service, 1964. 54 p.

LANTERI, S.; PORTIS, E.; BERGEVOET, H. W.; GROOT, S. P. C. Molecular markers for the priming of pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.75, n.5, p.607-611, 2000.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2000.

LEITE, P. S. S. *et al.* Association among agro-industrial traits and simultaneous selection in sweet sorghum. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirao Preto, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.

LIMA, I. H.; ANJOS, D. Seleção de cultivares de sorgo sacarino para produção de etanol. **PesquisAgro**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 41–53, 2022. Disponível em: <https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/agro/article/view/137>. Acesso em: 26 jun. 2024.

LOMBARDI, G. M. R. *et al.* Path analysis of agro-industrial traits in sweet sorghum. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 4, p. 16392–16402, 2015. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139714/1/Path-analysis.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.

LOMBARDI, G. M. R.; ORNELAS D. O.; DURÃES N. N. L. Heterozygosity, adaptability, and phenotypic stability of sweet sorghum genotypes. **Rev. Caatinga**, p. 37, 2024.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Ecofisiologia e cultivo do sorgo**. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Sistema de Produção, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/35247/1/Ecofisiologia.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MARTINS, A. M. *et al.* Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol. 2017. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 16, n. 2, p. 217-231, 2017. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1081596>. Acesso em: 22 jun. 2024.

MAY, A., CAMPANHA, M. M., da SILVA, A. F., COELHO, M. D. O., PARRELLA, R. D. C., SCHAFFERT, R. E., & PEREIRA FILHO, I. A.. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Embrapa Milho e Sorgo - Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/960458>. Acesso em: 08 fev. 2024.

MENEZES, Cicero Beserra De . **Sorgo Granífero: Estenda sua Safrinha com Segurança**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo,176). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1020186>. Acesso em: 26 mar. 2024.

MOURA, J. **Seletividade de Herbicidas e Avaliação Agronômica de Sorgo Sacarino no Semiárido**. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.62 p. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22394/1/2017\\_dis\\_jgdemoura.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22394/1/2017_dis_jgdemoura.pdf). Acesso em: 05 mar. 2024.

MURRAY SC, WILLIAM LR, MARTHA TH, SHARON EM and STEPHEN K (2009) Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for brix and height. **The Plant Genome**. v. 2, p. 48-62, 2009.

NELSON, D. L., COX, M. M. (2014) **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1328 p.

OLIVEIRA, T. C., OLIVEIRA, A. J., ALMICI, M. S., SANTOS, A. A. C., SILVA, V. P., PIRES, A. S. C., MORAES, L. H. P., RODRIGUES, J. C. C., BARELLI, M. A. A., & TARDIN, F. D. (2021). Componentes de rendimento em genótipos de sorgo sacarino. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e35310615965. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15965>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PARRELA, N. N. L. D.; PARRELLA, R. A. C. Produção de sementes de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, ano 2, n.3, p.14, 2011.

PARRELA, R. D. C, SILVA, R. A., RIBEIRO, L., PARRELA, N., & SCHAFFERT, R. (2016). Desempenho agroindustrial de genótipos de sorgo sacarino visando a produção de

etanol. In Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In: Workshop Agroenergia Matérias-Primas*, 10 p. Ribeirão Preto, SP. Anais... Ribeirão Preto: IAC

PARRELLA, R. A. C. **Desenvolvimento de populações de sorgo sacarino de cruzamento ao acaso para seleção recorrente intrapopulacional**. Sete Lagoas: Embrapa, 2016. 7 p. (Circular Técnica, 217).

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

PARRELLA, R. A. C., MENEZES, C. B., RODRIGUES, J. A. S., *et al.*, Cultivares. *In: BORÉM, A., PIMENTEL, L. D., PARRELLA, R. A. C. (ed.). Sorgo: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: UFV, 2014. v. 7, p. 169-187, 2003. Sorgo: introdução e importância econômica. **Documentos 26**, Embrapa Milho.

PASCHOALINI, G.; ALCARDE, V. Estudo do processo fermentativo de usina sucroalcooleira e proposta para sua otimização. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v.16, n.32, p.59-68, 2009. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistasunimep/index.php/cienciatecnologia/article/view/781>. Acesso em: 19 mar. 2024.

PEREIRA, A. C.; ANJOS, A. S.; OLIVEIRA, E. P.; SIQUEIRA T. A. ; ALMICI, M. S.; *et al.* **Performance agrônômica de sorgo sacarino avaliados na região de Cáceres-Mato Grosso**. Research, Society and Development, v. 11, n. 8, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30047>.

PFEIFFER, T. W. et al. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia. **Crop Science**, Madison, v. 50, n. 5, p. 1788-1794, Sept. 2010. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1938&context=agronomyfacpub>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed., Piracicaba: Fealq, 2009, 451 p.

PORTO, F. L. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo sacarino**. 2021. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Mato Grosso, Sinop, 33 p. 2021.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Áustria. 2016.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; SANTOS, J. B.; NUNES, J. A. R. Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas. Lavras: **Editora UFLA**, 2012. 522 p.

RATNAVATHI, C. V.; KUMAR, S. R.; KUMAR, B. S. V.; KRISHNA, D. G.; PATIL, J. V.. Effect of planting on cane Yield and Quality characters in sweet sorghum, **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 2, n. 1, p. 1-9, 2012.

REGASSA, T. H.; WORTMAN, C. S. Sweet Sorghum as a bioenergy crop: literature review. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 64, p. 1-8, May 2014. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/261714311\\_Sweet\\_sorghum\\_as\\_a\\_bioenergy\\_crop\\_Literature\\_review](https://www.researchgate.net/publication/261714311_Sweet_sorghum_as_a_bioenergy_crop_Literature_review). Acesso em: 23 abr. 2024.

RITTER KB, DAVID RJ, SCOTT CC, IAN DG, EMMA SM and MCLNTYRE CL (2008) Identification of QTL for sugar-related traits in a sweet x grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) recombinant inbred population. **Molecular Breeding**. v. 22, p. 367-384.

RODRIGUES, J.A.S.; PEREIRA FILHO, I.A. Sorgo: **o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 327 p.- (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

ROMAGNOLI, M. J., DE FREITAS, R. S., ALBUQUERQUE, C. J. B.; BORGES, W. L. B., PEREIRA, A. J., & ZOZ, A. (2020). Época de semeadura sobre cultivares de sorgo sacarino. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72484-72497

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. de C. de; GUIMARÃES, D. P. **Época de plantio de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 80).

SCHAFFERT, R. E. *et al.* Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, v. 2, n. 3, p. 47, 2011.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. Planejamento Industrial. In: MAY, A. (Ed.) **Sistema embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-tecnologia qualidade embrapa**. Sete Lagoas, 2012, p.85-92.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512. 1974.

SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. v, 52, p. 591-611, 1965.

SILVA, A. G.; ROCHA, V. S.; CRUZ, C. D. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo forrageiro semeados em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 4, n. 1, p. 112-125, 2005.

SOUZA, R. S. E. *et al.* Maturation curves of sweet sorghum genotypes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 1, p. 46-56, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542016000100004>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SOUZA, V. F. de. *et al.* Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em duas épocas de plantio no norte de Minas Gerais visando à produção de etanol. In: Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, p. 6, 2011, Búzios: **Anais...** Búzios: SBMP, 2011.

TABOSA, José Nildo et al. Importância do melhoramento genético de diferentes tipos de sorgo para as mesorregiões do Agreste, Sertão e afins do Semiárido Brasileiro. XIMENES, Luciano Feijão **Tecnologias de Convivência com o Semiárido Brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. p. 1138. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206991/1/Importancia-do-melhoramento-genetico-de-diferentes-tipos-de-sorgo-para-as-mesorregioes-2019.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.



TEIXEIRA, C. G. et al. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, set. 1999. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/250030511\\_Influencia\\_da\\_epoca\\_de\\_corte\\_sobr\\_e\\_o\\_teor\\_de\\_acucares\\_de\\_colmos\\_de\\_sorgo\\_sacarino](https://www.researchgate.net/publication/250030511_Influencia_da_epoca_de_corte_sobr_e_o_teor_de_acucares_de_colmos_de_sorgo_sacarino). Acesso em: 19 mar. 2024.

TEIXEIRA, T. P. M. **Estudo da maturação e ponto de colheita em materiais de sorgo destinados à bioenergia**. 2017. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/18706>. Acesso em: 16 de jun. de 2024.

TEIXEIRA, Vitor. **Avaliação da produção de etanol a partir de sorgo e caracterização dos produtos alimentícios e bebidas**. 2021. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Microbiologia Agropecuária, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/210998>. Acesso em: 19 mar. 2024.

TORRES, M. Sorgo biomassa: cultura promissora para geração de energia, 2013, **Jornal Eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo**. Ano 07, Ed. 43. Disponível em: <http://grao.cnpms.embrapa.br/noticia.php?ed=MTM=&id=NDY>. Acesso em: 19 jun. 2024.

VIDAL, T. **Produtores paranaenses investem em sorgo como alternativa ao milho na segunda safra; conheça o cereal**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/caminhos-do-campo/noticia/2022/09/11/produtoresparanaenses-investem-em-sorgo-como-alternativa-ao-milho-na-segunda-safra-conheca-o-cereal.ghtml>. Acesso em: 26 mar. 2024.

WICKHAM, H. (2016). *Ggplot2: Gráficos elegantes para análise de dados* (2ª ed.) [PDF]. Publicação Internacional Springer.