



**TALIEISSE GOMES FAGUNDES**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO COM  
BASE NO DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E NO  
POTENCIAL FERMENTATIVO**

**LAVRAS – MG  
2019**

**TALIEISSE GOMES FAGUNDES**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO COM BASE NO  
DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E NO POTENCIAL FERMENTATIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Prof. Dr. Whasley Ferreira Duarte  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Fagundes, Talieisse Gomes.

Seleção de genótipos de sorgo sacarino com base no desempenho agroindustrial e no potencial fermentativo / Talieisse Gomes

Fagundes. – 2018.

51 p. : il.

Orientador: José Airton Rodrigues Nunes.

Coorientador: Whasley Ferreira Duarte.

Dissertação (Mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. *Sorghum bicolor*. 2. Levedura. 3. Rendimento de açúcares e fermentação. I. Nunes, José Airton Rodrigues. II. Duarte, Whasley Ferreira. III. Título.

**TALIEISSE GOMES FAGUNDES**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SORGO SACARINO COM BASE NO  
DESEMPENHO AGROINDUSTRIAL E NO POTENCIAL FERMENTATIVO**

**SWEET SORGHUM SELECTION BASED ON THE AGROINDUSTRIAL  
PERFORMANCE AND THE FERMENTATIVE POTENTIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA EM 10 de dezembro de 2018.

Dr. Rafael Augusto da Costa Parrella      EMBRAPA

Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves      UFLA

Prof. Dr. José Airton Rodrigues Nunes  
Orientador

Prof. Dr. Whasley Ferreira Duarte  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2019**

*A Deus,*  
**OFEREÇO.**

*Aos meus pais: José Odel Fagundes e*  
*Sirlene Gomes Fagundes*

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as graças concedidas em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Biologia por todo o conhecimento provido.

À EMBRAPA Milho e Sorgo e ao seu programa de melhoramento de sorgo sacarino pela disponibilização dos genótipos utilizados e por todos os conhecimentos compartilhados.

Ao Laboratório de Fisiologia e Genética de Microorganismos, no setor de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

À FAPEMIG e ao CNPq pelos demais recursos.

Aos meus familiares por toda a compreensão, paciência e apoio, principalmente, a meus pais José Odel Fagundes e Sirlene Gomes Fagundes que me incentivaram sempre a perseverar em busca de meus sonhos.

Aos meus colegas do GEN e G-SORGO pela cooperação do trabalho em equipe e por todos os conhecimentos adquiridos, em especial, aos meus amigos Lucas Silveira e Jessica Figueiredo pelo apoio genuíno e a Cláudio Fernandes por toda a ajuda e apoio durante as análises estatísticas.

Aos professores que me guiaram até aqui.

Em especial, ao meu orientador, sem o qual este trabalho não seria possível, professor José Airton R. Nunes, exemplo de dedicação, competência e humanidade.

César Augusto P. Brasil

Flávia Avelar

Whasley Ferreira

Dr. Rafael Parrella

A todos que contribuíram para esta conquista.

Meus sinceros agradecimentos: **Muito obrigada!**

*Suba o primeiro degrau com fé.  
Não é necessário que você veja toda a escada.  
Apenas dê o primeiro passo.*

Martin Luther King

## RESUMO

A cultura do sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L) Moench] apresenta características agroindustriais que a tornam uma matéria-prima economicamente promissora para a produção de etanol. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho agroindustrial e a curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino, bem como o potencial fermentativo quando submetidos a dois tipos de leveduras. Os experimentos de curva de maturação foram realizados, durante a safra 2016/2017, nas localidades de Lavras/MG, Sete Lagoas/MG e Sinop/MT. Foram avaliados dez genótipos-elite, sendo as linhagens BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647 e os híbridos CV198, N31L5010, 201549B014, 201610B033, 201610B081, 201610B095, avaliados em sete épocas de corte (100, 107, 114, 121, 128, 135 e 142 dias após a semeadura). As características mensuradas foram: altura de planta, porcentagem de extração de caldo, produção de massa verde, teor de sólidos solúveis totais (SST) e toneladas de brix por hectare. O período útil industrial (PUI) foi de 20 dias, ocorrendo entre os 110 e 130 dias após a semeadura. O ensaio de fermentação foi realizado no Laboratório de Fisiologia e Genética de Microorganismos, no setor de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras. Aferiu-se o consumo de açúcares dos genótipos BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647 e 201459B014, que apresentaram maiores teores de SST nos ensaios de curva de maturação, apenas do ensaio em Lavras, utilizando duas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11 e BY). Foram aferidos os teores de SST, nos tempos inicial ( $T_0$ ) e 24h ( $T_{24}$ ), após a inoculação. A acurácia seletiva, em nível de genótipos, variou de 90,25% a 98,31% nos ensaios de curva de maturação. Detectaram-se diferenças significativas entre os genótipos, para todas as características, com destaque para os genótipos BRS508, CMSXS646 e CMSXS647 para SST. Não houve interação genótipos x épocas de corte. Para o ensaio de fermentação, a levedura BY foi a mais eficiente, e o genótipo CMSXS647 apresentou o maior consumo relativo de SST pelas leveduras, mostrando-se promissores para a produção de etanol. Houve interação entre os genótipos de sorgo com as leveduras, evidenciando a existência de especificidade para fins de fermentação. No entanto observou-se uma consistente superioridade da levedura BY, demonstrando a possibilidade de identificar leveduras com amplo uso para distintos genótipos de sorgo sacarino. Os genótipos CMSXS647, CMSXS643 e CMSXS646 são os genótipos-elite de sorgo sacarino mais promissores, para a produção de etanol, levando em consideração, simultaneamente, o desempenho agrônomo e potencial fermentativo.

**Palavras-chave:** *Sorghum bicolor*. Levedura. Rendimento de açúcares e fermentação.

## ABSTRACT

The sweet sorghum crop [*Sorghum bicolor* (L) Moench] contains agroindustrial traits that turn it into an economic feedstock that is promising for the production of ethanol. The aim of this study was the evaluation of the agroindustrial performance and the maturation of elite genotypes of sweet sorghum, as well as the fermentative potential when it was submitted to two types of yeasts. The maturation curve experiments were performed during the seasons 2016/2017 in the localities of Lavras / MG, Sete Lagoas / MG, and Sinop / MT. The genotypes used were the lines: BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647 and the hybrids CV198, N31L5010, 201549B014, 201610B033, 201610B081, and 201610B095, which were harvested at 100, 107, 114, 121, 128, 135, and 142 days after sowing. The mensuration traits were: plant height, juice extraction, fresh biomass production, total soluble solids content, and tons of brix per hectare. The industrial use period (PUI) was 20 days, occurring between 110 and 130 days after sowing. The fermentation process was performed in the Laboratory of Physiology and Genetics of Microorganisms, in the Agricultural Microbiology sector of the Federal University of Lavras. It was measured the sugar consumption, performed by two *Saccharomyces cerevisiae* yeast (LNF Ca11 and BY) of the genotypes BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647, and 201459B014. These genotypes presented higher levels of total soluble solids content in maturation curve trials in Lavras. TSS levels were measured at baseline (T0) and 24 h (T24) after inoculation. The selective precision at the genotype level ranged from 90.25% to 98.31% in the maturation curve trials. Differences among genotypes were detected for all traits, emphasizing the genotypes BRS508, CMSXS646, and CMSXS647 for TSS. There was no interaction between genotypes and harvesting time. The BY yeast was the most effective considering the fermentation process. Whereas for the genotypes, the CMSXS647 presented the highest consumption relative to the TSS by the yeasts, meaning that this genotype and this yeast might be promising for the ethanol production. There was interaction between sorghum genotypes and yeasts. This fact evidenced the existence of specificity for fermentation purposes. Nevertheless, it was observed a superiority of the BY yeast that demonstrated the possibility of identification of yeasts with wide uses for different genotypes of sweet sorghum. The CMSXS647, CMSXS643, and CMSXS646 genotypes are the most promising sweet sorghum genotypes for ethanol production taking into consideration both agronomic performance and fermentative potential.

**Key words:** *Sorghum bicolor*. Yeast. Sugar yield and fermentation.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Representação gráfica das médias dos genótipos, em relação aos valores de SST (°Brix) no T0, quando em contato com as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11) e levedura de panificação (Baker Yeast – BY) marca Donna Benta. As barras indicam os erros padrões associados às médias. ....27
- Figura 2 - Representações gráficas das medias dos genótipos para caracteres agroindustriais. Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....33
- Figura 3 - Representação gráfica da resposta dos genótipos, quanto às características extração (EXT), teor de sólidos solúveis totais (°Brix), tonelada de brix por hectare (TBH), altura (ALT) e peso de massa verde (PMV), ao longo das diferentes épocas de colheita. A linha tracejada representa o ajuste da regressão, para a resposta média dos genótipos, em função das épocas de colheita.....36
- Figura 4 - Representação gráfica da discriminação dos genótipos, em relação ao consumo de açúcares, de acordo com as fermentações realizadas pelas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11) e levedura de panificação (Baker Yeast - BY) marca Donna Benta. Médias seguidas da mesma letra, em cada tipo de levedura, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As barras indicam os erros padrões associados às médias.....38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise conjunta dos caracteres agroindustriais: altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha <sup>-1</sup> ), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Lavras - MG, Sete Lagoas - MG e Sinop - MT.....	31
---	----

### APÊNDICE A

Tabela 1 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha <sup>-1</sup> ), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras - MG. ....	49
Tabela 2 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha <sup>-1</sup> ), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Sete Lagoas - MG.....	49
Tabela 3 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha <sup>-1</sup> ), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Sinop - MT. ....	50

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Melhoramento genético do sorgo sacarino</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Fenologia do sorgo sacarino</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Fermentação alcoólica para a produção de etanol</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Avaliação da curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino</b> .	<b>22</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Descrição dos locais</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Plano e condução dos experimentos</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Caracteres avaliados</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Análise Estatística</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Avaliação do ensaio de fermentação</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Descrição dos genótipos e leveduras</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Descrição do processo fermentativo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.2.1</b>	<b>Preparo do Inóculo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.2.2</b>	<b>Fracionamento do Inóculo</b> .....	<b>27</b>
<b>3.2.2.3</b>	<b>Lavagem das células</b> .....	<b>28</b>
<b>3.2.2.4</b>	<b>Fermentação</b> .....	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>28</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1</b>	<b>Curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2</b>	<b>Potencial fermentativo de genótipos-elite de sorgo sacarino</b> .....	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>
	<b>APÊNDICE A - TABELAS</b> .....	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os combustíveis fósseis são responsáveis por 82% das emissões de gases que causam o efeito estufa e possuem frequente oscilação do preço (JONKER et al., 2016). À medida que a demanda por combustíveis é crescente, há a necessidade de substituição de fontes derivadas do petróleo por fontes renováveis, a exemplo do etanol (TEIXEIRA et al., 2016). O Brasil se destaca como o segundo maior produtor deste biocombustível, com uma produção de 26,09 bilhões de litros, segundo levantamento da safra 2017/18 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2018).

No Brasil, a cadeia produtiva do etanol possui como principal matéria-prima a cana-de-açúcar, porque, na entressafra da cultura, há um período prolongado de ociosidade das usinas. Neste caso, para o incremento da produção de etanol, faz-se necessário explorar outras culturas com potencial bioenergético que possam preencher esta janela de colheita. O sorgo sacarino apresenta-se como uma cultura alternativa por possuir ciclo curto, podendo variar entre, aproximadamente 120 dias, para híbridos insensíveis ao fotoperíodo e 170 dias, para os híbridos fotossensíveis, sendo mecanizável do plantio à colheita, requerer menor quantidade de insumos quanto a outras culturas, plantio por sementes (5 a 7 kg.ha<sup>-1</sup>), tolerância a estresses abióticos e, especialmente, com potencial para a produção de etanol (3 mil a 6 mil L.ha<sup>-1</sup>), utilizando-se da mesma infraestrutura das usinas sucroalcooleiras (REGASSA; WORTMAN, 2014; SEMINÁRIO TEMÁTICO AGROINDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO PARA BIOETANOL, 2012).

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. A caracterização das curvas de maturação dos genótipos constitui-se um desses aspectos importantes, pois permite determinar o período de utilização industrial, o que está diretamente relacionado com o planejamento agroindustrial, como fornecimento e escalonamento de matéria-prima para o processamento nas usinas (PARRELLA et al., 2014; SOUZA et al., 2013). Outro aspecto desafiador, para o uso do sorgo sacarino, é a qualidade da matéria-prima. Os caracteres relacionados com a qualidade do caldo (e.g. teor de sólidos solúveis totais, teor de sacarose, teor de açúcares redutores) sofrem influência do estágio fenológico da cultura e das condições ambientais, (SCHAFFERT, 2010). Ademais, destaca-se que a qualidade do caldo tem relação direta com o processo de fermentação, o que impacta diretamente o rendimento de etanol.

A fermentação é viabilizada por microorganismos fermentadores ou leveduras, o que pode ser afetado por alguns fatores, especialmente, pela cultivar de sorgo sacarino e/ou linhagem de levedura utilizadas. Em culturas como a cana-de-açúcar, alguns estudos têm revelado a influência do clone ou da levedura utilizados no processo fermentativo (BATISTOTE et al., 2010; HOLLUPI et al., 2014; RIBEIRO et al., 2015). Em sorgo sacarino, há alguns estudos nesta linha de pesquisa (FERNANDES et al., 2014; NUANPENG et al., 2016; WIJAYA et al., 2018). Todavia, há a necessidade de investigar mais detalhadamente o efeito das leveduras e genótipos de sorgo sacarino e, especialmente, a interação entre esses fatores no processo fermentativo.

Ante o exposto, objetivou-se avaliar o desempenho agroindustrial e a curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino, bem como o potencial fermentativo quando submetidos a dois tipos de leveduras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Melhoramento genético do sorgo sacarino

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma planta de clima tropical, pertencente ao grupo das gramíneas (C4), cuja temperatura ideal para seu desenvolvimento oscila entre 16 e 38 °C, podendo ser cultivada em uma amplitude entre 375 e 625 mm de precipitação anual (RIBAS, 2009). A cultura do sorgo pode ser influenciável pelo fotoperíodo, o qual pode ser definido, de acordo com a resposta do desenvolvimento da planta à duração dos períodos de luz e de escuro, que afetam sua indução floral e crescimento final. Para a cultura do sorgo, há materiais genéticos que podem ser classificados como sensíveis ou insensíveis ao fotoperíodo. O sorgo sensível é uma planta de dias curtos, ou seja, floresce em períodos do ano com noites longas. Já materiais de sorgo considerados insensíveis florescem independentemente do comprimento do dia (PARRELLA et al., 2010).

O sorgo é uma cultura diploide autógama com número de cromossomos  $2n=20$ . Em virtude de sua importância para a agricultura, o melhoramento deverá ser constante, para que possam ser desenvolvidos híbridos agronomicamente superiores, além de alta produção e estabilidade das linhagens. Com a finalidade de maximizar a produção de biocombustíveis, a custo reduzido, o melhorista deve selecionar e desenvolver as melhores plantas para obter genótipos e híbridos de sorgo superiores (LEKGARI; DWEIKAT, 2014).

Num programa de melhoramento de sorgo, o ideótipo das cultivares, para a produção de etanol, é aquele que agrega alta produção de biomassa fresca com altos teores de sólidos solúveis no caldo, contribuindo para a uma produção de etanol de qualidade pelas boas práticas agrícolas e industriais (PARRELLA et al., 2016).

De acordo com Hallauer e Miranda Filho (1981), a escolha do germoplasma a ser utilizado é crítica e, em muitos casos, será a base do programa de melhoramento determinando o máximo potencial que poderá ser obtido. A Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, MG, dispõe de um banco de germoplasma com 7.225 acessos provenientes, principalmente, da Índia - ICRISAT e Estados Unidos – USDA (MARTINS NETTO, 2010).

O programa de melhoramento da Embrapa tem estabelecido metas de produtividade e qualidade como: produtividade mínima de biomassa de  $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , extração mínima de açúcar total de  $120 \text{ kg t}^{-1}$ , biomassa, considerando a extração de 90-95% conteúdo mínimo de açúcar total no caldo de 14%; produção mínima de etanol de  $60 \text{ l t}^{-1}$  biomassa, período de Utilização

Industrial (PUI) mínimo de 30 dias com extração mínima de açúcar total de 100 kg t<sup>-1</sup> biomassa (PARRELLA, 2011).

Inicialmente, os programas de melhoramento de sorgo visavam apenas à obtenção de linhagens. Todavia, com a descoberta da macho-esterilidade genético-citoplasmática, foi possível o desenvolvimento de híbridos e consequente aproveitamento da heterose (PFEIFFER et al., 2010; UMAKANTH et al., 2012). Do cruzamento entre uma linhagem macho estéril e uma linhagem fértil polinizadora é que são produzidos os híbridos de sorgo sacarino. A macho-esterilidade citoplasmática é uma característica que envolve genes mitocondriais, herdados maternalmente e restauradores da fertilidade de natureza nuclear, constituindo um sistema binário. No caso do sorgo, a macho-esterilidade genético-citoplasmática resulta da combinação de citoplasma Milo e genes Kafir (PARRELLA, 2011; PARRELLA; PARRELLA, 2011).

A linhagem macho-estéril, denominada “A”, é produzida pelo cruzamento de plantas macho-estéril com o pólen de uma linhagem denominada mantenedora “B”. As sementes produzidas pelo cruzamento entre as linhagens A e B resultarão em planta A (machos-estéreis) em razão do citoplasma estéril ter herdado da linhagem A, ou seja, a linhagem B não restaura a fertilidade na linhagem A. As linhagens A e B são isogênicas, mas diferentes na fertilidade do pólen pela presença de citoplasma normal (PARRELLA, 2011; PARRELLA; PARRELLA, 2011).

As sementes de híbridos são produzidas pelo cruzamento entre uma linhagem A e uma linhagem restauradora de fertilidade denominada “R”. Sementes produzidas desse cruzamento produzirão plantas machos-férteis, ou seja, a linhagem R restaura sobre a linhagem A pela presença de genes restauradores de fertilidade no núcleo. A linhagem R não é fenotipicamente similar à linhagem A, e a sua combinação deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento (PARRELLA, 2011; PARRELLA; PARRELLA, 2011).

A produção de sementes híbridas, em escala comercial, juntamente com a multiplicação da linhagem A, deve ser realizada em campos isolados, com a proporção de três fileiras da linhagem A, para uma fileira da linhagem R, buscando coincidência no período de florescimento das duas linhagens. A multiplicação da linhagem R deve ser feita em campo isolado, utilizando os mesmos procedimentos com linhas puras (PARRELLA, 2011; PARRELLA; PARRELLA, 2011).

Dessa forma, para a produção de sementes híbridas de sorgo sacarino, necessita-se de duas gerações, sendo uma para multiplicação das sementes das linhagens A e R,

separadamente e outra para produzir a semente híbrida de A com R (PARRELLA, 2011; PARRELLA; PARRELLA, 2011).

Quando comparadas as variedades, tem-se que os híbridos apresentam desempenho superior, para caracteres de importância na cultura do sorgo, como rendimento, menor sensibilidade ao fotoperíodo e florescimento mais precoce (REDDY; KUMAR; REDDY, 2010).

Em linhas gerais, os programas de melhoramento, visando à produção de híbridos de sorgo, abrangem etapas tais como: escolha da população-base, desenvolvimento de linhagens com alta capacidade de combinação para rendimento de açúcar no colmo, cruzamentos e avaliação dos híbridos obtidos (RAMALHO et al., 2012).

Tem-se que a escolha da população-base constitui-se a primeira etapa para a obtenção de linhagens. É imprescindível que tal população apresente alta média, com elevada proporção de alelos favoráveis já fixados, estando estes associados a uma elevada variabilidade genética (RAMALHO et al., 2012).

Os efeitos da capacidade de geral de combinação (CGC), diretamente relacionada à concentração de genes predominantemente aditivos e específica (CEC) pela concentração de genes de efeito basicamente não-aditivo (dominância e epistasia) de linhagens, têm sido muito adotados na cultura do sorgo sacarino, objetivando-se a seleção de genótipos superiores. A CGC tem utilidade, na indicação de genitores a serem usados em programas de melhoramento intrapopulacional, enquanto a CEC indica a existência ou não de dominância unidirecional e também da heterose varietal (CASTIGLIONI; OLIVEIRA; ARIAS, 1999; CRUZ; REGAZZI, 1994; CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989). Estas informações são úteis na escolha dos parentais e combinações híbridas que prosseguirão nas próximas etapas do melhoramento (PATERNIANI; CAMPOS, 1999).

Efetuada a escolha da população-base, o próximo passo consiste na realização de cruzamentos visando gerar variabilidade. Posteriormente, há a condução de gerações de autofecundação até a completa homozigose. Constituem-se em métodos mais comumente utilizados, na condução de gerações de autofecundação: método da população (Bulk), descendente de uma única semente (SSD) e genealógico (RAMALHO et al., 2012). Considerando a cultura do sorgo sacarino, tem-se que o método genealógico é o mais utilizado no desenvolvimento de linhagens com alta capacidade de combinação para a produção de híbridos pelos programas ICRISAT (SANDEEP et al., 2010; SRINIVASA et al., 2009) e Embrapa Milho e Sorgo.

Um aspecto importante, para a geração de híbridos, é partir de linhagens parentais superiores para os caracteres de interesse, especialmente àqueles relacionados com a produção de etanol. O rendimento de etanol é um caráter complexo certamente controlado por milhares de locos gênicos, além de sofrer influência de variados fatores ambientais. O sucesso de melhoramento, neste caso, depende da adoção de estratégia que permite o acúmulo gradativo dos alelos favoráveis destes genes, a exemplo da seleção recorrente (FERH, 1987; HALLAUER; MIRANDA FILHO, 1981).

A proposta de uso do método da seleção recorrente em sorgo foi descrita por Doggett (1972) e Doggett e Eberhart (1968), utilizando fonte de macho-esterilidade genética. Atualmente, este método está sendo aplicado em sorgo sacarino visando ao aumento do teor de sólidos solúveis totais (PARRELLA et al., 2016). Vale destacar que Lombardi (2016) mostrou que o rendimento em toneladas de Brix por hectare possui notável efeito direto sobre a produção de etanol.

Tem-se que a maioria dos caracteres importantes economicamente são influenciados pelas interações genótipos x ambientes. Desta maneira, para a seleção e recomendação dos melhores genótipos de sorgo, torna-se necessária a realização da avaliação do comportamento diferencial destas plantas nos vários ambientes (RAMALHO et al., 2012). É importante realçar que o uso de seleção assistida por marcadores moleculares possibilita uma aceleração, no desenvolvimento de novas cultivares, uma vez que o sequenciamento da cultura do sorgo sacarino possibilitou a descoberta de genes de interesse econômico (PATERSON et al., 2009).

## **2.2 Fenologia do sorgo sacarino**

O sorgo sacarino é uma planta de metabolismo C<sub>4</sub>, autógama e com altas taxas fotossintéticas. As cultivares de sorgo possuem como principais características o seu grande porte, sendo esta uma característica que merece destaque por ser muito importante na classificação dos diferentes tipos de sorgo. O controle dessa característica é realizado por quatro pares de genes principais (dw1, dw2, dw3 e dw4) que atuam, independentemente e de maneira aditiva, não afetando o número de folhas e a duração do período de crescimento. Possui alta produtividade de biomassa verde (60 a 80 t.ha<sup>-1</sup>), com altos rendimentos de etanol, com potencial de 3.000 a 6.000 l/ha. A produção de etanol por tonelada de massa verde é de 50 a 77 l, com açúcares totais recuperáveis (ATR), em torno de 80 a 127 kg de açúcar (MAGALHÃES et al., 2014; PARRELLA, 2011).

O sorgo apresenta três fases de crescimento: a vegetativa, a reprodutiva e o período de maturação dos grãos. A primeira etapa, vegetativa, estágio de crescimento 1 (EC1) inicia-se no plantio e prossegue até a iniciação da panícula. O crescimento inicial é lento sendo importantes a rapidez da germinação, emergência e estabelecimento da plântula (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2012).

Na fase seguinte (EC2), reprodutiva, compreende a iniciação da panícula até a antese (florescimento). Nesta etapa, há uma rápida alongação dos entrenós do colmo e grande expansão das folhas, o que acarreta em acúmulo de matéria seca até a maturação. Há vários processos que podem afetar o rendimento, durante essa etapa de crescimento pela redução da área foliar, do sistema radicular, da acumulação de matéria seca e do estabelecimento de um número potencial de sementes. Logo, o rendimento produtivo depende de um adequado controle das plantas daninhas, patógenos, água, nutrientes e luminosidade (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2012).

A terceira fase de crescimento (EC3), período que contempla desde a floração até a maturação fisiológica, caracteriza-se pela maturação dos grãos e senescência das folhas. É um estágio, em que há valores superiores de rendimento de açúcares, variando de 13 a 24° Brix e de açúcares totais recuperáveis (ATR), com amplitude de 80 a 127 kg de açúcar a variar conforme o genótipo. Essa etapa sobressai-se com relação às demais por possuir máximo acúmulo de matéria seca, maior índice de extração de açúcar, germinação, vigor da semente e constância da extração do caldo (ANDRADE; OLIVEIRA, 1988; KOLEMAN; STOLKES, 1964; REGASSA; WORTMAN, 2014). Em sorgo sacarino, durante esta fase, ocorre o acúmulo de açúcares no colmo, principalmente, na maturidade fisiológica dos grãos (TEIXEIRA et al., 1999).

A colheita do sorgo sacarino de forma tardia ocasiona uma redução dos teores de sólidos solúveis totais, em decorrência de uma competição por fotoassimilados, uma vez que, após o florescimento, o acúmulo de açúcares no colmo ocorre coincidindo com a fase de enchimento dos grãos nas panículas (ZEGADA- LIZARAZU; MONTI, 2012).

De acordo com Channappagoudar et al. (2007), os teores dos açúcares redutores e não redutores, utilizados em várias reações metabólicas e, como fonte de energia, começam a diminuir próximo ao estágio da maturação fisiológica dos grãos. Esses tipos de açúcares ocorrem, em ampla faixa de variação, conforme o genótipo e o estágio de desenvolvimento da planta de sorgo.

No que concerne ao acúmulo de açúcares no caldo no EC3, é correto proceder à caracterização dos genótipos-elite de sorgo sacarino, por meio de curvas de maturação.

Fernandes et al. (2014) avaliaram o comportamento das concentrações de açúcares (glicose, sacarose e frutose), nutrientes (N, Ca, Mg e P) e amido, no caldo de quatro cultivares de sorgo sacarino, durante seu período de maturação e observaram que as cultivares apresentaram diferentes concentrações de açúcares, período útil industrial e produtividade entre si, bem como entre as épocas de plantio, o que demonstra a influência das condições climáticas e das características de cada cultivar.

Já Martins (2014), ao estudar a curva de maturação e estabelecimento do Período de Utilização Industrial (PUI) de cinco cultivares de sorgo sacarino, obteve como resultados que as variedades apresentaram PUI superior a 30 dias, e os híbridos com PUI superior a 20 dias, sendo que o melhor período de colheita, considerando as características agroindustriais avaliadas, foi dos 100 aos 130 dias após a semeadura (d.a.s), com pico aos 113 dias, enquanto Souza et al. (2016) analisaram o desenvolvimento de sete cultivares de sorgo sacarino em dez diferentes épocas de colheita. Os resultados mostraram diferenças significativas entre os cultivares e a época de colheita para todas as características analisadas. A conclusão foi de que as concentrações de açúcares totais no caldo iniciam-se a partir do florescimento e aumentam ao longo das colheitas e, conseqüentemente, a produção de etanol.

### **2.3 Fermentação alcoólica para a produção de etanol**

Os processos fermentativos advindos da microbiologia e biotecnologia industrial constituem-se em ferramentas indispensáveis à produção bioenergética. O uso dessas tecnologias pelas indústrias permite que produtos abundantes como a biomassa vegetal sejam utilizados como combustíveis para a produção de bioetanol (ARISTIDOU et al., 2012).

O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial de bioetanol, a partir da cana-de-açúcar. Entretanto, em virtude das perspectivas de expansão do mercado interno e externo, verifica-se a necessidade de inclusão de novas fontes de matéria-prima para a obtenção do etanol.

Neste contexto, surge o sorgo sacarino. Trata-se de uma cultura adaptada a diversas condições agroclimáticas, o que permite seu cultivo em vários locais. Quando comparado a outras culturas como cana e milho, tem-se que o sorgo apresenta menor exigência de fertilizantes como o nitrogênio e melhor eficiência da água (MAGALHÃES; DURÃES; RODRIGUES, 2003). Dessa forma, sua produção de etanol por hectare em unidade de tempo é mais elevada (REDDY et al., 2005).

O sorgo sacarino tem estrutura que se assemelha à cana-de-açúcar possuindo colmos e nós. A extração do seu caldo é por prensagem. Este caldo possui coloração esverdeada, idêntica à coloração da própria cana-de-açúcar (RIBEIRO FILHO et al., 2008).

A extração do caldo do sorgo sacarino pode ser realizada com a mesma infraestrutura utilizada para a cana-de-açúcar (PARRELLA, 2011). É necessário desfibrar o sorgo, para facilitar a extração do caldo, pois deve-se destruir a resistência mecânica da parte dura e a ruptura das células (RIBEIRO, 2010). Para que o caldo possa ser fermentado, é necessário o seu processo de tratamento, com aquecimento, decantação e filtração, de forma semelhante à empregada com a cana (FERREIRA, 2015).

Fermentação alcoólica é a transformação química feita por organismos unicelulares denominados leveduras pela conversão de açúcares em álcool etílico (etanol) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>). A via fermentativa é a maneira mais importante para a produção de álcool no Brasil. É também o único meio de obtenção da aguardente genuinamente brasileira, a cachaça. Em todo o país, há um grande número de matérias-primas naturais como a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino que contribuem para a produção de etanol por fermentação de forma mais econômica para a obtenção (LIMA et al., 2001).

Explicando-se o processo fermentativo, em nível bioquímico, trata-se de um mecanismo que, a partir de açúcares ou outras moléculas orgânicas (aminoácidos, ácidos orgânicos, purinas e pirimidinas), como suprimento de energia para a manutenção e crescimento, libera energia. Não necessita de oxigênio. Utiliza uma molécula orgânica como acceptor final de elétrons. Produz pequena quantidade de ATP (adenosina trifosfato), para cada molécula de matéria inicial, por grande parte da energia original na glicose permanecer nas ligações químicas dos produtos orgânicos finais, como o ácido láctico ou o etanol (PÉTER; ROSA, 2005; TORTORA; FUNKE; CASE, 2012).

Do processo de fermentação, produz-se o álcool, a partir da conversão do açúcar presente no sorgo. Para atingir este objetivo, existe a necessidade de preparar o meio de cultura que é denominado mosto ou meio de fermentação. O mosto deve conter os nutrientes que as células necessitam, na proporção correta, para propiciar o desenvolvimento microbiano e favorecer a formação do produto que se deseja (LIMA et al., 2001).

As leveduras do gênero *Saccharomyces* são anaeróbicas facultativas e são as mais utilizadas, para a produção de etanol, por sua elevada eficiência no desdobramento de sacarose e na glicose e frutose presentes no mosto (PIMENTA; OLIVEIRA, 2010; STECKELBERG, 2001). Esse tipo de leveduras, por serem organismos de alta eficiência fermentativa, passa por seleção de cepas industriais com características adequadas ao

processo, como alta produção de etanol e tolerância a subprodutos produzidos (AMORIM, 2005).

Para o êxito da fermentação, é muito importante que as linhagens apresentem características fermentativas, tais como: boa eficiência fermentativa, elevada velocidade de fermentação, resistência a etanol; eficiência de conversão, resistência a pH baixo, resistência a antissépticos e estabilidade genética, para que as qualidades das leveduras sejam mantidas, durante sucessivos reúsos (MENEZES, 1980; SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2012).

Há diversos fatores que afetam a atividade das leveduras que, além de reduzirem o rendimento da fermentação, alteram a eficiência da conversão de açúcar em etanol. Tais fatores podem ser de origem química (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores), física (temperatura, pressão osmótica) e microbiológica (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana) (LIMA et al., 2001).

Neste estudo, procedeu-se à análise do comportamento de duas leveduras, cuja utilização no mercado é efetuada para fins distintos: *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11), já consolidada para a fermentação de bebidas alcoólicas e levedura comercial para panificação, aqui denominada Baker Yeast – (BY), cuja marca comercial é Donna Benta. O uso de tais leveduras justifica-se sob uma visão holística, em termos de pesquisa científica, uma vez que são materiais que permitem fazer inferência acerca do potencial fermentativo dos genótipos de sorgo sacarino para a produção de etanol.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Avaliação da curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino

##### 3.1.1 Descrição dos locais

Os experimentos, para a avaliação do desempenho agroindustrial de genótipos-elite de sorgo sacarino, em diferentes épocas de corte, foram realizados nos municípios de Lavras e Sete Lagoas, no Estado de Minas Gerais e no município de Sinop, no Estado do Mato Grosso. Os detalhes geográficos e edafoclimáticos das áreas experimentais nestas localidades são mostrados a seguir:

- a) Área experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária - Muquém da Universidade Federal de Lavras-UFLA, localizada no município de Lavras, a uma altitude de 932 metros, 21° 14' de latitude sul e 45° 00' de longitude oeste. O município de Lavras está situado ao Sul do estado, apresenta temperatura média anual de 19,4 e a precipitação pluviométrica média anual de 1.529,7 mm. O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é o CWA, temperado chuvoso, subtropical com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C.
- b) Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, cuja altitude é de 767 metros, localizada a 19° 27' de latitude sul e 44° 14' 49" de longitude oeste. Sete Lagoas está situada na região central do estado, apresenta temperatura média anual em torno de 23°C e precipitação pluvial média anual de 1403 mm. O clima, segundo a classificação climática de Köppen, é o CWA, temperado chuvoso com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média do mês mais quente superior a 23,6°C.
- c) Área experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sinop, cuja altitude é 384 metros, localizada a 11° 50' de latitude sul e 55° 38' de longitude oeste. Sinop está situada na região Norte do estado, apresenta temperatura média anual em torno de 24°C e precipitação pluviométrica média anual de 2000 mm. O clima, segundo classificação climática de Köppen, é o AW, tropical quente e úmido. O regime de chuvas é equatorial e caracteriza-se por um período seco no

inverno e um período chuvoso no verão, com temperatura média do mês mais quente superior a 26,6 °C.

### 3.1.2 Plano e condução dos experimentos

Foram avaliados oito genótipos-elite de sorgo sacarino pertencentes ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, situado em Sete Lagoas-MG, sendo seis insensíveis ao fotoperíodo: quatro linhagens (BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647) e dois híbridos (201549B014 - cuja planta utilizada como macho foi a linhagem BRS511), (201610B033 - planta utilizada como macho foi a linhagem CMSXS643) e dois híbridos sensíveis ao fotoperíodo: (201610B081, 201610B095), além de duas testemunhas insensíveis ao fotoperíodo, sendo uma pertencente à Monsanto (CV198) e a outra à Nexsteppe (N31L5010). Os experimentos ocorreram em sete épocas de corte (100, 107, 114, 121, 128, 135, 142 dias após a semeadura), para os municípios de Lavras e Sinop, enquanto em Sete Lagoas, em razão de um severo acamamento os cortes, foram cessados aos 128 dias. Os intervalos de corte ocorreram, a cada sete dias, realizados cerca de 3 a 5 cm do solo, determinados, a partir da semeadura em 25 de novembro de 2016, no município de Lavras, 20 de dezembro de 2016, em Sete Lagoas e 23 de novembro de 2016, em Sinop.

O preparo das áreas constituiu-se, basicamente, da aplicação prévia de herbicida para o controle das plantas daninhas estabelecidas na área. Posteriormente, foi realizada a sulcagem e simultânea adubação de plantio (350 kg.ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 8-28-16).

Os experimentos foram implantados, em faixas de oito linhas de 5,0 m, espaçadas entre linhas de 0,7 m por genótipo, em área sob cultivo mínimo. A densidade de plantio foi de 140.000 plantas.ha<sup>-1</sup>. Cada linha de 5,0 m de cada genótipo foi designada, para cada época de corte, constituindo a unidade experimental ou parcela.

Cerca de 10 a 15 dias, após a emergência das plântulas, foi realizado o desbaste, permitindo a manutenção de 42 plantas por fileira de 5 m. 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. Os experimentos foram conduzidos em condições de sequeiro.

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

### 3.1.3 Caracteres avaliados

Nos ensaios das curvas de maturação, foram mensurados os caracteres agronômicos e tecnológicos, conforme descrição a seguir:

- a) Florescimento (FLOR, dias) - anotou-se 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>) - foram 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) – determinou-se, 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) Extração de caldo (EXT, %) – Em Lavras e Sinop, foi extraído o caldo dos oito colmos das plantas amostradas aleatoriamente de cada parcela, por meio de moenda de um terno. A porcentagem de caldo extraído foi calculada pela razão entre o peso do caldo (kg) e o peso dos oito colmos (kg). Em Sete Lagoas, foi utilizado um desfibrilador para desintegrar os colmos. Posteriormente, retirou-se uma subamostra, em torno de 500g, para a extração do caldo em prensa hidráulica. A partir da pesagem do caldo extraído, calculou-se a extração, de acordo com a razão entre o peso do caldo (Kg) e o da subamostra (g);
- e) 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;
- f) Toneladas de Brix por hectare (TBH) – estimado pela seguinte expressão:  $TBH = PMV \times EXT / 100 \times SST / 100$ .

### 3.1.4 Análise Estatística

Realizou-se a análise de variância dos dados dos caracteres avaliados, em cada local, de acordo com o modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + g_i + c_j + e_{ij},$$

em que:  $y_{ij}$  é a observação da parcela que recebeu o genótipo  $i$  na época de corte  $j$ ;  $\mu$  é uma constante associada às observações;  $g_i$  é o efeito do genótipo  $i$ ;  $c_j$  é o efeito da época de corte  $j$ ;  $e_{ij}$  é o erro associado à observação  $y_{ij}$ ,  $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Foi realizado o teste da homogeneidade das variâncias dos erros, nos locais, pela estatística do  $F$  máximo de Hartley a 5% de probabilidade. A partir disto, procedeu-se à análise conjunta, de acordo com o modelo heterocedástico, via abordagem de modelos mistos, usando o pacote ASReml-R (GILMOUR et al., 2015):

$$y_{ijk} = \mu + l_k + g_i + c_j + gc_{ij} + e_{ijk},$$

em que:  $y_{ijk}$  é a observação da parcela no local  $k$  que recebeu o genótipo  $i$  na época de corte  $j$ ;  $\mu$  é uma constante associada às observações;  $l_k$  é o efeito do local  $k$ ;  $g_i$  é o efeito do genótipo  $i$ ;  $c_j$  é o efeito da época de corte  $j$ ;  $gc_{ij}$  é o efeito da interação do genótipo  $i$  com a época de corte  $j$ ;  $e_{ijk}$  é o erro associado à observação  $y_{ijk}$ ,  $e_{ijk} \sim N(0, \sigma_{ek}^2)$ .

A confiabilidade da seleção foi aferida pela estimação da acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007), enquanto a precisão experimental foi estimada pelo coeficiente de variação experimental (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

Mediante significância do teste  $F$ -Snedecor a 5% de probabilidade, foi aplicado o teste Scott-Knott (5%), para fins de agrupamento das médias ajustadas dos genótipos, usando o pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018). A análise de regressão foi realizada para descrição do efeito da época de corte sobre os caracteres estudados (RAMALHO et al., 2012). Representações gráficas foram feitas por meio do pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016). Todas as análises foram efetuadas no ambiente R (R CORE TEAM, 2018).

## 3.2 Avaliação do ensaio de fermentação

### 3.2.1 Descrição dos genótipos e leveduras

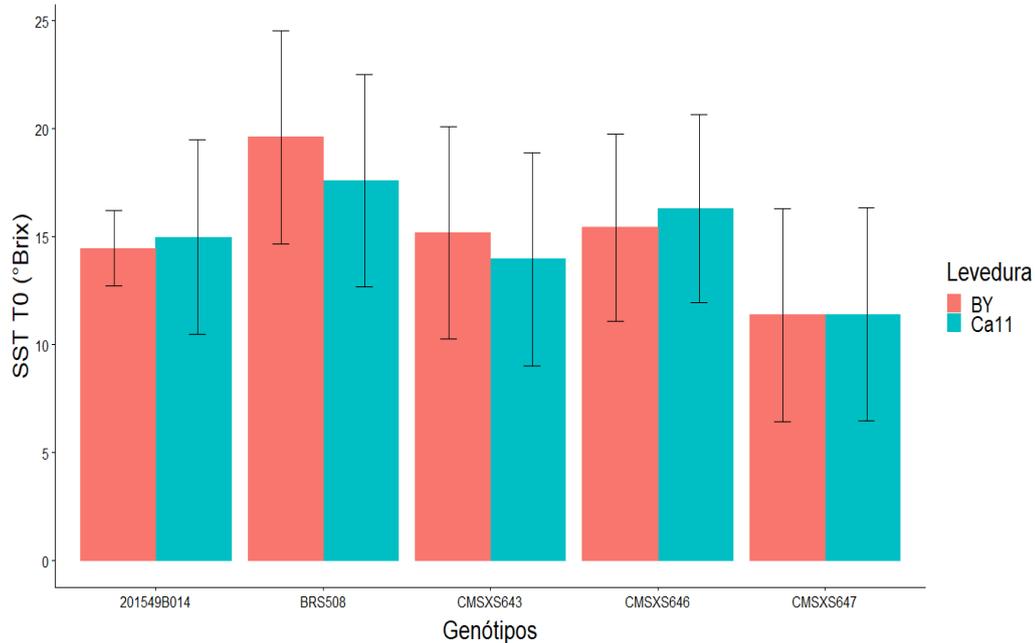
O experimento foi realizado no Laboratório de Fisiologia e Genética de Microorganismos, no setor de Microbiologia Agrícola da Universidade Federal de Lavras.

Foram avaliados os cinco genótipos-elite de sorgo sacarino BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647 e 201459B014, cujos valores de SST foram os mais elevados nas três últimas épocas de corte. Neste ensaio de fermentação, foram utilizadas amostras de caldo dos genótipos apenas do experimento de Lavras. Foram testadas duas leveduras de *Saccharomyces cerevisiae*: LNF Ca11, já consolidada na fabricação alcoólica de aguardente na cultura da cana-de-açúcar e a levedura utilizada na fabricação de pão, aqui denominada Baker Yeast, cujo nome comercial é a marca Donna Benta.

Foram coletados 100 ml de caldo de sorgo sacarino dos cinco genótipos, nas épocas de corte 128, 135 e 142 dias, após a semeadura. Tais amostras, nestas épocas, foram assumidas como repetição. O caldo foi acondicionado em freezer e, posteriormente, as amostras foram descongeladas, para o início da condução do experimento, conforme descrição a seguir.

As fermentações foram em duplicata por 24h a 28 °C, com amostragem no tempo inicial (T0) e, após 24h (T24), com volume de 10ml.

Figura 1 - Representação gráfica das médias dos genótipos, em relação aos valores de SST (°Brix) no T0, quando em contato com as leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11) e levedura de panificação (Baker Yeast – BY) marca Donna Benta. As barras indicam os erros padrões associados às médias.



Fonte: Do autor (2018).

### 3.2.2 Descrição do processo fermentativo

#### 3.2.2.1 Preparo do Inóculo

As leveduras liofilizadas de LNF Ca11 e de panificação foram ativadas em 100 ml cada em tubos erlenmeyer, em meio YEPG (Yeast Extract Peptone Dextrose), contendo 1% de extrato de levedura, 2% de glicose e 1,5% de ágar a PH 6,0. Os tubos foram incubados a 28°C sem agitação, ajuste de pH ou °Brix por 24 h.

#### 3.2.2.2 Fracionamento do Inóculo

A determinação da concentração de células da levedura foi obtida, por meio da contagem ao microscópio, utilizando-se uma Câmara de Neubauer. A concentração mínima de células das leveduras foi de  $10^7$  cel/mL. Para o cálculo, foi empregado o procedimento: o volume de cada quadrante é de  $0,1\text{mm}^3$  ou 1,0 mL; ao contar o número total de células de um quadrante, tem-se o número de células por  $1 \times 10^4$  mL. Neste estudo, foram efetuadas fermentações, em um volume global de 10 mL de caldo de sorgo sacarino, em duplicata. Foi

utilizada a fórmula: Concentração inicial ( $C_i$ ) x Volume inicial ( $V_i$ ) = Concentração Final ( $C_f$ ) x Volume final ( $V_f$ ) ( $C_i V_i = C_f V_f$ ), para determinar o volume de inóculo ( $V_i$ ) necessário, para inocular os 10 ml de sorgo ( $V_f$ ) com  $10^7$  cel/mL ( $C_f$ ), sendo que  $C_i$  foi determinada pela contagem do número de células na câmara de Neubauer.

### 3.2.2.3 Lavagem das células

O volume de células foi fracionado nos microtubos com tampa e centrifugado por cinco minutos a 7000 rpm e 4 °C. As células precipitaram e o sobrenadante foi descartado. Na primeira e segunda lavagem foram adicionados 10mL de água destilada estéril e colocada num vórtex para homogeneização. Efetuou-se novamente a centrifugação com descarte do sobrenadante.

### 3.2.2.4 Fermentação

As células foram transferidas, para 10mL de caldo de sorgo sacarino, em um tubo falcon com tampão. No Tempo inicial ( $T_0$ ), 1ml de amostra foi retirado e armazenado em microtubo estéril.

Os tubos foram fechados com papel filme e encubados a 28 °C por 24h. Após este período, 2ml foram retirados e guardados em refrigerador a -20 °C. As fermentações foram conduzidas em duplicata e amostragem, para aferição dos teores de sólidos solúveis totais (SST, °Brix), por meio do refratômetro de bancada com ajuste automático de temperatura, realizada nos tempos final ( $y_{t24}$ ) e inicial ( $y_{t0}$ ). Foi avaliado o consumo de açúcares ( $y_{t0/t24}$ ) do caldo a partir da expressão:

$$y_{t0/t24} = \frac{y_{t0} - y_{t24}}{y_{t0}} \times 100 \text{ .}$$

## 3.3 Análise estatística

Os dados do consumo de açúcares foram analisados de acordo com o modelo:

$$y_{ijm} = \mu + g_i + c_j + a_m + g a_{im} + e_{ijm},$$

em que:  $y_{ijm}$  é o consumo de açúcares do genótipo de sorgo sacarino  $i$  na época de corte  $j$  e inoculado com a levedura  $m$ ;  $\mu$  é uma constante associada às observações;  $g_i$  é o efeito do genótipo  $i$ ;  $c_j$  é o efeito da época de corte  $j$ ;  $a_m$  é o efeito da levedura  $m$ ;  $ga_{im}$  é o efeito interação entre o genótipo de sorgo  $i$  e a levedura  $m$ ;  $e_{ijm}$  é o erro associado à observação  $y_{ijm}$ , sendo  $e_{ijm} \sim N(0, \sigma_e^2)$ .

Mediante significância do teste F-Snedecor a 5% de probabilidade, foi aplicado o teste Scott-Knott (5%), para fins de agrupamento das médias ajustadas dos genótipos, usando o pacote ExpDes (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018) e as representações gráficas, utilizando o pacote ggplot2 (WICKHAM, 2016). As análises estatísticas foram realizadas no ambiente R (R CORE TEAM, 2018).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Curva de maturação de genótipos-elite de sorgo sacarino

Considerando-se as análises por local (APÊNDICE A), observaram-se diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre os genótipos de sorgo sacarino, para todos os caracteres e entre as épocas, para as características (EXT) e (SST) em Lavras, (PMV) e (TBH) em Sete Lagoas e (SST) e (PMV) em Sinop. Os valores do coeficiente de variação experimental (CVe) apresentaram flutuações entre os locais, tendo seus valores em Lavras (TABELA 1, APÊNDICE A) variando de 7,31% a 32,87%, Sete Lagoas (TABELA 2, APÊNDICE A) de 4,12% a 19,30% e em Sinop (TABELA 3, APÊNDICE A) de 5,51% a 21,87% para os caracteres EXT e TBH, respectivamente. Pode-se destacar que, em geral, os caracteres PMV, SST e TBH sofreram maior influência de fatores ambientais. Ressalta-se que o TBH é uma característica derivada de um índice multiplicativo, envolvendo outras variáveis, o que acarreta, invariavelmente, na multiplicação dos erros entre seus componentes e, como consequência, seus valores de CVe foram mais elevados.

Quando considerados os valores da acurácia nos três locais, observa-se que os seus valores foram expressivos, demonstrando que os cenários experimentais têm confiabilidade que permite a seleção (RESENDE; DUARTE, 2007). Em Sinop (TABELA 3, APÊNDICE A), as estimativas da acurácia variaram de 91,17% (TBH) a 98,38% (ALT), enquanto, para as localidades de Lavras (TABELA 1, APÊNDICE A) e Sete Lagoas (TABELA 2, APÊNDICE A), variaram entre 82,81% (ALT) a 95,16% (EXT) e 78,18% (TBH) a 96,06% (SST), respectivamente.

As análises multilocais foram realizadas, utilizando um modelo heterocedástico (TABELA 1), ponderando adequadamente as diferenças de precisões experimentais nos três ambientes. Foram detectadas diferenças ( $P < 0,05$ ) entre os locais e entre genótipos para todas as características mensuradas. O efeito da época de colheita foi significativo apenas para os caracteres PMV, EXT e SST. Já em relação à interação genótipos x épocas, observou-se que este efeito não foi significativo ( $P < 0,05$ ), para todos os caracteres, indicando que a resposta relativa dos genótipos foi coincidente ao longo das diferentes épocas de colheita.

Tabela 1 - Resumo da análise conjunta dos caracteres agroindustriais: altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha<sup>-1</sup>), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Lavras - MG, Sete Lagoas - MG e Sinop - MT.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS				
		ALT	PMV	EXT	SST	TBH
<b>Local</b>	2	54,25*	97,35*	1090,5*	54,5*	78,41*
<b>Época</b>	7	0,4	3,62*	7,17*	3,8*	1,77
<b>Genótipo</b>	9	26,21*	14,74*	15,67*	17,57*	5,81*
<b>Genótipo x Época</b>	63	0,97	1,22	0,48	0,82	0,82
<b>Erro Lavras</b>	54	0,15	203,15	17,87	3,35	1,77
<b>Erro Sete Lagoas</b>	45	0,06	97,39	11,14	3,68	1,13
<b>Erro Sinop</b>	63	0,05	191,08	11,55	8,00	0,84
<b>Média</b>		3,45	69,16	46,35	13,26	4,04

Fonte: Do autor (2018).

\*Significativo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

A existência de variação entre genótipos é fator preponderante, para viabilizar a seleção e ou identificação daqueles que apresentaram fenótipos desejáveis quanto aos caracteres-alvo de melhoramento em qualquer cultura. Na literatura, diversos trabalhos têm ratificado a existência de variabilidade genética em sorgo sacarino (ELANGO VAN et al., 2014; REGASSA; WORTMAN, 2014; ROCHA et al., 2018). No presente trabalho, apesar de se tratar de um conjunto restrito de genótipos-elite, as variações foram expressivas para os caracteres (FIGURA 2).

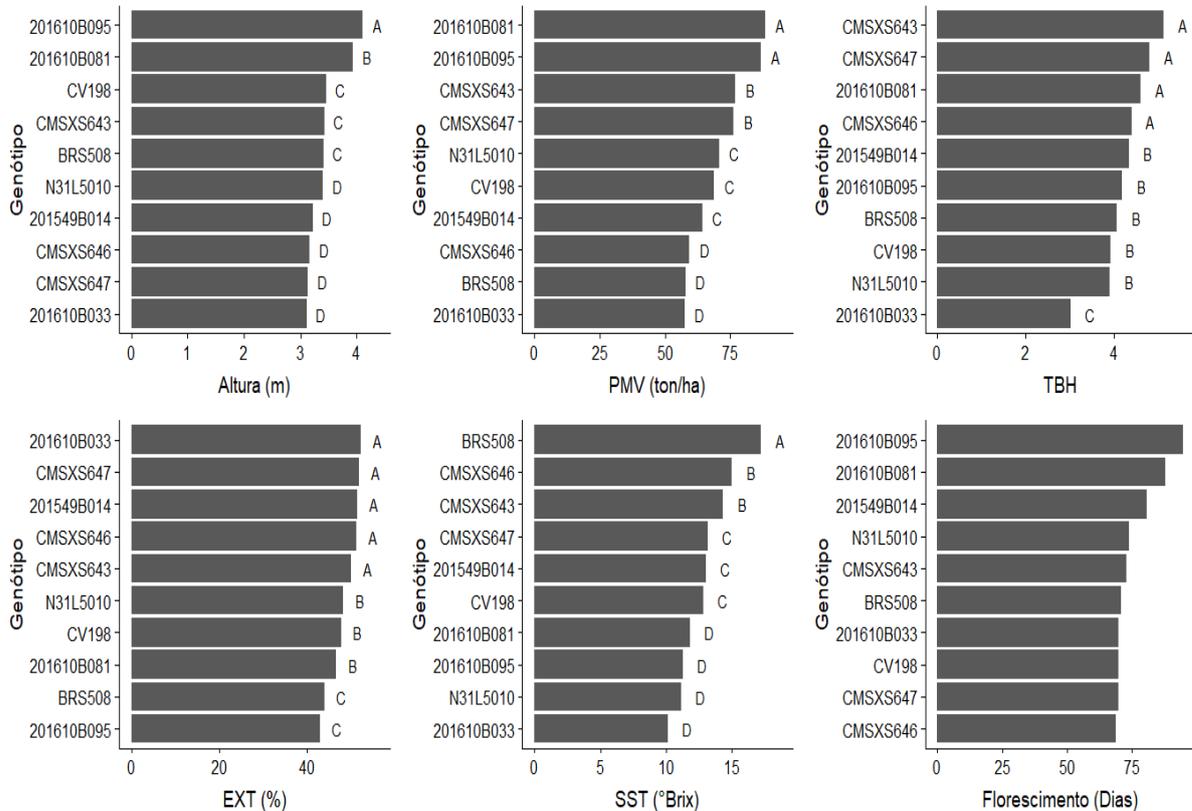
Pelo teste de Scott-Knott, foi possível discriminar os genótipos em grupos distintos quanto a todas as características avaliadas (FIGURA 2). Para ALT, houve a separação de quatro grupos, tendo-se destaque para os genótipos 201610B095 e 201610B081 de maior porte. A ALT é uma característica agrônômica fortemente associada com a produção de massa verde (LEITE et al., 2017), o que foi confirmado pelo destaque, em termos de PMV, para estes mesmos genótipos (FIGURA 2). Outro aspecto a ser realçado é que estes dois genótipos são sensíveis ao fotoperíodo, o que significa que, por possuírem um florescimento mais tardio (201610B081 – 88 dias; 201610B095 – 95 dias após a semeadura), demandam maior tempo para serem avaliados, o que contribui para o aumento da biomassa.

Concernente à percentagem de caldo extraído, os genótipos 201610B033, CMSXS647, 201549B014, CMSXS646 e CMSXS643 ficaram no grupo estatisticamente superior e dissimilar aos demais (FIGURA 2). Esta característica (EXT) está relacionada com o rendimento de caldo e eficiência do processo de extração. De forma complementar e de

extrema relevância, deve-se observar num genótipo-elite de sorgo sacarino a qualidade do caldo extraído. Esta é uma cultura com potencial bioenergético em cujo caldo extraído do colmo seja desejável e apresente elevado teor de açúcares, que, em último estágio, resultará em maior produtividade de etanol. Para esta característica (SST), o genótipo BRS508 foi o que mais se destacou, sendo seguido pelos genótipos CMSXS646 e CMSXS643 que ficaram no segundo grupo superior (FIGURA 2). A cultivar BRS508 tem sido reconhecida por apresentar altos teores de açúcares no caldo podendo atingir de 18 a 22,9 °Brix (PARRELLA; SCHAFFERT, 2012).

Em termos de seleção de genótipos de sorgo sacarino, é desejável que apresentem elevado rendimento de caldo rico em açúcares, o que pode ser retratado na forma de um índice natural (TBH) é derivado do produto dos caracteres PMV, EXT e SST, anteriormente descritos. Tal índice é semelhante ao que vem sendo praticado no melhoramento de cana-de-açúcar com o índice TPH (toneladas de sacarose por hectare). Vale, ainda, evidenciar que, em estudo de análise de trilha feito por Lombardi (2016), o TBH apresentou elevado efeito direto sobre o rendimento final em etanol, portanto sendo destacada sua utilidade para fins de seleção. Para o TBH, os genótipos foram separados, em três grupos dissimilares, tendo sido os genótipos CMSXS643, CMSXS647, 201610B081 e CMSXS646 os que apresentaram maior rendimento de açúcares, enquanto o genótipo 201610B033 foi o menos produtivo (FIGURA 2).

Figura 2 - Representações gráficas das medias dos genótipos para caracteres agroindustriais. Médias seguidas da mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Fonte: Do autor (2018).

Para a recomendação de genótipos superiores de sorgo sacarino, é indispensável a descrição da resposta em diferentes épocas de colheita. Apesar da interação genótipos x épocas ter sido não significativa, optou-se por apresentar as respostas de cada genótipo, ao longo das épocas (FIGURA 3), justificado pelas expressivas diferenças já anteriormente retratadas entre eles (FIGURA 2). Para a maioria dos genótipos, não houve variação significativa entre as épocas quanto aos caracteres ALT e PMV. Este fato é justificável, observando-se que os tempos de florescimento dos genótipos ocorreram, em média, antes de 100 dias após o plantio, o que conduz à redução progressiva do crescimento em termos de biomassa. Vale destacar novamente os genótipos 201610B095 e 201610B081, em que houve um crescimento continuado, por serem os fotossensíveis e, conseqüentemente, os mais tardios.

A porcentagem de caldo extraído decaiu linearmente ao longo das épocas de colheita (FIGURA 3). Em média, houve redução linear de 1,4 p.p. na EXT a cada 10 dias. Parrella e Schaffert (2012) obtiveram resultado semelhante, ao avaliarem cinco cultivares de sorgo

sacarino, em oito épocas de colheita. Os autores observaram, inicialmente, uma alta extração do caldo e posterior redução gradativa. Por outro lado, em geral, houve um acúmulo para SST quanto às épocas de colheita, destaque para a cultivar BRS508 (Equação:  $y = 6,9 + 0,09x$ ) que, mesmo antes dos 100 d.a.s, já havia atingido o valor de SST na casa dos 15 °Brix (sendo este considerado um valor mínimo recomendável para fermentação alcoólica). Tal fato pode estar relacionado à sua precocidade ao florescer (71 dias). Outros genótipos que chegaram ao patamar dos 15 °Brix foram: CMSXS643 (Equação:  $y = 14,5 + 3,73x + 1,0x^2$ ) aos 125 d.a.s, 201549B014 (Equação:  $y = 13,42 + 4,26x + 2,58x^2$ ), após 130 d.a.s e o genótipo CMSXS646 (Equação:  $y = 15,08 + 0,31x - 1,06x^2$ ) aos 105 d.a.s (FIGURA 3). Já os genótipos fotossensíveis tiveram o acúmulo de açúcares no colmo postergado (201610B081 - Equação:  $y = 12,2 + 4,26x + 0,62x^2$ ; 201610B095 - Equação:  $y = 11,7 + 3,58x + 0,92x^2$ ).

Pela edafologia do sorgo sacarino, tem-se que o acúmulo de açúcares no colmo inicia-se com o florescimento e acentua-se até o ponto de maturação fisiológica dos grãos (FERNANDES et al., 2014; TEIXEIRA; JARDINE; BEISMAN, 1997). Uma das maneiras de se aferir os SST (°Brix) ocorre, por meio da maturação dos grãos, como referencial de colheita. Teixeira (2017), ao estudar o ponto de colheita do sorgo sacarino, utilizando a cultivar BRS511 e tendo como tratamentos as épocas de amostragem da cultura, conforme seu estágio fenológico, teve como resultados que, para esta cultivar de sorgo sacarino, o ponto ideal de colheita é entre os estádios de grão pastoso ao duro, sendo este período considerado de maior chance para se obter um melhor rendimento industrial da cultura. Desta maneira, traçar a denominada curva de maturação, para cada genótipo, torna-se de extrema relevância, para fins de planejamento das atividades agroindustriais, tais como definição da época ideal de plantio e colheita, bem como o período de utilização industrial – PUI. Esse último representa o período em que a cultivar estará apta para a colheita no campo, mantendo os padrões mínimos de rendimento estabelecidos que viabilizem o cultivo (FERNANDES et al., 2014; RATNAVATHI et al., 2010; SOUZA et al., 2016). As curvas de maturação permitem avaliar a sequência de mudanças físico-químicas que ocorrem, durante a maturação, como a variação no teor de açúcares (sacarose, glicose e frutose), bem como um aumento na concentração de açúcares totais presentes no caldo. É importante ressaltar que, para fins econômicos, considera-se que os genótipos de sorgo sacarino devam conter níveis mínimos de açúcares totais em seus colmos (125g/L), para que a levedura possa convertê-los completamente em etanol. Industrialmente, tem-se que o PUI mínimo é de 30 dias, sendo representado o período no qual os teores de açúcares encontram-se superiores a 125 g/L (FERNANDES et al., 2014).

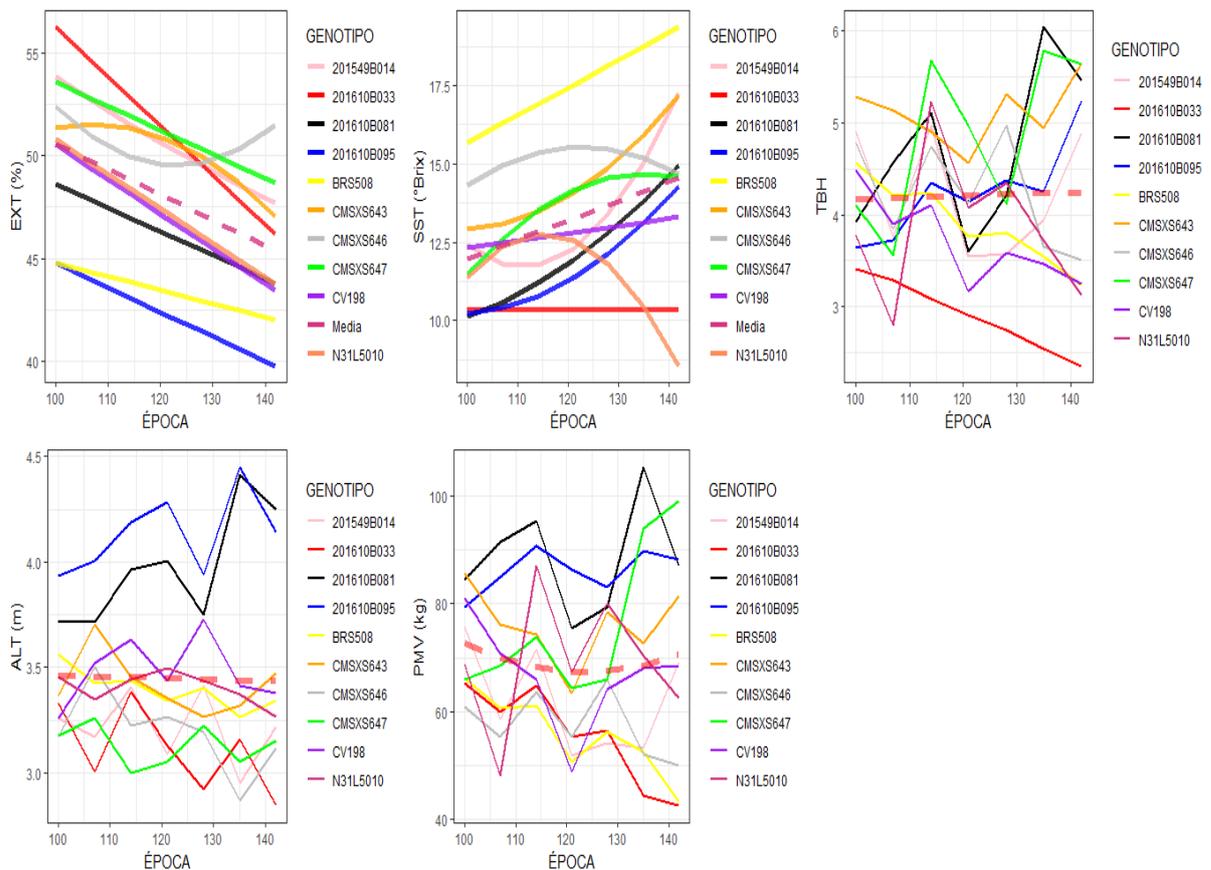
No que se refere ao TBH, em média, não houve variação ao longo das épocas. Este índice, como já comentado, é derivado dos caracteres PMV, EXT e SST. Portanto variações amostrais ocorridas nestes caracteres impactam diretamente a resposta no TBH. Quando analisado o PUI dos diferentes genótipos, por meio da Figura 3, nota-se que: o BRS508 é o material que apresenta o maior valor de SST, entretanto pode-se observar que este é um material de baixa extração, assim como o seu PMV tende a cair muito ao longo das épocas, indicando que seu ponto de colheita deverá ser mais precoce (100 a 120 d.a.s). Já os genótipos mais promissores, no presente estudo (CMSXS647, CMSXS643, CMSXS646), possuem ponto de colheita recomendável entre 110 e 130 d.a.s. Vale evidenciar o padrão de resposta do genótipo CMSX643, atingindo patamares de rendimento de açúcares favoráveis à exploração comercial. Enquanto isso, os genótipos N31L5010, CV198 e 201610B033 não foram produtivos, haja vista que não alcançaram um mínimo de 15° Brix. Entretanto há híbridos, como 201610B081 e 201610B095, que também não chegaram a esse patamar mínimo de SST, pois, como destacado anteriormente, trata-se de genótipos fotossensíveis que precisariam de mais tempo no campo, para serem avaliados, uma vez que são novos materiais e possuem ciclo longo (em torno de 170 dias). Já para o híbrido 201549B014 a recomendação do melhor momento de colheita seria após 130 d.a.s.

Em estudo realizado por Fiorini et al. (2017), com o genótipo BRS508, foi observado que as características PMV, produção de massa seca (PMS), volume de caldo, SST, teor de açúcares redutores totais (ATR) e toneladas de brix por hectare (TBH) foram influenciadas pelas épocas de colheita. Souza et al. (2016), ao analisarem as curvas de maturação de sete cultivares de sorgo sacarino, em dez diferentes épocas de colheita, verificaram que houve aumento nas concentrações de açúcar total e maior rendimento de etanol, ao longo das épocas, com destaque para os genótipos BRS508 e o CMSXS629 que apresentaram desempenho e produtividade satisfatórios com valores semelhantes aos obtidos, para a cana-de-açúcar, nas mesmas condições operacionais. Martins (2014), ao avaliar cinco cultivares de sorgo sacarino, sendo três linhagens (BRS508, BRS509, BRS511) e dois híbridos (XBW580147 e Sugargraze), considerando as características: florescimento, produção de massa verde, extração do caldo, sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, açúcares redutores e não redutores, teor de sacarose aparente, pureza aparente do caldo, fibra, açúcares totais recuperáveis, produção e produtividade de etanol e PUI, teve como resultados que as linhagens de sorgo foram agroindustrialmente superiores aos híbridos e com PUI superior a 30 dias, enquanto, para os híbridos, o PUI foi inferior aos 20 dias. Neste estudo, o autor

observou que o melhor período de colheita ficou entre 100 e 130 d.a.s, tendo picos aos 113 d.a.s.

Um aspecto interessante a ser ressaltado está relacionado às consequências do acamamento. Fernandes (2014), ao avaliar o acamamento em cultivares de sorgo, observou que, após o tombamento, as plantas continuavam concentrando açúcares por um período aproximado de sete dias e, a partir deste momento, a tendência é uma queda contínua dos açúcares, fato que inviabiliza a colheita. Segundo Biondo (2015), a ocorrência de acamamento, especialmente, no período anterior ao florescimento, retarda o acúmulo de açúcares no colmo.

Figura 3 - Representação gráfica da resposta dos genótipos, quanto às características extração (EXT), teor de sólidos solúveis totais ( $^{\circ}$ Brix), tonelada de brix por hectare (TBH), altura (ALT) e peso de massa verde (PMV), ao longo das diferentes épocas de colheita. A linha tracejada representa o ajuste da regressão, para a resposta média dos genótipos, em função das épocas de colheita.



Fonte: Do autor (2018).

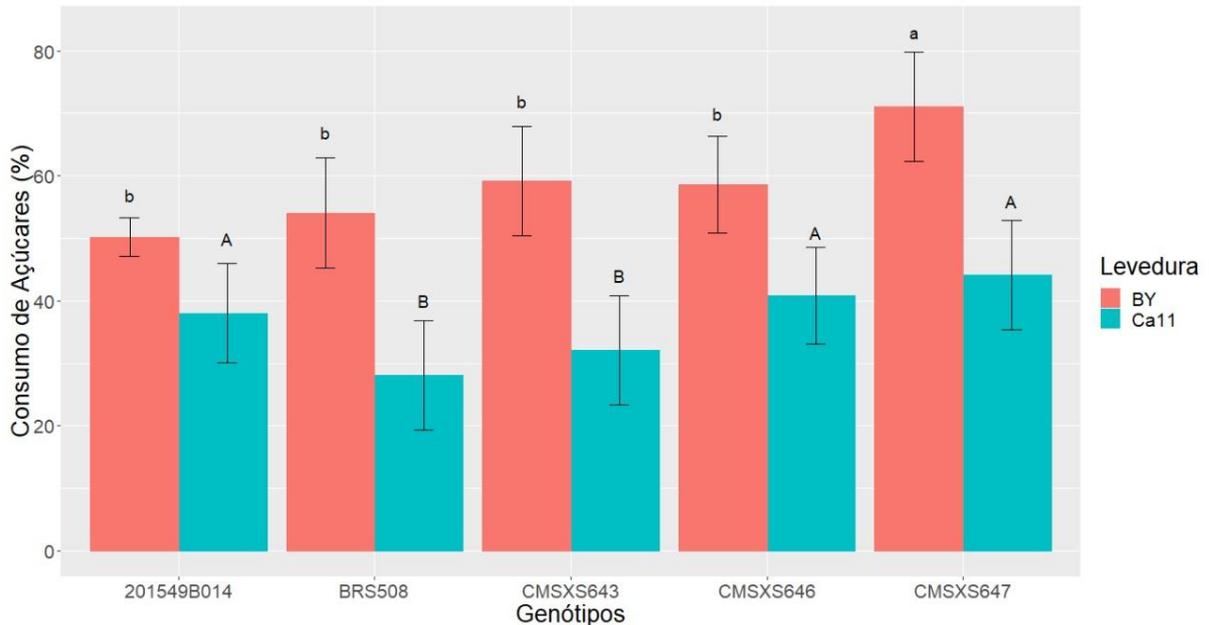
## 4.2 Potencial fermentativo de genótipos-elite de sorgo sacarino

Pela Figura 1, tem-se os valores médios de SST (°Brix), no qual se iniciaram os processos fermentativos. Pode-se observar que os genótipos tiveram seus valores médios de SST, no tempo inicial (T0), estatisticamente equivalentes ao valor recomendado (15 °Brix). Amorim, Schwan e Duarte (2016) estudaram o comportamento da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e observaram que este microorganismo proporcionou uma fermentação adequada na faixa de 14 a 18 °Brix.

Pela Figura 2, observa-se que os genótipos BRS508, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647 e 201459B014 se destacaram quanto ao teor de SST. Kawahigashi et al. (2013) salientaram que SST em sorgo sacarino está relacionado com a sacarose. Todavia, somente a determinação do teor de SST pode não ser suficiente, para atestar a qualidade do caldo, para a produção de etanol. Visando a uma caracterização mais próxima do potencial de genótipos, para a produção de etanol, torna-se relevante a determinação de seu potencial fermentativo, haja vista que a fermentação alcoólica é realizada pela ação de leveduras. Corroborando com este comentário, Cunha, Missawa e Pereira (2006) relatam que poucos estudos têm sido realizados acerca da fermentação usando o caldo de sorgo sacarino como matéria-prima.

No presente estudo, foram aferidos os teores de SST (°Brix), no denominado T0, quando houve o contato inicial de cada levedura com o mosto de sorgo sacarino e, após 24 horas, o denominado T24. Pelas análises estatísticas, observou-se efeito significativo do genótipo de sorgo sacarino e da levedura quanto ao consumo de açúcares (FIGURA 4). Pelo teste de Scott Knott, houve a formação de dois grupos distintos, em relação ao consumo de açúcares, para ambas as leveduras. A levedura Baker Yeast (BY) foi a mais eficiente, para todos os genótipos, destaque para o CMSXS647 que ficou em um grupo estatisticamente superior aos demais. A média geral de consumo de açúcar, para a levedura BY, foi de 58,6%, enquanto a levedura LNF Ca11 apresentou consumo médio de apenas 36,6%.

Figura 4 - Representação gráfica da discriminação dos genótipos, em relação ao consumo de açúcares, de acordo com as fermentações realizadas pelas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (LNF Ca11) e levedura de panificação (Baker Yeast - BY) marca Donna Benta. Médias seguidas da mesma letra, em cada tipo de levedura, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As barras indicam os erros padrões associados às médias.



Fonte: Do autor (2018).

Para maior eficiência do processo fermentativo, deve-se atentar para a escolha e avaliação dos microorganismos fermentadores que possam apresentar uma melhor adaptação às características tecnológicas do caldo da cultura. A levedura LNF Ca11 é muito utilizada na fabricação alcoólica para produção de aguardente na cultura da cana-de-açúcar (DUARTE; AMORIM; SCHWAN, 2013; TESFAW; ASSEFA, 2014). Portanto, teoricamente, esta seria inicialmente a levedura considerada mais promissora para a produção de etanol. Todavia a levedura de panificação sobressaiu-se, neste experimento, demonstrando que se deve atentar à busca de microorganismos mais adequados, para a cultura de interesse, independente de outros usos comerciais.

Considerando-se o cenário atual da produção de etanol, a partir da cultura da cana-de-açúcar, as linhagens de levedura CAT-1 e PE-2 foram, durante as décadas de 1990 e 2000, responsáveis por quase 60% da produção total no Brasil. No entanto a composição do substrato fermentativo foi bastante modificada a partir do ano de 2010. Essa mudança pode ser explicada pela proibição da queimada da cana (prática comum à época de isolamento dessas linhagens), a partir de 2009, aliada à tendência do mercado a produzir mais açúcares, bem como o surgimento de novas lavouras de cana desenvolvidas. Tais fatos têm como

consequência que cepas isoladas estão se tornando menos adaptadas ao processo e sendo substituídas por novas leveduras selvagens na maioria das usinas de etanol. Em razão deste novo cenário, tem-se que o isolamento de novas leveduras melhor adaptadas com características fermentativas melhoradas ainda é um grande desafio (PAULINO et al., 2018).

Pela Figura 4, nota-se que o genótipo CMSXS647 apresentou maior consumo relativo de açúcares (71,11%), mostrando-se promissor para a produção de etanol, seguido pelos genótipos CMSXS643 (59,2%), CMSXS646 (58,5%), BRS508 (54,1%) e 201549B014 (50,2%). Vale ainda destacar a existência de interação genótipos x leveduras, evidenciando a interdependência ou especificidade, nestas combinações genótipo x levedura, quanto ao consumo de açúcares, sem, contudo, promover alterações na ordenação.

Há vários fatores que podem influenciar, na resposta diferenciada de genótipos de sorgo sacarino quanto à levedura utilizada. Um deles pode estar relacionado à composição nutricional do caldo dos genótipos de sorgo sacarino testados. Neste trabalho, não foram realizadas análises dos componentes nutricionais da cultura do sorgo sacarino, mas alguns estudos têm destacado a variação em componentes do caldo do sorgo sacarino.

O caldo de sorgo sacarino possui, em sua composição, açúcares tais como glicose, frutose, sacarose, bem como outros compostos, a exemplo de amido, aminoácidos, proteína bruta, fósforo e elementos minerais em menores quantidades. É importante frisar que, em se tratando de culturas biológicas, a concentração destes componentes, no caldo do sorgo sacarino, depende de outros aspectos, como o genótipo utilizado, maturidade e tempo de colheita (CHAVAN; PATIL; SHINDE, 2009; HUNSIGI; YEKKELI; KONGAWAD, 2010). Simeone et al. (2017) avaliaram a curva de maturação de oito genótipos de sorgo sacarino (BRS 508, BRS 509, BRS 511, CMSXS643, CMSXS646, CMSXS647, CV 198, CV 568). Os resultados mostraram que os principais componentes do caldo de sorgo sacarino são açúcares solúveis, cujas concentrações de glicose, sacarose e frutose variam bastante. Os autores observaram, ainda, que houve mudança, em relação aos perfis de açúcar, de acordo com o estágio de desenvolvimento do sorgo e o genótipo analisado. O efeito da época de colheita sobre a qualidade tecnológica do caldo, também, foi relatado por Ferreira (2015), destacando o aumento no teor de fenóis, tendo, portanto reflexo sobre o processo fermentativo.

De acordo com Berthels et al. (2004), a concentração final de etanol depende das concentrações de sacarose, glicose e frutose no caldo de fermentação, uma vez que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* tem preferência ao consumo de sacarose e glicose em detrimento da frutose. Fernandes et al. (2014), ao estudar o comportamento das concentrações de açúcares (glicose, sacarose e frutose), no caldo de quatro cultivares de sorgo sacarino

(BRS506, BRS508, BRS509 e BRS511), durante seu período de maturação, obtiveram o resultado que a cultivar BRS508 foi a que apresentou as maiores concentrações de açúcares totais. Yuvraj et al. (2013) estudaram a composição química do caldo de dois genótipos de sorgo sacarino (RSSV 9 e CSH 22SS), fermentados por *Saccharomyces cerevisiae* (variedade *ellipsoideus*), avaliados sob dois sistemas: fermentador de laboratório e frascos agitados. Os autores relataram que as maiores concentrações de etanol foram produzidas, a partir do genótipo RSSV9, pela concentração significativamente maior de sacarose (152,20 g/L) e açúcar total no caldo, menores açúcares redutores (29,72 g/L), maior frutose total (91,48 g/L) e menor teor de compostos fenólicos totais (141,50 mg) em relação ao genótipo CSH 22SS.

Em estudo realizado por Freita et al. (2014), foram investigadas as características químico-tecnológicas de três genótipos de sorgo sacarino (CVSW80007, CVWS80147 e BRS610), ao longo de seis épocas de colheita (100, 105, 110, 118, 135 e 160 dias após a semeadura). Foram avaliadas características, como teor de SST (°Brix), açúcares redutores totais (ART), pH, acidez total, compostos fenólicos totais e teor de amido do suco extraído. As melhores respostas dos genótipos, considerando-se tais características químico-tecnológicas, ocorreram entre 118 e 135 d.a.s. Neste estudo, os autores citam que os resultados obtidos estão, de forma geral, dentro do que é considerado adequado ao processo fermentativo, com faixa de pH ótimo para o crescimento das leveduras de 4,5 a 6,5. Os níveis médios dos compostos fenólicos foram significativamente maiores aos 118 e aos 160 d.a.s. Os autores relataram que o comportamento dos genótipos pode estar de acordo com a resposta fisiológica da cultura às condições ambientais predominantes, nestes períodos de tempo, como: baixa pluviosidade, baixos níveis de armazenamento de água no solo e grande déficit hídrico combinado com altas temperaturas médias.

Em linhas gerais, ao recomendar genótipos potenciais de sorgo sacarino, para a produção de etanol, devem-se considerar caracteres agrônômicos e de qualidade associados ao caldo. Para este último, é necessário fazer a avaliação do potencial fermentativo, o que envolve o uso de mais um fator biológico, ou seja, o microrganismo fermentador. A existência de interações entre genótipos de sorgo e leveduras torna a seleção mais complexa, mas, por outro lado, possibilita selecionar e ou identificar leveduras que possam ter amplo uso, para diferentes genótipos, ou mesmo àquelas de uso mais específico. A avaliação do potencial fermentativo efetuada, no presente trabalho, tem utilidade para fazer um screening inicial dos genótipos, contudo, faz-se necessário associar a avaliação da composição nutricional do caldo dos genótipos testados, para pormenorizar melhor os fatores, que podem influenciar a interação em questão.

## 5 CONCLUSÕES

Os genótipos CMSXS647, CMSXS643 e CMSXS646 são os genótipos-elite de sorgo sacarino mais promissores, para a produção de etanol, considerando-se, simultaneamente, o desempenho agrônômico e o potencial fermentativo.

Estimando-se as características agroindustriais avaliadas neste estudo, o período útil industrial (PUI) foi de 20 dias, ocorrendo entre 110 e 130 dias após a semeadura.

A interação genótipos de sorgo sacarino x leveduras permite a identificação de leveduras mais apropriadas, para a fermentação, com destaque ao melhor consumo de açúcares apresentado pela levedura BY.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V. **Fermentação alcoólica**. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.
- AMORIM, J. C.; SCHWAN, R. F.; DUARTE, W. F. Sugar cane spirit (cachaça): effects of mixed inoculum of yeasts on the sensory and chemical characteristics. **Food Research International**, Barking, v. 85, p. 76-83, July 2016.
- 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.
- ARISTIDOU, A. A. et al. Conversion of renewable resources to biofuels and fine chemicals: current trends and future prospects. In: EL-MANSI, E. M. T. et al. (Ed.). **Fermentation microbiology and biotechnology**. 3. ed. New York: CRC Press, 2012. p. 225- 262.
- BATISTOTE, M. et al. Desempenho de leveduras obtidas em indústrias de Mato Grosso do Sul na produção de etanol em mosto a base de cana-de-açúcar. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 32, n. 2, p. 83-95, 2010.
- BERTHELIS, N. J. et al. Discrepancy in glucose and fructose utilization during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast. **FEMS Yeast Research**, Amsterdam, v. 4, n. 7, p. 683–689, May 2004.
- BIONDO, J. C. **Parâmetros qualitativos e maturação de genótipos de sorgo sacarino em Santa Maria- RS**. 2015. 36 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CASTIGLIONI, V. B. R.; OLIVEIRA, M. F. de; ARIAS, C. A. A. Análise da capacidade combinatória entre linhagens de girassol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 981-988, jun. 1999.
- CHANNAPPAGOUDAR, B. B. et al. Assessment of sweet sorghum genotypes for cane yield, juice characters and sugar levels. **Karnataka Journal of Agriculture Sciences**, Índia, v. 20, n. 2, p. 294-296, 2007.
- CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V.; SHINDE, M. S. An assessment of sweet sorghum cultivars for ethanol production. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 11, n. 4, p. 319–323, Dec. 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Observatório agrícola. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 1-62, 2018.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Ed. UFV, 1994. 390 p.
- CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 567-580, 1989.

- CUNHA, A. F. da; MISSAWA, S. K.; PEREIRA, G. A. G. Industrial potential of yeast biotechnology in the production of bioethanol in Brazil: the example of conditional flocculation. In: ROSSEL, C. E. V. **Industrial perspectives for bioethanol**. São Paulo: Ed. Telma Franco, 2006. chap. 4, p. 59-75.
- DOGGET, T. H. The improvement of sorghum in East Africa. In: RAO, N. G. P.; HOUSE, L. R. (Ed.). **Sorghum in seventies**. New Delhi: IBH Publishing, 1972. p. 47-59.
- DOGGET, T. H.; EBEHART, S. A. Recurrent selection in sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 8, n. 1, p. 119-121, 1968.
- DUARTE, W. F. et al. Fermentative behavior of *Saccharomyces* strains during microvinification of raspberry juice (*Rubus idaeus* L.). **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 143, n. 3, p. 173-182, Oct. 2010.
- DUARTE, W. F.; AMORIM, J. C.; SCHWAN, R. F. The effects of co-culturing non-*Saccharomyces* yeasts with *Saccharomyces cerevisiae* on the sugar cane spirit (cachaça) fermentation process. **Antonie van Leeuwenhoek**, Wageningen, v. 103, n. 1, p. 175-194, Jan. 2013.
- ELANGOVA, M. et al. Genetic diversity and heritability characters associated in sweet sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 200-210, Apr. 2014.
- FERH, W. R. **Principles of cultivars development**. New York: Mac Millan, 1987. 536 p.
- FERNANDES, G. **Avaliação e caracterização agroindustrial do sorgo sacarino visando a produção de etanol**. 2014. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- FERNANDES, G. et al. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for four varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, Oxford, v. 71, p. 518-524, Nov. 2014.
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. **Applied Mathematics**, New York, v. 15, n. 19, p. 2952-2958, Nov. 2014.
- FERREIRA, O. M. **Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento enzimático**. 2015. 79 p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.
- FIORINE, I. V. A. et al. Plants population and harvesting times influence in saccharine sorghum BRS 506 production. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 9, n. 4, p. 33-46, dez. 2017.
- FREITA, L. A. de et al. Chemico-technological parameters and maturation curves of sweet sorghum genotypes for bioethanol production. **African Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 9, n. 50, p. 3638-3644, 2014.

- GILMOUR, A. R. et al. **ASReml a statistical package that fits linear mixed models using Residual Maximum Likelihood (REML)**. United Kingdom: Biometrics Program of NSW Department of Primary Industries and the Biomathematics Unit of Rothamsted Research, 2015.
- HALLAUER, A. R.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University, 1981. 468 p.
- HOLLUPI, N. T. et al. Produção de etanol utilizando melaço proveniente de cana infestada por broca. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 6, n. 1, p. 178-182, 2014. Suplemento.
- HUNSIGI, G.; YEKKELI, N. R.; KONGAWAD, B. Y. Sweet stalk sorghum: an alternative sugar crop for ethanol production. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 12, n. 1, p. 79–80, Mar. 2010.
- JONKER, J. G. G. et al. Supply chain optimization of sugarcane first generation and eucalyptus second generation ethanol production in Brazil. **Applied Energy**, London, v. 173, p. 494-510, July 2016.
- KAWAHIGASHI, H. et al. Evaluation of Brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. Japan: **Grassland Science**, Tochigi, v. 59, n. 1, p. 11-19, Mar. 2013.
- KOLEMAN, O. H.; STOKES, L. E. **Storage studies of sorgo**. Washington: Agriculture Research Service, 1964. 54 p.
- LEITE, P. S. S. et al. Association among agro-industrial traits and simultaneous selection in sweet sorghum. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.
- LEKGARI, A.; DWEIKAT, I. Assessment of genetic variability of 142 sweet sorghum germplasm of diverse origin with molecular and morphological markers. **Open Journal of Ecology**, Irvine, v. 7, n. 4, p. 371-393, May 2014.
- LIMA, U. A. et al. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. v. 2, 560 p.
- LOMBARDI, G. M. R. **Heterose em sorgo sacarino em diferentes épocas de colheita**. 2016. 67 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- MAGALHÃES, P. C. et al. Sorgo do Plantio à colheita. In: BORÉM, A. (Org.). **Exigências edafoclimáticas e fisiologia da produção**. Viçosa: Ed. UFV, 2014. p. 58-88.
- 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).
- \_\_\_\_\_. **Fisiologia da planta de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 4 p.
- MARTINS NETTO, D. A. M. **Coleção de base e coleção ativa: banco de germoplasma de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 27 p.

- MARTINS, A. M. **Período de utilização industrial de cultivares de sorgo sacarino visando a produção de etanol na região central de Minas Gerais**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João Del Rey, Sete Lagoas, 2014.
- MENEZES, T. J. B. **Etanol, o combustível do Brasil**. São Paulo: Agrônoma Ceres, 1980. 233 p.
- NUANPENG, S. et al. Ethanol production from sweet sorghum juice at high temperatures using a newly isolated thermotolerant yeast *Saccharomyces cerevisiae* DBKKUY-53. **Energies Journal**, Basel, v. 9, p. 109-129, 2016.
- PARRELLA, R. A. C. et al. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Milho e Sorgo, 28).
- \_\_\_\_\_. **Desenvolvimento de populações de sorgo sacarino de cruzamento ao acaso para seleção recorrente intrapopulacional**. Sete Lagoas: Embrapa, 2016. 7 p. (Circular Técnica, 217).
- \_\_\_\_\_. Sorgo do plantio à colheita. In: BORÉM, A. (Org.). **Cultivares**. Viçosa: Ed. UFV, 2014. p. 169-187.
- PARRELLA, R. A. C. Melhoramento genético do sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 8-9, ago. 2011.
- PARRELLA, R. A. C.; PARRELLA, N. N. L. D. Produção de sementes de sorgo sacarino. **Revista Agroenergia**, Brasília, v. 2, n. 3, p. 14-15, ago. 2011.
- PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Cultivares. In: MAY, A. et al. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino bioetanol Sistema BRS1G - Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p. 14-22.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Ed. UFV, 1999. p. 429-485.
- PATERSON, A. et al. The Sorghum bicolor genome and the diversification of grasses. **Nature**, London, v. 457, n. 7229, p. 551-556, Jan. 2009.
- PAULINO, J. S. et al. Improvement of Brazilian bioethanol production – challenges and perspectives on the identification and genetic modification of new strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated during ethanol process. **Fungal Biology**, Oxford, v. 122, n. 6, p. 583-591, June 2018.
- PÉTER, G.; ROSA, C. A. (Ed.). **Biodiversity and ecophysiology of yeasts**. New York: Springer-Verlage Berlin Heidelberg, 2005. 580 p.
- 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./Oct. 2010.

PIMENTA, G. G.; OLIVEIRA, L. R. R. **Produção de etanol**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Faculdade de Tecnologia de Montes Claros, Montes Claros, 2010.

PIMENTEL-GOMES, F. P.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical, 2018.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p.

RATNAVATHI, C. V. et al. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 34, n. 7, p. 947-952, July 2010.

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

REDDY, B. V. S.; KUMAR, A. A.; REDDY, P. S. Recent advances in Sorghum Improvement Research at ICRISAT. **Natural Science**, Copenhagen, v. 44, n. 4, p. 499-506, July 2010.

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.

RESENDE, M.; DUARTE, J. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

RIBAS, P. M. **Importância econômica: cultivo do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 73 p.

RIBEIRO FILHO, N. M. et al. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 9-16, jun. 2008.

RIBEIRO, C. B. et al. Fermentação alcoólica do caldo da cana: parâmetros operacionais de respostas no processo. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, p. 465-472, 2015.

RIBEIRO, E. J. **Fermentação Alcoólica. Processamento na Indústria Sucroalcooleira**. Uberaba: FAZU, 2010. Apostila Módulo II.

ROCHA, M. J. et al. General and specific combining ability in sweet sorghum. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 365-372, out./dez. 2018.

SANDEEP, R. G. et al. Parental combining ability as a good predictor of productive crosses in sweet sorghum [*sorghum bicolor* (L.) Moench]. **Journal of Applied and Natural Science**, Berlin, v. 2, n. 2, p. 245-250, 2010.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e etanol**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 637 p.

SCHAFFERT, R. E. **Sorgo na produção de etanol**. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p.

SEMINÁRIO TEMÁTICO AGROINDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE SORGO SACARINO PARA BIOETANOL, 1., 2012, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 68 p.

SIMEONE, M. L. F. et al. Near infrared spectroscopy determination of sucrose, glucose and fructose in sweet sorghum juice. **Microchemical Journal**, New York, v. 134, p. 125-130, 2017.

SOUZA, R. S. et al. Maturation curves of sweet sorghum genotypes. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 1, p. 46-56, jan./fev. 2016.

SOUZA, V. F. et al. Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 13, p. 144-151, jul. 2013.

SRINIVASA, R. P. et al. **Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement**. Patacheru: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2009. 80 p. (Information Bulletin, 77).

STECKELBERG, C. **Caracterização de leveduras de processos de fermentação alcoólica utilizando atributos de composição celular e características cinéticas**. 2001. 215 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química de Campinas, Campinas, 2001.

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.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; BEISMAN, D. A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em micro destilaria. **Revista Ciência e Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 248-251, set./dez. 1997.

TEIXEIRA, T. P. M. **Estudo da maturação e ponto de colheita em materiais de sorgo destinados à bioenergia**. 2017. 85 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

TEIXEIRA, V. et al. Efeito da temperatura na microbiota na fermentação alcoólica. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, nesp., v. 8, p. 1-5, 2016.

TESFAW, A.; ASSEFA, F. **Current trends in bioethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*: substrate, inhibitor reduction, growth variables, coculture, and immobilization**. Ethiopia: International Scholarly Research Notices, 2014. 11 p.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. 967 p.

UMAKANTH, A. V. et al. Combining ability and heterosis over environments for stalk and sugar related traits in sweet sorghum. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 14, n. 3, p. 237-246, Sept. 2012.

WICKHAM, H. ggplot2: elegant graphics for data analysis. **Journal of Statistical Software**, New York, v. 77, p. 1-3, Apr. 2016.

WIJAYA, H. et al. Repeated ethanol fermentation from membrane – concentrated sweet sorghum juice using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* F 118 Strain. **Bioresource Technology Journal**, Barking, v. 265, p. 542-547, Oct. 2018.

YUVRAJ, R. K. et al. Chemical composition of sweet sorghum juice and its comparative potential of different fermentation processes for enhanced ethanol production. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 15, n. 3, p. 305-310, Sept. 2013.

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

## APÊNDICE A - TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha<sup>-1</sup>), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino em Lavras - MG.

QUADRADOS MÉDIOS						
FV	GL	ALT	PMV	EXT	SST	TBH
<b>Genótipo</b>	9	0,42*	1014,76*	94,67*	39,65*	6,97*
<b>Época</b>	6	0,11	106,11	191,53*	13,74*	1,27
<b>Erro</b>	54	0,13	248,57	8,92	3,951	1,76
<b>Média</b>		3,71	85,30	40,25	11,76	4,04
<b>r<sup>2</sup>g</b>		82,81%	86,89%	95,16%	94,88%	86,43%
<b>CVe</b>		9,72%	18,48%	7,31%	16,89%	32,87%

\*Significativo, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 2 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha<sup>-1</sup>), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Sete Lagoas - MG.

QUADRADOS MÉDIOS						
FV	GL	ALT	PMV	EXT	SST	TBH
<b>Genótipo</b>	9	0,44*	663,45*	91,20*	16,35*	2,79*
<b>Época</b>	5	0,01	534,03*	14,82	2,31	3,28*
<b>Erro</b>	45	0,07	133,07	7,33	1,26	1,08
<b>Média</b>		3,46	70,19	65,78	11,87	5,39
<b>r<sup>2</sup>g</b>		91,71%	89,41%	95,89%	96,06%	78,18%
<b>CVe</b>		7,61%	16,44%	4,12%	9,46%	19,30%

\*Significativo, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2018).

Tabela 3 - Resumo da análise dos caracteres agroindustriais altura de planta (ALT, m), peso de massa verde (PMV, t.ha<sup>-1</sup>), extração (EXT, %), teor de sólidos solúveis totais % caldo (SST, °Brix) e toneladas de brix por hectare (TBH), relativo à avaliação de genótipos de sorgo sacarino, em Sinop - MT.

QUADRADOS MÉDIOS						
FV	GL	ALT	PMV	EXT	SST	TBH
<b>Genótipo</b>	9	1,27*	1221,05*	79,53*	56,72*	2,67*
<b>Época</b>	7	0,05	230,3*	6,87	12,96*	0,88
<b>Erro</b>	63	0,04	95,16	4,47	2,99	0,45
<b>Média</b>		3,17	52,29	38,57	15,76	3,07
<b>r<sup>2</sup>g</b>		98,38%	96,02%	97,14%	97,33%	91,17%
<b>CVe</b>		6,38%	18,66%	5,51%	10,98%	21,87%

\*Significativo, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2018).