

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E MICROBIOLÓGICA DA
FERMENTAÇÃO ETANÓLICA DE CALDO DE SORGO
SACARINO**

Lidyane Aline de Freitas

Bióloga

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E MICROBIOLÓGICA DA
FERMENTAÇÃO ETANÓLICA DE CALDO DE SORGO
SACARINO**

Lidyane Aline de Freitas

Orientador: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Microbiologia Agropecuária

2013

Freita, Lidyane Aline
F866a Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino / Lidyane Aline de Freita. -- Jaboticabal, 2013
xi, 70 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientadora: Márcia Justino Rossini Mutton
Banca examinadora: José Paulo Stupiello, Leonardo Lucas Madaleno
Bibliografia

1. Sorghum bicolor. 2. Qualidade tecnológica. 3. Produtividade. 4. Biometria. I. Título. II. Jaboticabal- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 663.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

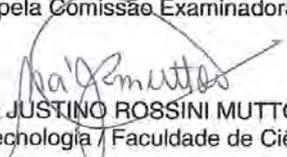
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

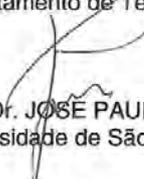
TÍTULO: AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E MICROBIOLÓGICA DA FERMENTAÇÃO ETANÓLICA DE CALDO DE SORGO SACARINO

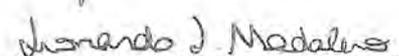
AUTORA: LIDYANE ALINE DE FREITA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM MICROBIOLOGIA AGROPECUÁRIA, pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. JOSÉ PAULO STUPIELLO
Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP


Prof. Dr. LEONARDO LUCAS MADALENO
Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal / Jaboticabal/SP

Data da realização: 21 de fevereiro de 2013.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

LIDYANE ALINE DE FREITA – nasceu aos 29 de Janeiro de 1986, na cidade de Araraquara, estado de São Paulo. Em Fevereiro de 2005 ingressou no curso de Ciências- Licenciatura Plena na Faculdade Centro Universitário “Barão de Mauá”, recebendo o título de Bióloga em Dezembro de 2010. A partir de setembro de 2005 passou a integrar os grupos de pesquisa “Processos Biotecnológicos Aplicados à Agroindústria” e “Fisiologia e Manejo Sustentável da Cana-de-açúcar”, participando de diversos projetos. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Microbiologia (Microbiologia Agropecuária), em nível de mestrado da FCAV – UNESP, obtendo o título de Mestre em fevereiro de 2013.

*Aos meus pais **Mauro Aparecido de Freitas e Célia R. de S. P. de Freitas**,
Pelo infinito esforço para me proporcionar muito mais do que tiveram;
E fizeram de meus sonhos os seus. E me ensinaram a abraçar todas as
oportunidades e valorizar todas as conquistas, sem perder a humildade.
Mãe saiba que sempre te carrego no meu coração, e o que mais quero é que
tenha orgulho de mim, assim como tenho de você.
Pai, você é a pessoa mais doce e boa que conheço, seu humor com as
situações e o jeito espontâneo de ser são admiráveis.
Obrigada pelo incentivo, conselhos, compreensão e amor incondicional.*

Amo muito vocês!!!

*À minha irmã **Cristhyane Millena de Freitas**
Pela amizade, carinho, apoio e confiança,
Pela união em todos os momentos.*

*Ao meu amado namorado **Matheus Rossini Mutton**,
Por ter me escolhido para compartilhar a vida, e me fazer tão feliz
Por sua coragem e determinação, e apoio em todos os momentos
Por nosso amor, nossa história, nossos sonhos...
Pelo presente e pelo futuro que nos espera.*

Dedico

*Aos meus Avôs **Luiz de Souza Pinto e Maria Clara***

José de Freitas e Rosaria

Por me ensinarem a ser humilde e dar valor ao que temos

Amo Vocês.

*Aos meus tios **Renato e Sandra Davoglio,***

*A minha tia **Maria Aparecida Zambelli***

Pelo carinho e incentivo.

*As minhas primas **Leticia e Isadora Davoglio***

Minhas queridas irmãs, pelo carinho infinito.

*Ao meu primo **Luiz Henrique Patti***

Pela amizade, carinho e as grandes lições de vida.

*A minha tia **Mara Luiza de Souza Pinto** (in memorian)*

Pelas grandes lições de vida.

Ofereço

Ao Miguel Angelo Mutton e a Márcia Justino Rossini Mutton

Por me acolherem como filha, me incentivarem e sempre me ajudarem como ser humano. Pela paciência e carinho que me proporcionam todo o tempo que estou com vocês e sua família.

Á Michele Rossini Mutton

Pela amizade.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

- A Deus, inteligência suprema, causa primeira de todas as coisas. Aos anjos e pastores iluminados do céu, por guiarem meus passos.
- À Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton, pelos anos de convivência, pelos muitos ensinamentos, confiança, amizade e oportunidades.
- Ao Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton, pelos valiosos conselhos, atenção e zelo.
- À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP) e aos professores do curso de pós-graduação pelo aperfeiçoamento profissional.
- Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.
- Aos Membros da banca examinadora Prof. Dr. José Paulo Stupiello e Prof. Dr. Leonardo Lucas Madaleno pelas correções e críticas à dissertação.
- Aos meus primos, Leandro, Wanessa, Victoria, Luisa, Andréa, Ana Carolina, Flávia, Saulo, Ana Laura, Letícia, Isadora e Luiz Henrique, pela amizade, apoio e todo carinho. Amo muito todos Vocês!!!
- À toda minha família, por entender minhas constantes ausências, e pelo carinho.
- A Ana Paula S. Amaral, pela amizade e apoio.
- Aos meus grandes companheiros Juliana Roviero, Larissa Jocarrelli, Igor Masson e Gustavo Costa, por toda a convivência, amizade verdadeira, que compartilharam momentos de muito trabalho e risadas. Vocês são inesquecíveis!
- À “velha guarda” do laboratório, Eduardo Rossini, Gisele, Débora, Cidinha, Leonardo, Eduardo Tiraboschi, Neto, Kelly, Mariana, David, Flávio, Ruan, Tatiane, Aline Halabi, Daniele, Aline Gerbasi, Igor, Gustavo, Juliana, Larissa e Raul pela agradável convivência e amizade. Aos “novatos” Nayara Abrão, Aline Ferreira, Osania, Juliana Straciore, Nayara Silvano, Franciele, Cristhyane, Fernanda, Rita, Silvia, Jorge, Marcelo, Vitor, Marcel pela valiosíssima ajuda na condução do experimento, pela grande amizade e por tornarem os intensos dias de trabalho mais leves...
- Ao “mestre” Sérgio Nobokuni pelos anos de convivência e amizade.
- Aos técnicos e funcionários do Departamento de Produção Vegetal: Osmar, Sebastião (Tião) e Faro Fino pela ajuda no experimento, especialmente para as análises biométricas e corte do sorgo para análises tecnológicas e clarificação.

- Aos meus grandes amigos Juliana Pelegrine Roviero, Larissa Jocarrelli, Daniele Belarmino, Fernanda de Annunzio, Mayara Figueiredo, Ana Carolina Teixeira, Lilian Oliveira, Francielen dos Santos, Juliana, Érica Mendes Lopes, Mariana de Paula Bonadio, Aylan Kener Meneghine, Igor dos Santos Masson, Gustavo Costa, Mario Marcos Lopes, Fábio Pinho verdadeiras preciosidades em minha vida, que mesmo às vezes distantes, sempre se fizeram presentes. **“Amigo é a luz que não deixa a vida escurecer”**.

-A todos que direta ou indiretamente participaram desse trabalho e de minha formação. Muito obrigada!!!!!!!!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	12
ABSTRACT.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. Produção de bioetanol e matérias-primas.....	16
2.2. Sorgo Sacarino.....	19
2.2.1. Botânica e morfofisiologia da planta.....	21
2.2.2. Fenologia da planta.....	22
2.3. Extração e tratamento de caldo.....	23
2.4. Fermentação etanólica e microbiota fermentativa.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1. Condições experimentais.....	27
3.2. Delineamento experimental.....	27
3.3. Colheita do sorgo sacarino e obtenção do caldo.....	27
3.4. Avaliações biométricas.....	28
3.5. Avaliação das características tecnológicas do caldo.....	28
3.6. Preparo do mosto.....	29
3.7. Condução do processo fermentativo.....	29
3.8. Avaliação microbiológica das leveduras no processo fermentativo.....	30
3.9. Rendimentos, Eficiência Fermentativa e Produção de etanol.....	30
3.10. Análise estatística.....	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
4.1. Biometria.....	32
4.2. Qualidade da matéria-prima.....	39
4.3. Processo fermentativo.....	45
4.3.1. Características do Mosto.....	45
4.3.2. Microbiologia da Fermentação.....	48
4.3.3. Características do vinho e rendimento fermentativo.....	54
5. CONCLUSÕES.....	62
6. REFERÊNCIAS.....	63

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA E MICROBIOLÓGICA DA FERMENTAÇÃO ETANÓLICA DE CALDO DE SORGO SACARINO

RESUMO - O aumento da demanda por combustíveis tem intensificado a busca por fontes renováveis de energia principalmente as biomassas, destacando-se a cana-de-açúcar na produção de bioetanol. Além desta a cultura do sorgo sacarino apresenta elevado potencial principalmente por utilizar o mesmo complexo industrial de produção e ser processado no período de entressafra da cana. Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar o potencial de produtividade, características químico-tecnológicas e processo fermentativo de três genótipos de sorgo utilizado como matéria-prima complementar para produção de etanol, no período de início de safra. O delineamento experimental foi o em Blocos ao Acaso num modelo Fatorial 3x7, com três repetições, para Avaliações Biométricas, sendo que para as Características Químico-tecnológicas e Processo Fermentativo (para cada uma das leveduras estudadas) utilizou-se o modelo 3x2x6. Avaliou-se a Altura (m) das plantas, Diâmetro da base, Diâmetro da ponta, número de folhas, comprimento da panícula (cm), biomassa total (t/ha), colmos limpos (t/ha) e % de colmos, nas análises biométricas; o teor de sólidos solúveis (Brix), Açúcares Redutores Totais (ART), pH, Acidez Total, Compostos Fenólicos Totais e Teor de Amido do caldo extraído nas análises químico-tecnológicas e a viabilidade celular, viabilidade de brotos e brotamento no processo fermentativo. Os resultados obtidos indicam que os genótipos CVSW80007 e CVWS80147 apresentam melhores características químico-tecnológicas, com PUI de 45 dias, a partir dos 110 d.a.s.. O BRS610 apresenta maior produtividade de biomassa. A colheita dos colmos com e sem folhas não influencia na qualidade tecnológica, exceto para os teores de amido. As leveduras CAT-1 e PE-2 demonstram comportamento similar, sendo eficientes no processo fermentativo. A fermentação de mosto preparado a partir de colmos sem e com folhas (135 d.a.s.) dos três genótipos, resulta em 47,0 e 39,8 L/t de etanol, respectivamente. A produção de etanol é de 996,3 e 1.530,0 L/ha, respectivamente para colmos sem folhas e com folhas, dos três genótipos, aos 135 d.a.s.

Palavras chave: *Sorghum bicolor*, qualidade tecnológica, produtividade, biometria.

TECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL EVALUATION OF ETHANOLIC FERMENTATION FROM SWEET SORGHUM JUICE

ABSTRACT – The increased in demand for combustible has intensified the search for renewable energies mainly from biomass, especially the sugarcane for bioethanol production. Besides of this crop, sweet sorghum has shown great potential in the production of biofuels, mainly because it allows the use of the same industrial park production of sugarcane, and can be processed in the off-season of this crop. The objective of this research was to evaluate the potential of three genotypes of sorghum harvested with and without leaves on the productivity, technological-chemical characteristics, and ethanol production in laboratorial scale using two yeast strains, from the beginning of the sugarcane harvest. The experimental design was randomized blocks in a 3x7 factorial design, with three replicates for biometric analysis. For chemical and technological characteristics and fermentation process (for each of the yeasts studied) was used 3x2x6 model. Was evaluated height (m) of plant, base and tip stalk diameter, leaf number, panicle length (cm), total biomass yield (t/ha), clean stalk yield (t/ha) and percentage stem, in biometrics analyses. Soluble solids content (Brix), total reducing sugars (TRS), pH, total acidity, total phenolic compounds and starch content of the juice extracted in chemical-technological analyses. Was evaluated the cell viability, viability and budding of the yeasts in the fermentation process. Was evaluated the cell viability, viability of sprouts and budding of the yeasts in the fermentation process. Was determined the ethanol production (L/ha and L/t) in laboratory scale. The results indicate that the genotypes CVSW80007 and CVWS80147 have better chemical and technological characteristics, with useful industrialization period (UIP) of 45 days, from 110 days after seedling (d.a.s.). The BRS610 has higher biomass productivity. The harvest of stalks with or without leaves does not affect on the technological quality, except for the starch content. Yeasts CAT-1 and PE-2 showed similar behavior, being efficient fermentation process. Fermentation of must prepared from stalks with and without leaves (135 d.a.s.) of the three genotypes, resulting in 47.0 and 39.8 L/t of ethanol, respectively. Ethanol production of the three genotypes harvested at 135 d.a.s. are 996.3 and 1530.0 L/ha respectively to stalks with and without leaves.

Keywords: *Sorghum bicolor*, technological quality, productivity, biometrics.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação mundial com a poluição ambiental, decorrente da utilização de fontes não renováveis de energia, aliada à segurança energética futura dependente do petróleo e a liberação de gases de efeito estufa, têm estimulado a comunidade global a buscar combustíveis alternativos, objetivando o incremento e a eficiência do uso da energia. Ao mesmo tempo em que se busca ampliar a oferta e reduzir os custos, crescem as preocupações com a sustentabilidade e o meio ambiente.

De acordo com FUGITA (2010), o aproveitamento de diferentes biomassas vegetais como fontes de energia renovável, embora não venham substituir o petróleo em sua totalidade, podem contribuir para diminuir a utilização de combustíveis fósseis com conseqüente redução dos impactos negativos ao ambiente causados pelo consumo. Esta possibilidade evidencia a importância desta mudança, tornando a produção de energia a partir da biomassa uma estratégia para todas as nações.

Neste contexto, a cana-de-açúcar tem se destacado como matéria-prima, subsidiando o processo de produção de bioetanol brasileiro. De modo semelhante, outros países têm adotado o modelo nacional, a partir da cana-de-açúcar, com resultados excelentes, resultando na mudança de paradigma neste novo tempo.

Avaliando-se as quantidades de combustíveis produzidas e consumidas, aliadas aos valores divulgados através das previsões estatísticas, supõe-se que o emprego de uma única fonte de matéria-prima poderá não ser suficiente para atender a toda a demanda prevista. De acordo com informações da UNICA (2011) em 2010 a frota de veículos leves era de 27 milhões de carros, representando um consumo de 40 bilhões de litros de combustíveis, com 45% de mistura de etanol. A previsão para 2020 é que esta frota seja de 52,5 milhões de veículos, consumindo 85 bilhões de litros de combustíveis. Sob este cenário cabe a reflexão sobre a participação da mistura de gasolina e o bioetanol. Nestes termos verifica-se que a proporção empregada na mistura depende de diversos fatores, que podem interferir de modo indireto, inclusive sobre a utilização das matérias-primas que integram o Fluxograma de Produção Industrial. Entendimento semelhante é observado quanto ao período de safra para atender esta demanda.

Considerando-se as informações técnicas disponíveis e o processo utilizado atualmente para produção do biocombustível tem-se a necessidade de ampliação do período de safra, através do emprego de outras matérias-primas compatíveis com o processamento industrial.

Dentre as alternativas economicamente mais promissoras destaca-se o sorgo sacarino, como matéria-prima para produção de etanol, tanto do ponto de vista agrônomo quanto industrial. O sorgo sacarino apresenta colmos ricos em açúcares fermentáveis, semelhantes à cana-de-açúcar.

As características agrônomicas inerentes a implantação da cultura em escala industrial, como sistemas de plantio, manejo, colheita e condução do processo fermentativo ainda são passíveis de caracterização. Para a obtenção de bons rendimentos industriais é imprescindível que a matéria-prima a ser processada apresente elevados teores de açúcares fermentescíveis. Entretanto informações referentes às características químico-tecnológicas do sorgo sacarino na literatura nacional são escassas. Estas são de extrema importância considerando-se as etapas de preparo e adequação dos mostos e dos fermentos, antecedendo o processo de fermentação etanólica.

Objetivou-se com a presente pesquisa avaliar o potencial de produtividade agroindustrial e as características químico-tecnológicas dos genótipos de sorgo CVSW80007; CVWS80147 e BRS610, submetidos a colheita com e sem folha para produção de etanol, no período de início de safra. Estudou-se também o processo fermentativo em escala de laboratório, avaliando-se o desempenho das leveduras CAT-1 e PE-2 determinando-se os rendimentos e eficiências fermentativas e a produção de álcool (L/ha e L/t).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção de bioetanol e matérias-primas

A previsão de esgotamento das fontes de petróleo para o futuro próximo e a necessidade de proteção ambiental têm tornado cada vez mais necessária a busca por combustíveis alternativos aos derivados de petróleo. Dentre esses, o bioetanol é promissor, pois agrega as vantagens de poluir menos e possuir características físico-químicas semelhantes às da gasolina (PEREIRA FILHO et. al., 2012).

A partir de processos industrialmente implantados a produção de bioetanol emprega matérias-primas vegetais ricas em açúcares, como é o caso da cana-de-açúcar ou da beterraba sacarina, ou a partir de culturas ricas em amido, como é o caso do milho ou do trigo. Após a sua extração, estes glúcidos são submetidos a um processo de fermentação (sendo necessário um processo prévio de hidrólise no caso do amido), produzindo-se bioetanol, resultante do metabolismo dos microrganismos envolvidos (QUILHO, 2011).

A produção de etanol pelo processo fermentativo ocorre através do desdobramento do substrato, rico em açúcares que são transformados por ação de leveduras. Este é constituído por qualquer produto que contenha carboidratos como fonte de carbono, tais como sacarose, glicose, celulose, amido, dentre outros, utilizado como matéria-prima. Para escolha desta matéria-prima alguns fatores devem ser considerados, tais como custo do material, rendimentos, disponibilidade no local e custo de transporte, facilidade de recuperação do produto.

Após a definição e a escolha da matéria-prima (Quadro 01), são necessárias adaptações para utilização industrial. De acordo com LIMA et.al. (2001) estas operações priorizam a otimização dos açúcares do substrato, adaptação dos microrganismos, composição do meio, além de testes de recuperação do produto. Em relação ao custo do substrato alguns fatores devem ser considerados tais como: quantidade de carbono disponível; suprimento do substrato; disponibilidade; variedade na composição da matéria prima; condições de armazenamento; dificuldade de esterilização do mosto; fermentescibilidade; exigência de tratamentos para tornar o substrato presente na matéria prima; comportamento do mosto durante e após a fermentação.

A fermentação é realizada em três fases, pré-fermentativa, fermentativa e pós-fermentativa. O mosto ou meio de fermentação deve propiciar o desenvolvimento microbiano, favorecendo a formação do produto que se deseja. De acordo com (DELGADO,

1975), este deve conter os elementos essenciais na proporção correta, favorecendo a realização das reações fisiológicas pelos microrganismos e conseqüentemente a eficiência e rendimento do processo.

Quadro 01. Composição e características das matérias-primas a serem utilizadas para produção de etanol.

Matérias-primas	Processos produtivos	Características
Matérias açucaradas: cana de açúcar, melaço, beterraba açucareira, sorgo sacarino, mel de abelha e frutas, caldo clarificado, xarope.	Fermentação	Diretamente fermentescíveis: as que contem monossacarídeos limitam-se aos sucos de frutas. Ex: Produção de álcool em bebidas como vinho e cidra. Não diretamente fermentescíveis: são as que contem dissacarídeo, fermentam após uma hidrólise (inversão), realizadas naturalmente pelo agente de fermentação. Ex: sacarose o mais importante componente da cana-de-açúcar e dos melaços.
Matérias amiláceas ou feculentas: grãos amiláceos, raízes e tubérculos feculentos exs. milho, mandioca, batata doce, trigo	Amidos: Sacarificação e fermentação	São matérias que fermentam após uma hidrólise, denominada sacarificação, pela qual o amido infermentescível se transforma em açúcar fermentescível.
Matérias celulósicas: incluindo palhas, bagaço, madeiras, resíduos agrícolas e resíduos sulfíticos de fábricas de papel.	Lignocelulósicos: sacarificação, purificação e Fermentação	É a maior massa de matéria-prima. Porém apresenta inúmeras dificuldades até o momento para o processo para sacarificar a celulose, devido a sua complexidade e custo.

Fonte: Adaptado de LIMA et al. (2001)

No Brasil a cana-de-açúcar é a matéria-prima mais utilizada para produção de etanol. Entretanto, a literatura destaca ainda a utilização do milho nos Estados Unidos, da beterraba e do trigo na União Europeia e da mandioca na Tailândia. Em menores proporções verifica-se o emprego do arroz, centeio, cevada, milheto, batata, batata doce, além do sorgo sacarino (FIALHO et al., 2002).

O bioetanol produzido a partir de matérias-primas derivadas de culturas alimentares, como é o caso das culturas sacarinas e amiláceas, classificam-se de biocombustíveis de 1ª geração. Segundo QUILHO (2011) a produção de bioetanol de 1ª geração a partir destas matérias-primas tem sido questionada, uma vez que são fontes de alimentos para humanos e animais. Neste contexto verifica-se ainda impactos diretos sobre o aumento dos preços.

Sob esta diretriz, tem-se buscado alternativas que possam conduzir à diversificação das matérias-primas para a produção de bioetanol, dando importâncias aos materiais lenho-

celulósicos presentes nas espécies vegetais. Estes são ricos em polímeros de monossacarídeos, que podem ser empregados como fonte potencial de açúcares para o processo de fermentação. O combustível produzido a partir destas matérias-primas é denominado de bioetanol de 2ª geração. Verifica-se que estas normalmente não são utilizadas como fontes de alimentação humana, ou animal.

Desta forma o sorgo sacarino surge como cultura energética, que apresenta potencialidades atraentes como matéria-prima, tendo em sua constituição três grupos de materiais susceptíveis de serem fermentados em bioetanol – os açúcares (no caule), o amido (nos grãos), e os materiais lenho-celulósicos (bagaço resultante após extração do açúcar) (QUILHO, 2011). Além disso, como cultura, apresenta gama alargada de requisitos que o tornam produtivo em climas temperados e mediterrânicos.

Outro fator que favorece o cultivo deste é sua utilização pela agricultura familiar ou pequenos agricultores em escala de micro ou de mini destilarias tanto para produção de etanol ou de outros produtos da cadeia produtiva (FILHO-RIBEIRO et.al., (2008); SOUZA et. al., (2005)).

Entretanto, atenção especial deve ser dispensada quanto ao manejo do solo, uma vez que existe o risco de erosão quando se realiza a semeadura do sorgo sacarino em solos bem preparados, especialmente em épocas chuvosas. Deve-se salientar que o atraso na época de plantio pode acarretar perdas significativas na produtividade da cultura, em virtude do déficit hídrico e/ou por fortes limitações de radiação solar na fase final do seu ciclo.

Em regiões onde ocorrem ventos fortes, a escolha da densidade da semeadura e do arranjo de plantas, especialmente no período do verão, pode ocasionar sérios problemas de acamamento. Além disso, o excesso de população de plantas também pode ocasionar o aparecimento de doenças foliares, em razão das condições microclimáticas desenvolvidas no interior da lavoura (MAY, et. al, 2012).

O sorgo sacarino apresenta ciclo fenológico inferior ao da cana-de-açúcar, alcançando sua maturação fisiológica em período aproximado de 110 dias, no qual são obtidos valores de sólidos solúveis de 16°Brix e elevada produção de biomassa vegetal (FONTES, 2011).

A produção de bioetanol é recomendada como uma utilização promissora do bagaço de sorgo sacarino, devido à elevada produção por hectare e aos custos de produção mais baixos, quando comparados com outras culturas (GOSHADROU et al., 2011).

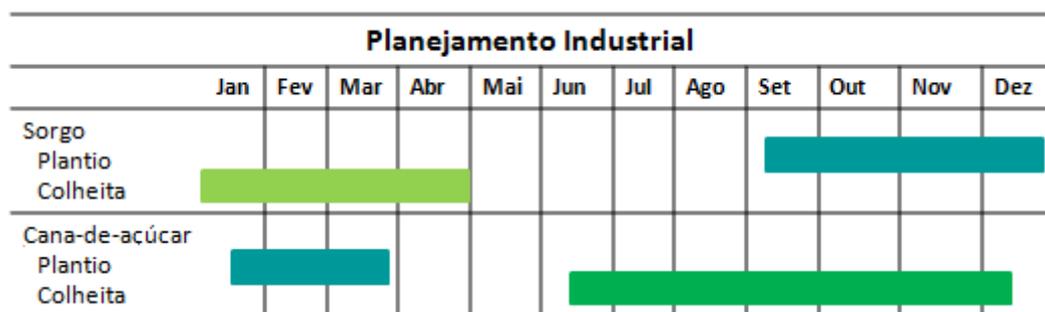
2.2. Sorgo Sacarino

Em termos globais, o sorgo é o quinto cereal mais importante do mundo, sendo a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Os grãos são amplamente utilizados na alimentação humana em países da África e Ásia, sendo no Ocidente utilizado na alimentação animal e na elaboração de xarope, álcool e açúcar (SOUZA, 2011). De acordo com a FAO (2009), o Brasil é o maior produtor na América do Sul, sendo o oitavo no ranking mundial.

A produção de sorgo sacarino no Brasil vem ganhando destaque atualmente, por se assemelhar a cana-de-açúcar quanto a fisiologia e características tecnológicas, ou seja, também acumula açúcar no colmo e fornece bagaço para a indústria. Este surge como uma alternativa de matéria-prima para produção de etanol no período de entressafra da cana, período em que as destilarias permanecem paradas evitando a queda na produção do etanol, sobretudo nos meses de março e de abril (Tabela 01) ou em casos de pouca oferta do produto no mercado (CORSINO, 2011).

Assim como a cana-de-açúcar o sorgo é uma planta C4, com elevada atividade fotossintética. Pode ser cultivado em uma ampla faixa de condições de solo desde regiões mais secas, zonas áridas e semi áridas até excesso de umidade do solo com maior tolerância que a maioria dos outros cereais (SOUZA et.al., 2005; DINIZ, 2010).

Tabela 01. Períodos de plantio e colheita para sorgo sacarino e cana-de-açúcar no Brasil. (Embrapa Milho e Sorgo)



Fonte: SCHAFFERT, 2010

RATNAVATHI (2010) cita que o sorgo sacarino é uma fonte promissora, sendo alternativa para intensificação da produção de etanol. Atualmente observa-se uma busca constante por culturas que possam contribuir para a produção de combustível, em virtude da grande demanda mundial. O sorgo sacarino tanto do ponto de vista industrial como

agronômico caracteriza-se por apresentar colmos suculentos e ricos em açúcares diretamente fermentescíveis. Segundo DAMASCENO et.al., (2010), deve-se destacar ainda a vantagem do bagaço ser utilizado tanto para geração de bioeletricidade e da produção de etanol de 2ª geração.

Cabe destacar ainda o fato de apresentar ciclo curto, baixo custo de implantação, propagação por sementes (que favorece as áreas de expansão), colheita mecanizada, além de se apresentar como uma das culturas mais eficientes em termos energéticos. Resultados disponíveis na literatura sinalizam ainda para a viabilidade da sua utilização na entressafra canavieira, permitindo que as usinas sucroenergéticas antecipem e ampliem o período de moagem (TEIXEIRA et al., 1997).

O sorgo pode ser classificado como granífero, forrageiro ou sacarino (ALMODARES et al., 2008a). Possui grande adaptabilidade (REDDY et al., 2005), sendo tolerante a ambientes secos (TESSO et al., 2005), com pouca água disponível, resistente a salinidade (ALMODARES et al., 2007; ALMODARES et al., 2008b), podendo produzir entre 40-70 t ha⁻¹ de biomassa com Brix variando de 16 até 23% (ALMODARES & HADI, 2009).

Com relação à exigência nutricional da planta, verifica-se que está diretamente relacionada com a produtividade, sendo que para produção as maiores exigências de nutrientes são de nitrogênio e potássio, seguido de cálcio, magnésio e fósforo (EMBRAPA, 2010).

Por ser uma cultura rústica apresenta elevada tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital com menores prejuízos para a colheita de grãos e massa verde, mesmo em ambiente com baixa pluviosidade, se estabelecendo bem em solos com baixa qualidade. (SOUZA, et.al., 2009).

Vários insetos e patógenos podem atacar a cultura de sorgo. Dentre as pragas destacam-se as de solo (lagarta elasmó, lagarta rosca e as formigas), duas espécies de pulgão (pulgão de trigo e o pulgão de milho), além da broca da cana-de-açúcar. Dentre as doenças, a podridão das sementes pode afetar a germinação e o desenvolvimento vegetativo da cultura; doenças foliares tais como a antracnose, ferrugem, vírus do mosaico da cana-de-açúcar e o milídio do sorgo; doenças do colmo, como a podridão de *Macrophomina* e a podridão vermelha do colmo, merecem destaque no cultivo de sorgo (EMBRAPA, 2009).

De acordo com relatos da literatura, diversas vantagens podem tornar o cultivo comercial do sorgo sacarino viáveis, dentre essas, o fato de possuir ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias, quando comparado com a cana-de-açúcar, de 12 a 18 meses, podendo ser alternativa para a entressafra da cana. Deve-se considerar ainda a

produção de grãos que podem ser processados na indústria ou utilizados como opção econômica para elaboração de ração animal como também na alimentação humana (SOUZA et. al; 2005).

O sorgo é indicado para plantio em áreas de reforma de canaviais devido a sua capacidade produtiva inferior. A primeira usina do Brasil a produzir etanol a partir do sorgo na safra 2010/2011 foi a Cerradinho localizada no estado de São Paulo.

De acordo com informações da literatura (Tabela 02) o potencial apresentado pelo sorgo sacarino é atrativo, justificando o investimento. Outro ponto que merece destaque é o processamento desta matéria-prima ocorrendo na mesma planta industrial que opera com a cana-de-açúcar, com pequenas adequações, viabilizando a proposta.

Tabela 02: Características produtivas das culturas estudadas.

	Água utilizada (L de água/Kg de biomassa seca)	Produção de etanol (mil L/ha)	Produção de biomassa (t/ha)	Custo (R\$/ha)
Cana	600	7 a 7,5	80 a 85	4.000
Sorgo	300	3 a 3,6	60	2.700

Fonte: EMBRAPA (2010); GLOBO RURAL, 2011.

2.2.1. Botânica e morfofisiologia da planta

O sorgo é uma planta da família *gramineae*, do gênero *sorghum*, e da espécie *Sorghum bicolor* L. Moench. Em sua estrutura radicular apresenta raízes que contêm sílica na endoderme, grande quantidade de pêlos absorventes e altos índices de lignificação de periciclo, conferindo a cultura maior tolerância à seca do que as demais (DINIZ, 2010). O caule é dividido em nós, entrenós e folhas ao longo de toda a planta. Sua inflorescência é uma panícula e seu fruto é uma cariopse ou grão seco, possuindo espécies anuais e espécies vivazes. A planta pode atingir de 1 a 4 metros de altura, tendo vários caules por pé (afilhamento), em que cada um dos quais tem uma influência terminal do tipo paniculado. Uma espiga séssil, fértil, acompanhada por duas espiguetas estéreis pedunculadas, caracteriza o gênero (DINIZ, 2010).

A planta produz vários compostos fenólicos que atuam como defesa química contra pássaros, patógenos e outros competidores, podendo interferir direta ou indiretamente sobre os micro-organismos fermentadores. Entre esses compostos, destaca-se no grão o tanino condensado, conferindo resistência ao ataque de pássaros. Entretanto esta substância é

adstringente e pode dificultar a digestibilidade dos grãos (MAGALHAES et al., (2000); VON PINHO e VASCONCELOS (2002).

Outro composto existente no sorgo é a durrina, um glicosídeo cianogênico que em altas concentrações pode provocar morte em animais e seres humanos. Esse fator tem prejudicado muito o cultivo e a comercialização do sorgo frente aos outros cereais (DINIZ, 2010). No aparelho digestivo dos animais por ação enzimática, pode produzir ácido cianídrico, glicose e p-hidroxibenzaldeído.

2.2.2. Fenologia da planta

Segundo Ribas (2008), o sorgo é classificado em: granífero, forrageiro, sacarino e vassoura, sendo que o granífero é mais expressivo economicamente. Os diferentes genótipos de sorgo compartilham a elevada taxa fotossintética, a sensibilidade ao fotoperíodo e a temperatura (QUILHO, 2011).

O sorgo é uma planta de metabolismo C_4 , de dias curtos que apresenta altas taxas fotossintéticas e requer temperaturas superiores a $21^{\circ}C$ para um bom crescimento e desenvolvimento. Pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de disponibilidade hídrica no solo, desde déficit até excesso, por apresentar melhor adaptação que os demais cereais cultivados.

Durante a fase de instalação da cultura, é importante que a germinação, emergência e crescimento inicial da plântula, ocorram em menor tempo possível garantindo estande ideal de plantas, bem como, ocorra um controle eficiente das plantas daninhas até a fase de indução floral, para que a produtividade não seja reduzida significativamente (DINIZ, 2010). Por outro lado, a EMBRAPA (2009) cita que não existem dados acerca de como os estádios iniciais da cultura podem afetar o rendimento, entretanto, com um bom estande, com rápida formação da parte aérea e do sistema radicular, a planta se tornará mais apta a enfrentar possíveis estresses ambientais durante o seu ciclo.

O momento em que as plantas de sorgo passam da fase vegetativa para a reprodutiva auxilia no entendimento das variações na produção. Após finalizar o estágio de juvenildade, quando a planta é insensível ao fotoperíodo, inicia-se a fase indutiva ao florescimento (KARANDE et al. 1996, ALAGARSWAMY et al. 1998, CRAUFURD & QI 2001), na qual ela é sensível a esse fator climático. Nesta fase, sob fotoperíodos indutivos, as plantas de sorgo passam por mudanças fisiológicas no meristema apical, caracterizada pela iniciação do meristema floral.

O estágio de desenvolvimento da planta vai da indução floral até o florescimento. Os processos fisiológicos, se afetados, poderão comprometer o rendimento da cultura, dentre estes a área foliar, o desenvolvimento do sistema radicular, o acúmulo de matéria seca e o estabelecimento de um número potencial de sementes (DINIZ, 2010). De todos citados anteriormente, talvez o último tópico seja o mais crítico para o sorgo granífero, uma vez que, maior número de grãos tem sido geralmente o mais importante componente de produção associado ao aumento de rendimento. Já no terceiro estágio de crescimento que vai da floração a maturação fisiológica das sementes, os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento de grãos (DINIZ, 2010).

Considerando-se o sorgo sacarino e o forrageiro, a produção de grãos é um aspecto secundário, destacando-se os processos fisiológicos que proporcionam maior produção de biomassa total, e no caso do sorgo sacarino, que também resultem maior acúmulo e armazenamento de açúcares nos colmos.

Durante as três etapas de crescimento, a fotossíntese, a partição de fotoassimilados e a divisão/expansão celular devem estar ajustadas visando bom rendimento da cultura. De acordo com a EMBRAPA (2009) o rendimento final é função da taxa de acumulação de matéria seca diária e da duração do período de armazenamento dos fotossintatos no grão e/ou colmo.

A resistência à seca nas plantas é uma característica complexa, envolvendo simultaneamente aspectos de morfologia, fisiologia e bioquímica. Existem três mecanismos básicos relacionados à seca: resistência, tolerância e escape. O sorgo apresenta apenas escape e tolerância, segundo DINIZ (2010). O escape através de um sistema radicular profundo e ramificado, que é eficiente na extração de água do solo. No mecanismo de tolerância, a planta diminui o seu metabolismo, murcha (hiberna) e tem um poder admirável de recuperação quando o estresse é interrompido. Frequentemente, em condições de estresse hídrico genótipos mais susceptíveis ao estresse hídrico, porém com potencial produtivo maior, podem superar materiais genéticos considerados resistentes, mas com potencial produtivo menor.

2.3. Extração e tratamento de caldo

De acordo com DURÃES (2011) para o processamento industrial destinado à produção de etanol, a partir de novas matérias-primas, as inovações devem estar centradas em torno dos desafios técnico-científicos a serem equacionados. Neste sentido, devem-se

destacar a eficiência das tecnologias, o incremento das eficiências no processo industrial convencional, nas diversas etapas que o compõem, tais como: tratamento do caldo (clarificação), preparo do mosto, fermentação, destilação, biodigestão da vinhaça, dentre outros. Ressalta-se ainda as questões relativas ao domínio de novos processos em rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia, tais como a hidrólise ácida e enzimática, termoquímica, gaseificação, etc.

A qualidade da matéria-prima destinada para produção de etanol deve atender algumas características mínimas como as estabelecidas por GODOY (2008) citado por STEINDL (2010) apresentados na Tabela 03.

Tabela 03. Condições ótimas para a fermentação do caldo segundo especificações da Fermentec.

Parâmetros	Valores
pH do caldo caleado	5,8–6,0
pH do caldo clarificado	5,0–5,5
Sólidos insólúveis	<0,2%
Cálcio (o mais baixo possível)	<800 mg/kg
Manganês	2,0 mg/kg
Zinco	2,0 mg/kg
Magnésio	200 mg/kg
Fósforo	50–65 mg/kg
Nitrogênio (como NH ₃ OH)	60–70 mg/kg
Turbidimetria	Não importante

Fonte: GODOY, 2008 citado por STEINDL, 2010.

2.4. Fermentação etanólica e microbiota fermentativa

A fermentação alcoólica é a principal etapa do processo de produção de álcool, na qual os açúcares do mosto são transformados em álcool etílico, gás carbônico e compostos secundários (YOKOYA, 1995). As leveduras são os principais microrganismos responsáveis por esta conversão. As linhagens utilizadas na indústria pertencem ao gênero *Saccharomyces*, selecionadas ao longo de vários anos. Apresentam elevada eficiência no desdobramento de sacarose, glicose e frutose presentes no mosto, estando extremamente adaptadas aos processos fermentativos em cana-de-açúcar.

De acordo com NOVAES (1992) para que o processo de fermentação apresente rendimentos e eficiências, deve-se adequar o meio, possibilitando o desenvolvimento das reações metabólicas de maneira adequada refletindo na obtenção do produto final com características que atendam às exigências do mercado.

As leveduras de panificação possuem baixa taxa de permanência nas fermentações industriais (BASSO et al., 1993). Sendo assim, a matéria-prima e as condições operacionais durante a fermentação, tais como pH, acidez, temperatura, concentração de açúcares do meio, etanol, disponibilidade de nutrientes e presença de microrganismos contaminantes, podem afetar significativamente a estabilidade e o desempenho das leveduras.

A utilização de leveduras na indústria é possível graças a elevada capacidade de sobreviver a meios com pH baixo e por apresentarem alto crescimento em processo de produção de larga escala. Entretanto, o pH ideal para um eficiente desempenho fermentativo é ao redor de 4,0 a 4,5. A correção do pH do mosto é importante tanto para a multiplicação como para o processo fermentativo, e na prática é feita com a aplicação de ácido sulfúrico (ANGELIS, 1992).

Embora, algumas vezes, o tratamento ácido se mostre estressante para a levedura, esse fator reduz a multiplicação das bactérias minimizando a contaminação (AMORIM et al., 1996).

Segundo NARENDRANATH et al (2001), os principais ácidos encontrados na fermentação alcoólica são o acético e lático e ambos são inibidores do crescimento das leveduras. O ácido acético é um produto formado em pequenas quantidades na fermentação, enquanto o ácido lático é o principal metabólito produzido pelas bactérias lácticas. Ainda de acordo com esses autores, a presença de ácidos orgânicos, como o acético e lático, resultam em aumento no consumo de ATP pela levedura. Nessas condições, parte do ATP que seria utilizado para crescimento ou fermentação é desviado para manutenção do pH interno.

A temperatura ideal para o metabolismo das leveduras durante a fermentação encontra-se na entre 28 e 34°C. Temperaturas inferiores a 30-32°C prolongam o tempo de fermentação enquanto temperaturas elevadas inibem o crescimento celular, especialmente na presença de elevados teores de etanol (STUPIELLO & HORII, 1981).

ANGELIS (1992) relata que, em temperaturas abaixo da ideal, há maior gasto de energia para completar o ciclo celular das leveduras, enquanto em temperaturas muito elevadas, acima de 40°C a maioria das leveduras deixa de se multiplicar e perde a viabilidade, favorecendo o desenvolvimento de bactérias.

Segundo STOKES (1971), o etanol tem efeito inibidor sobre as leveduras, reduzindo o crescimento celular quando em concentrações relativamente baixas e a fermentação quando em concentrações mais elevadas. HALLSWORTH (1998) relata limitação do crescimento e atividades metabólicas das leveduras, por afetar os mecanismos relacionados ao controle osmótico, induzindo o estresse hídrico nas leveduras. Sob concentrações de etanol próximas a 5%, verifica-se ocorrência destes reflexos metabólicos.

De acordo com ANGELIS (1992), a concentração de açúcares afeta tanto a produção da biomassa celular da levedura como o processo fermentativo. Segundo STUPIELLO & HORII (1981) as células de leveduras em substratos com teores elevados de açúcares, mesmo na presença de oxigênio, têm a respiração reprimida e tendem a fermentar pela inibição da síntese de enzimas respiratórias e consequente inatividade das mitocôndrias, através do chamado Efeito Crabtree.

Altas concentrações de açúcares promovem elevados teores alcoólicos, podendo comprometer a viabilidade das células ou ainda resultar em fermentações lentas e incompletas, com formação de subprodutos. Como consequência, tem-se menores rendimentos alcoólicos e a viabilidade celular da levedura, favorecendo o desenvolvimento de contaminantes (ANGELIS, 1992). Desta forma, no preparo do mosto, a concentração de açúcar total deve ser compatível com a natureza e composição da matéria-prima, com o tipo de levedura empregada e com o processo de condução da fermentação (STUPIELLO & HORII, 1981).

Deve-se considerar ainda que além das leveduras, podem participar desse processo, outros microrganismos que são introduzidos involuntariamente no sistema. Tais microrganismos são indesejáveis e responsáveis pela redução do rendimento alcoólico e depreciação na qualidade do produto final.

As fermentações do caldo de sorgo sacarino por algumas linhagens de *Saccharomyces* têm sido realizadas sendo que os resultados demonstraram a eficiência dessas na conversão de açúcares a etanol, apenas para utilização de colmos. Não obstante neste sistema de produção que se propõe a colheita de colmos integrais, verifica-se a necessidade da avaliação das estirpes de leveduras assim como do mix (mistura do caldo de cana-de-açúcar e sorgo sacarino) empregado na produção.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Condições Experimentais

O sorgo foi cultivado na área experimental do departamento de Produção Vegetal da FCAV- Jaboticabal, na safra 2011/2012. O plantio foi realizado com espaçamento combinado de 90x70 cm entre as linhas. Foram empregados excesso de sementes na semeadura e aos 15 d.a.s., realizou-se desbaste deixando-se 10 plantas/m, para se obter um estande final de 100.000 plantas/ha. Na adubação de plantio empregou-se 20-100-100 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Utilizou-se de capinas manuais para o controle de plantas daninhas. Para o controle das pragas de solos aplicou-se no sulco de plantio, tiametoxam + lambda-cialotrina na dosagem de 20+15 g/ha. Para controle da lagarta de cartucho, aos 30 e 45 dias após a semeadura, realizou-se a pulverização da parte área com o mesmo produto e dosagem. A adubação de cobertura ocorreu aos 30 dias após a semeadura, com 40-10-40 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O.

3.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o em Blocos ao Acaso num modelo Fatorial 3x7, com três repetições, para Avaliações Biométricas, sendo que para as Características Químico–tecnológicas e Processo Fermentativo (para cada uma das leveduras estudadas) utilizou-se o modelo 3x2x6. Cada parcela foi constituída por 10 linhas de 10 m de comprimento, com espaçamento combinado de 90 e 70 cm entre as linhas. Os tratamentos empregados foram: Fator A, correspondendo aos três genótipos (CVSW80007, CVWS80147 e BRS610); Fator B, corresponde aos 2 Sistemas de Colheita dos Colmos (colmos limpos e colmos integrais) e Fator C, seis (ou sete) épocas de Colheita dos Colmos.

3.3. Colheita do Sorgo Sacarino e Obtenção do Caldo

Com objetivo de acompanhar o desenvolvimento da matéria-prima a ser utilizada para o processo fermentativo realizou-se a colheita das plantas em seis épocas distintas

(100, 105, 110, 118, 135 e 160 dias) após a semeadura. Em cada época foram coletados 25 colmos integrais (colmo + folhas) e 25 colmos limpos (sem folhas). Estes foram encaminhados para o Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Alcool e Microbiologia das Fermentações FCAV-UNESP, sendo pesados e submetidos à extração do caldo utilizando-se de moenda de laboratório. O caldo obtido foi utilizado para realização das análises químico-tecnológicas.

3.4. Avaliações Biométricas

Em cada amostra foram determinados:

- a) Altura da planta: realizada através de medição, em régua graduada, de 10 plantas, considerando-se do entrenó basal do colmo até o ápice da panícula.
- b) Diâmetro do colmo: obtida mediante a determinação dos diâmetros basal e apical em dez plantas empregando-se paquímetro analógico.
- c) Quantidade de matéria seca da planta (em %): foi retirada uma sub amostra da parte aérea, que foi colocada em estufa com circulação forçada de ar ($\pm 60^{\circ}\text{C}$) até a obtenção da massa seca.
- d) Biomassa fresca total da parte aérea (t/ha): com base na biomassa fresca total de 10 plantas e na quantidade de plantas/ha, calculou-se a biomassa fresca total da parte aérea.
- e) Biomassa seca total da parte aérea (t/ha): com base na biomassa fresca total da parte aérea (t/ha) e na quantidade de matéria seca da planta (em %), calculou-se a de biomassa seca total da parte aérea.
- f) Teor de sólidos solúveis (Brix) do caldo: após a amostragem e avaliações biométricas, determinou-se o Brix refratométrico do caldo a 20°C obtidos do 4º entrenó da planta.
- g) pH do caldo extraído: determinado por leitura direta em medidor digital Digimed DMPH-2 com correção de temperatura;.

3.5. Avaliação das Características Tecnológicas do Caldo

As metodologias utilizadas para as quantificações tecnológicas foram:

- a) Brix segundo SCHENEIDER (1979);
- b) pH por leitura direta em medidor digital Digimed DMPH-2 com correção de temperatura;

- c) Açúcares Redutores Totais (ART) foram dosados pelo método volumétrico de LANE & EYNON (1934);
- d) Os compostos fenólicos totais foram quantificados segundo FOLIN & CIOCALTEAU (1927),
- e) Acidez Total e o Teor de Amido foram determinadas segundo CTC (2005).

3.6. Preparo do Mosto

O caldo extraído foi submetido a um processo de clarificação para remoção de impurezas. Este processo consistiu na adição de ácido fosfórico (300 mL/L), correção do pH para valores próximos a 6 com leite de cal, aquecimento do caldo até 105°C e reação com polímero (Mafloc) na concentração de 2mg/L para decantação das impurezas. Em seguida, o caldo decantado foi filtrado para retirada da borra.

Para obtenção dos mostos foi realizada a padronização do Brix ($16 \pm 0,1$) e do pH do caldo clarificado (corrigido com Ácido Sulfúrico até $4,5 \pm 0,3$) e da temperatura a 32°C. A seguir determinaram-se os Açúcares Redutores Totais (LANE & EYNON, 1934), e a Acidez Total (CTC, 2005).

Para se ter uma melhor abrangência do presente estudo empregou-se em cada tratamento final as leveduras CAT-1 e PE-2, que têm se mostrado persistente nos processos fermentativos realizados no Estado de São Paulo e se apresentam como excelentes fermentadoras.

3.7. Condução do Processo Fermentativo

Alíquotas do mosto foram inoculadas com leveduras fermentadoras, CAT-1 ou PE-2, em concentração recomendada por AMORIM et. al.(1996), sendo os frascos inoculados mantidos a $32 \pm 1^\circ\text{C}$ durante todo o processo.

A condução da fermentação foi realizada em bateladas com recuperação do fermento por centrifugação. O processo foi monitorado por densimetria, sendo o final das fermentações estabelecido quando o Brix apresentasse valores menores ou iguais a 1, ou quando houvesse estabilização da leitura num intervalo de 30 minutos.

Ao término de cada fermentação, com duração de 12-14 horas, os vinhos foram centrifugados a 1650g, 25°C, por 5 minutos (centrífuga HIMAC CR 21G) para separação do fermento e do vinho.

No vinho delevurado determinou-se: o pH, Acidez Sulfúrica e o Glicerol (COPERSUCAR, 2001); Açúcares Redutores Residuais Totais (ARRT), segundo MILLER (1959).

3.8. Avaliação microbiológica das leveduras no processo fermentativo

Após 50 minutos de inoculação do fermento (Início) e final dos processos fermentativos foram realizadas contagens de células de leveduras em Câmara de Neubauer (LEE et al., 1981). Os parâmetros microbiológicos avaliados foram: viabilidade celular das leveduras, viabilidade de brotos, índice de brotamentos e concentração de bactérias contaminantes, que foram calculados através das seguintes fórmulas:

- a) Viabilidade Celular % = $\frac{\text{células vivas} \times 100}{\text{células vivas} + \text{mortas}}$
- b) Viabilidade de Brotos % = $\frac{\text{brotos vivos} \times 100}{\text{brotos vivos} + \text{mortos}}$
- c) Índice de Brotamentos % = $\frac{\text{brotos vivos} \times 100}{\text{células vivas} + \text{mortas}}$
- d) Concentração de Bactérias (cel/mL x 10⁶) = $n^{\circ} \text{ bactérias} \times \text{diluição} \times 2,5 \cdot 10^5 / 16$

3.9. Rendimentos, Eficiência Fermentativa e Produção de etanol

O Rendimento Teórico foi calculado, considerando-se que 1g de ART produz 0,6475 mL de etanol (reação estequiométrica). O Rendimento Prático (considerando-se o teor alcoólico do vinho), a Eficiência Fermentativa e a Produção de Etanol (L/ha) e (L/t) foram calculados segundo (FERNANDES, 2000).

3.10. Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey 5%) e análise de regressão polinomial empregando-se o Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos - AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Biometria

Os resultados obtidos para as determinações biométricas estão apresentadas na Tabela 04. Observou-se que houve efeito significativo para a interação genótipos e épocas. Considerando-se a altura das plantas, Figura 01, pode-se verificar que o BRS610 foi o genótipo que apresentou menor porte e o CVSW80007 maior porte juntamente com o CVWS80147. De um modo geral tem-se que o CVWS80147 na primeira amostragem apresentou os menores valores, porém na segunda amostragem estes eram similares ao CVWS80147, que se estabilizou aos 111 dias. Comportamento semelhante foi registrado para o BRS610 até os 83 dias e para o CVSW80007 até os 97 dias quando estabilizaram o crescimento.

Tabela 04. Valores médios da Altura, Diâmetro da base, Diâmetro da ponta, Número de folhas, Comprimento panícula, Biomassa total (t/ha), Colmos limpos (t/ha), % Colmos, Brix do caldo (%), pH do caldo, ART do caldo (%), dos genótipos de sorgo sacarino. Jaboticabal /SP. Safra 2011/2012.

GENÓTIPOS (A)	Altura (m)	Diâmet. Base (cm)	Diâmet. Ponta (cm)	Número Folhas	Compr. Panícula (cm)	Biomas. Total (t/ha)	Colmos Limpos (t/ha)	% Colmos
CVSW80007	2,80A	1,76B	0,96B	9,67 C	53,44 B	32,76A	17,97A	58,31A
CVWS80147	2,63A	1,83B	0,96B	10,60 B	57,40 A	34,98A	18,66A	54,82A
BRS610	2,21B	2,03A	1,01A	11,00 A	57,39 A	37,41A	19,52A	53,13 A
Teste F	75,39**	60,39**	16,11*	193,63**	16,31*	2,88ns	1,15ns	1,60ns
DMS	0,17	0,09	0,03	0,24	2,85	6,90	3,65	10,51
CV	6,30	4,43	3,59	2,14	4,62	17,91	17,76	17,25
ÉPOCA (B)								
69	1,70E	1,46F	0,63F	8,91 F	0,00 G	23,76 D	16,01B	69,50 A
83	2,34D	1,65E	0,75E	9,56 E	21,33 F	32,13BC	15,96B	50,48BC
97	2,52CD	1,75DE	0,83DE	10,15 D	60,55 E	29,92 C	17,71B	59,47 B
111	2,64BC	1,83CD	0,92D	10,59 C	69,72 D	32,20BC	17,57B	55,86BC
125	2,73BC	1,92C	1,06C	10,92 B	75,90 C	37,76B	21,27A	56,80BC
139	2,83AB	2,11B	1,18B	11,05 B	80,12 B	45,27A	21,24A	47,31 C
153	3,05A	2,42A	1,46A	11,80 A	84,95 A	44,31A	21,23A	48,51 C
Teste F	65,29**	97,55**	125,97**	236,14**	1252,18**	36,80**	26,48**	11,89**
DMS	0,23	0,14	0,11	0,27	4,06	5,69	2,11	9,84
CV	6,32	5,09	7,61	1,81	4,92	11,05	7,67	12,06
Teste F AxB	5,23**	1,43ns	0,74ns	2,57*	1,46 ns	2,05*	2,45*	1,32ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

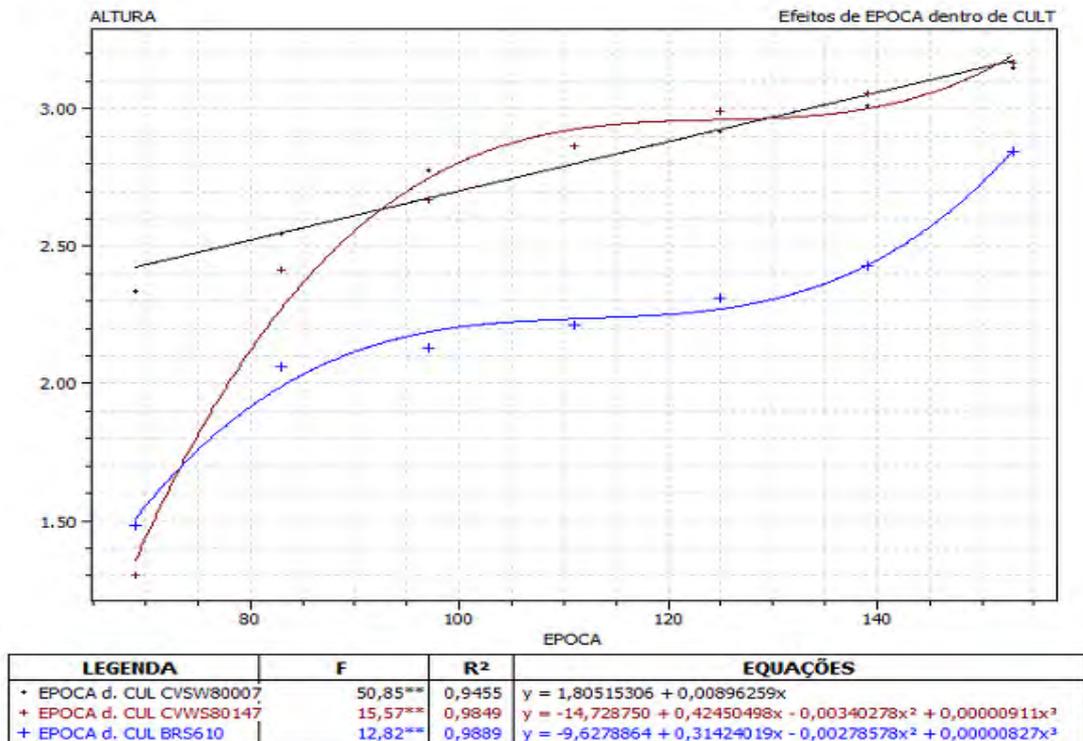


Figura 01. Regressão polinomial para altura dos genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Tendências semelhantes foram observadas por CASALETI (2011), que estudando 6 híbridos na região de Ribeirão Preto, SP, observou variações da ordem de 1,0 a 2,7 metros. ALBUQUERQUE et al. (2010) estudando BRS506 e BRS507 cultivados em Nova Porteirinha-MG relataram variações de 6,93% para o comprimento das plantas coletadas na mesma época, com altura média de 2,16 metros. Na presente pesquisa o BRS610 atingiu nas últimas amostragens 2,40-2,80 metros enquanto que os outros genótipos apresentaram valores pouco superiores a 3 metros.

Analisando-se os resultados para o diâmetro da base (Tabela 04 e Figura 02) verificou-se que o BRS610 apresentou os maiores valores ao longo de todo período analisado. O CVWS80147 apresentou diâmetro maior que o CVSW80007 até os 111 dias. Considerando-se as épocas de amostragem, observou-se aumentos significativos até os 153 d.a.s, sendo que entre 97 e 125 d.a.s. o BRS610 apresentou menor intensidade de crescimento do diâmetro possivelmente influenciado pelo estresse hídrico ocorrido neste período. Relatos de SOUZA et. al. (2007) avaliando uma variedade comercial em comparação com duas “crioulas” (Amarelão e Pinta-roxa), obtiveram diâmetros médios entre 10,33mm a 13,83mm bem inferiores aos determinados no presente ensaio. CASALETI (2011) estudando híbridos verificou que o maior diâmetro foi o PAC8381 (17,79mm). Os

genótipos estudados apresentaram valores superiores, da ordem de 2,66 cm para o BRS610; 2,31 cm para o CVSW80007 e 2,28 cm para o CVWS80147, aos 153 d.a.s.

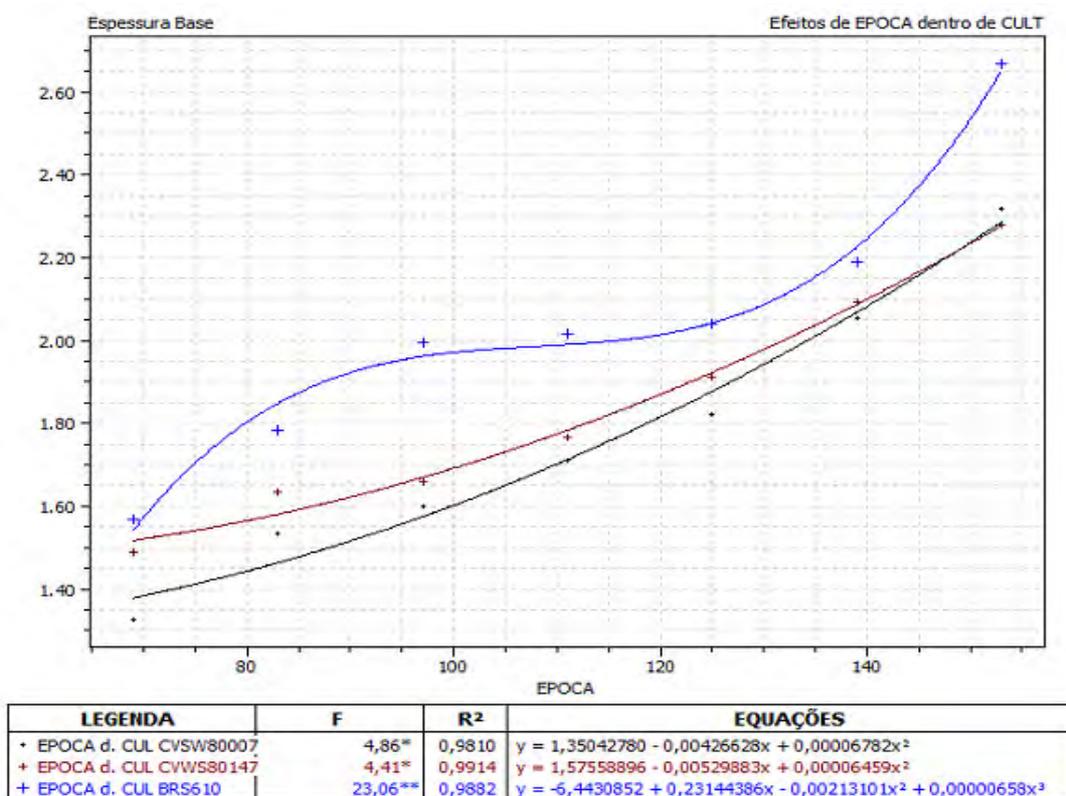


Figura 02. Representação gráfica da regressão polinomial para o diâmetro da base para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Para o diâmetro da ponta (Tabela 04 e Figura 03) verificou-se que para todos os genótipos estudados houve incremento ao longo das épocas, diferenciando-se apenas aos 153 d.a.s., quando o BRS610 apresentou maior média.

Avaliando-se o número de folhas (Tabela 04 e Figura 04) verificou-se que o CVSW80007 foi o que apresentou os menores valores em relação aos outros genótipos em todas as épocas de amostragem. O BRS610 foi o que apresentou maior número de folhas ao longo de todo período seguido pelo CVWS80147, com valores intermediários, não diferindo significativamente aos 69, 125 e 139 d.a.s.. Na presente pesquisa o BRS610 apresentou valores médios de 12,43 folhas, enquanto a CVWS80147 11,86 e a CVSW80007 11,10 folhas. Segundo CASALETTI (2011) estudando 3 cultivares em dois locais diferentes, verificou que a cultivar Chopper apresentou o menor número de folhas (6,9-9,6) sendo que para o PAC8381 e Sugargraze os números de folhas foram semelhantes aos quantificados nesta pesquisa para o genótipo CVWS80147. Relatos de MOREIRA (2012) corroboram estas informações, quando avaliando 4 genótipos de sorgo,

observou que para o BRS501 os valores foram de 21,25 folhas e para o BRS506 da ordem de 12,83 folhas.

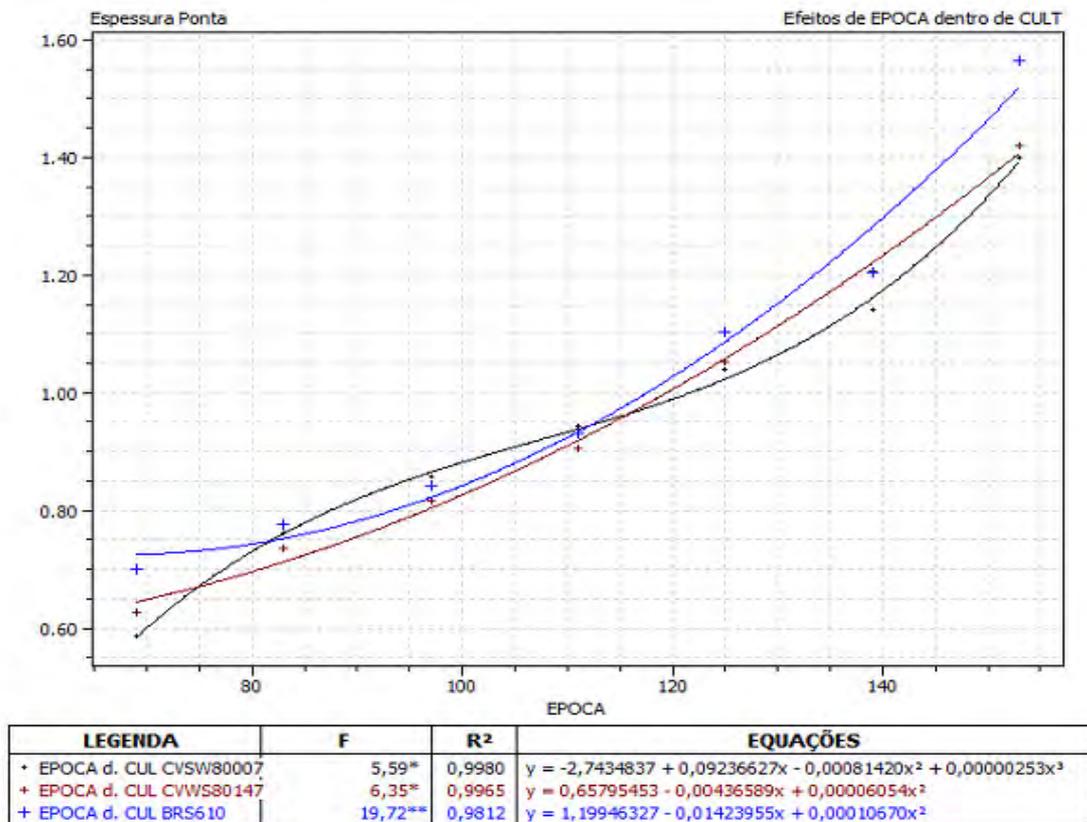


Figura 03. Representação gráfica da regressão polinomial para o diâmetro da ponta para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Considerando-se o comprimento da panícula (Tabela 04 e Figura 05) o CVSW80007 foi a que apresentou os menores valores em relação aos demais genótipos em todas as épocas de amostragem, sendo que somente aos 153 d.a.s. houve diferença significativa. Dos 69 aos 153 d.a.s a panícula manteve o crescimento, com maior intensidade aos 111 d.a.s. Aos 153 d.a.s o comprimento da panícula foi de 88,50 cm para BRS610, 86,46 cm para CVWS80147 e 79,90 cm para CVSW80007, respectivamente.

Os resultados observados para altura das plantas e comprimento da panícula (Tabela 04, Figura 01 e Figura 05) indicaram que o comprimento final dos colmos foi de 1,95 m para o BRS610, 2,34 m para o CVSW80007 e 2,29 m para o CVWS80147. Analisando-se o comprimento médio dos entrenós observou-se valores de 17,1 cm para o BRS610, 23,2 cm para o CVSW80007 e 21,13 cm para o CVWS80147.

Com relação à produção de biomassa total (Tabela 04 e Figura 06) pode se verificar que na primeira amostragem o CVSW80007 apresentou a menor produtividade. A partir dos

83 d.a.s. os 3 genótipos mantiveram a acumulação de biomassa não apresentando diferenças significativas entre si, até os 153 d.a.s..

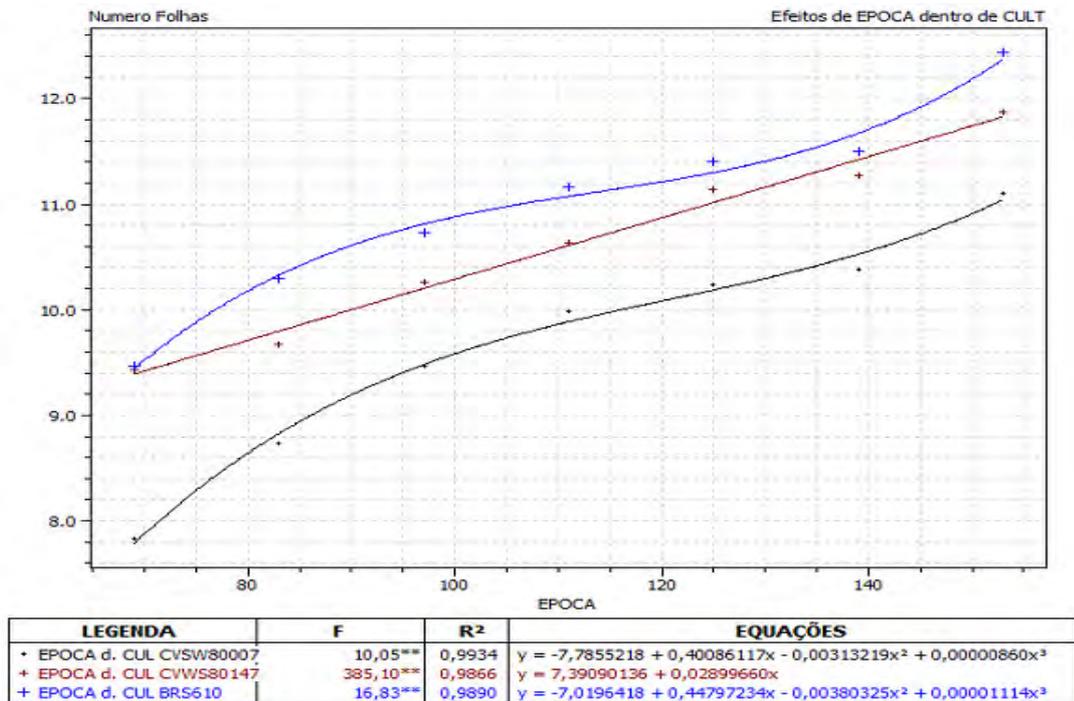


Figura 04. Representação gráfica da regressão polinomial do número de folhas para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

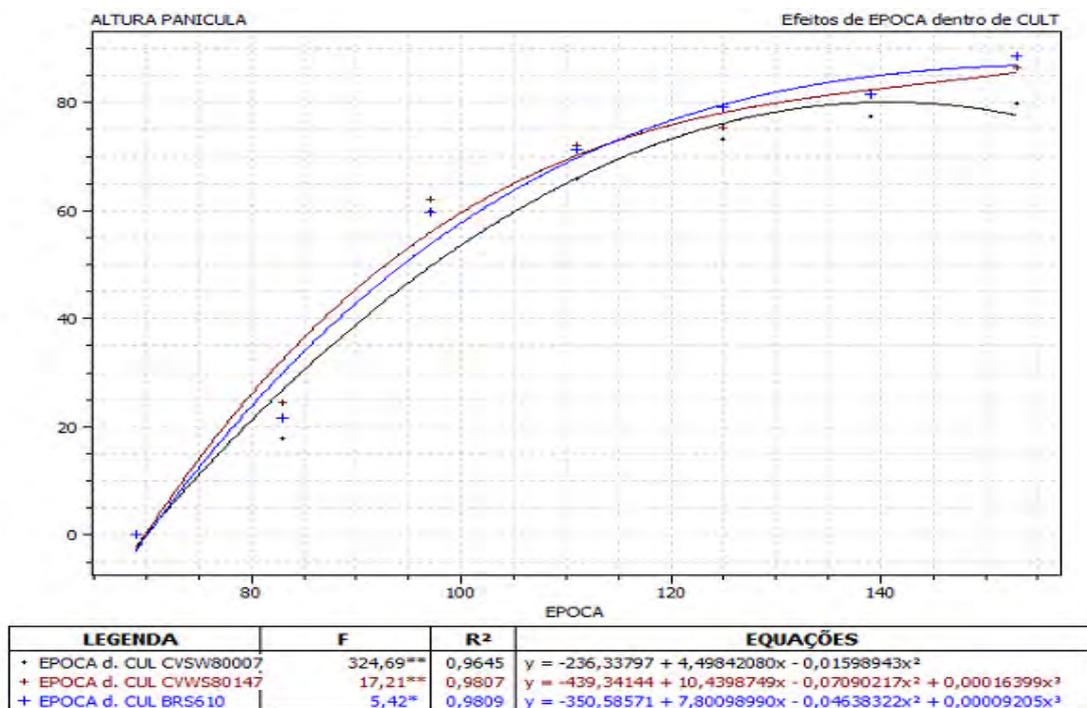


Figura 05. Representação gráfica da regressão polinomial do comprimento da panícula para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Entretanto, considerando os valores médios obtidos entre 83 e 111 d.a.s a taxa de acúmulo de biomassa foi menor provavelmente devido à restrição ambiental, sendo que neste caso o CVWS80147 apresentou-se mais sensível ao estresse hídrico. O BRS610 foi o genótipo que apresentou ao longo das épocas de amostragem a maior produtividade de biomassa, atingindo aos 153 d.a.s 46,59 t/ha, enquanto o CVWS80147 produziu 43,56 t/ha e o CVSW80007 42,78 t/ha.

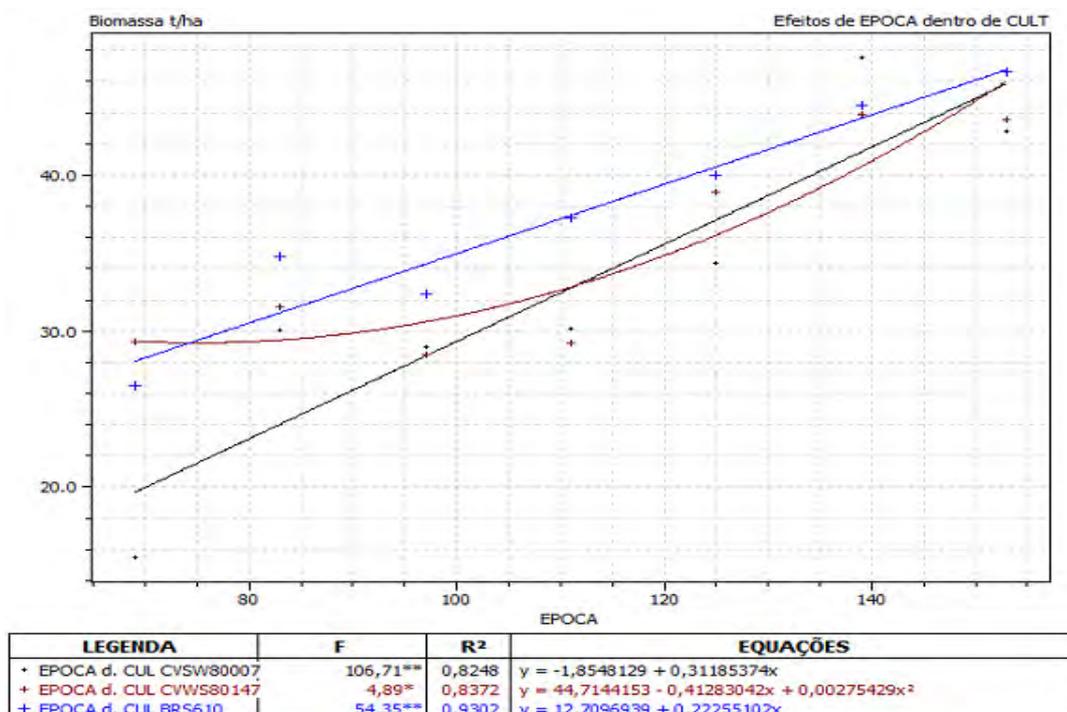


Figura 06. Representação gráfica da regressão polinomial da Biomassa total (t/ha) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

A produtividade de colmos limpos (Tabela 04 e Figura 07) apresentadas pelos genótipos estudados indicou a mesma tendência que a produtividade de biomassa total (t/ha), ou seja, somente aos 69 d.a.s. que o CVSW80007 apresentou a menor produtividade e diferiu significativamente dos demais. Pode-se constatar também que o CVWS80147 dos 83 aos 111 d.a.s apresentou significativa restrição de produtividade. Verifica-se ainda que a partir dos 125 d.a.s ocorreu uma estabilização da produtividade com tendências de redução para os 153 d.a.s. exceto para o genótipo CVSW80007.

O BRS610 foi o que apresentou a maior produtividade principalmente nas 3 épocas de avaliação quando atingiu valores superiores a 22 t/ha, considerando este mesmo período o CVWS80147 atingiu produtividade próxima a 20 t/ha e o CVSW80007 20,5 t/ha.

Considerando-se o rendimento (em %) dos colmos limpos (Tabela 04 e Figura 08), pode-se verificar redução ao longo do tempo, da ordem de 45 a 55%, a partir dos 125 d.a.s para os 3 genótipos. De modo geral, o CVSW80007 foi o que apresentou maior redução e o BRS610 a menor.

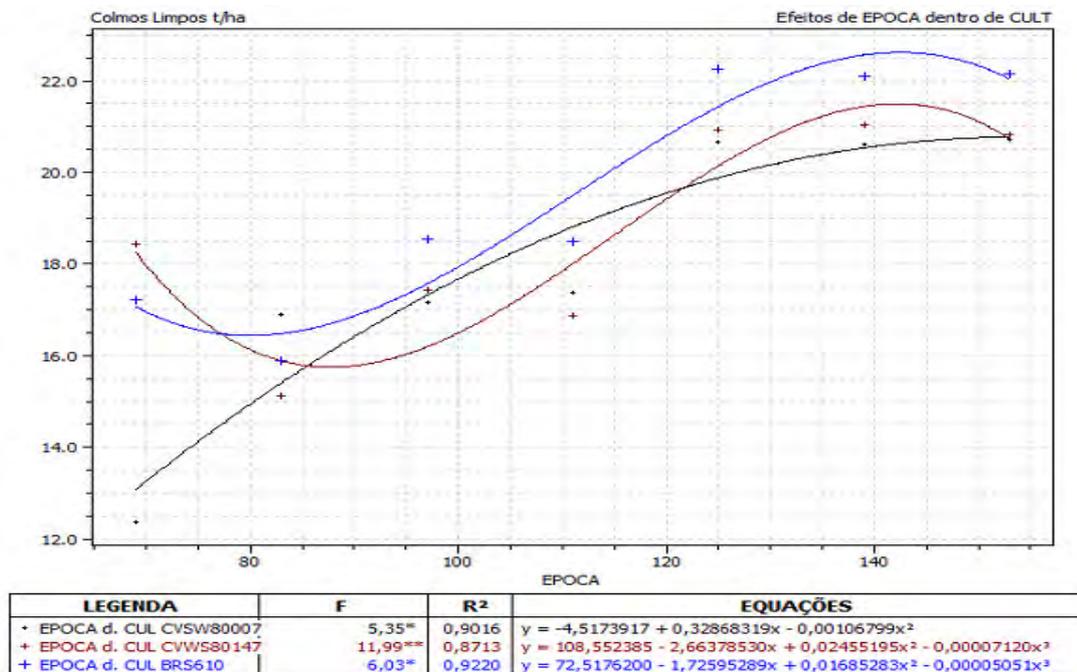


Figura 07. Representação gráfica da regressão polinomial de colmos limpos (t/ha) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

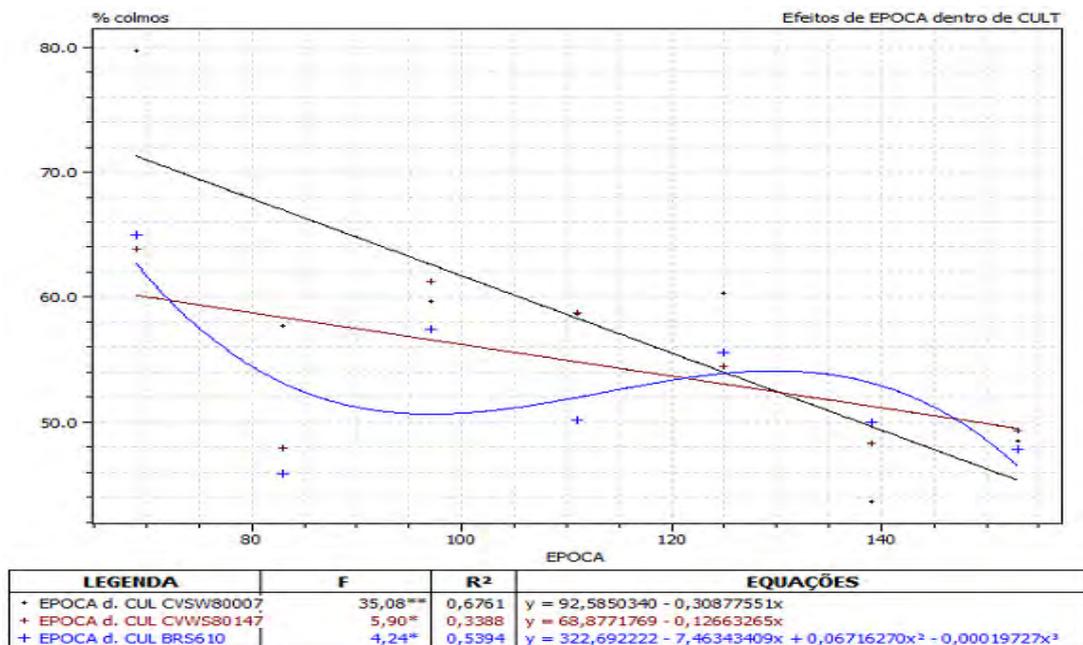


Figura 08. Representação gráfica da regressão polinomial da % colmos para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

4.2. Qualidade da Matéria-Prima

Os resultados obtidos para as características químico-tecnológicas do caldo do sorgo sacarino estão apresentados na Tabela 05. Verificou-se que o genótipo BRS610 apresentou menores valores de sólidos solúveis (Brix) e Açúcares Redutores Totais (ART) em relação aos CVSW80007 e CVWS80147, que não diferiram entre si. Este comportamento era esperado uma vez que o BRS610 é classificado como sorgo forrageiro. Observou-se incremento significativo dos valores de Brix e ART até os 135 dias após a semeadura (Tabela 05 e Figuras 09 e 10), com redução significativa até os 160 dias. Os valores médios obtidos foram superiores aos observados por RIBEIRO FILHO et al. (2008). Os sistemas de colheita avaliados não influenciaram significativamente na qualidade da matéria-prima, diferentemente do relatado por estes autores, que constataram em colmo limpo e em colmo com folhas, valores de Brix da ordem de 12,4 e 11,6 e ART de 9,66% e 9,81%, respectivamente.

Segundo SCHAFFERT & PARRELLA (2012) para a produção econômica e sustentável de etanol a partir do sorgo sacarino é necessário um mínimo de 12,5% de ART, que é utilizado para se estabelecer o PUI (Período Útil de Industrialização). Os resultados obtidos na presente pesquisa indicam que o CVSW80007 e o CVWS80147 apresentaram um PUI de 40 dias iniciando-se aproximadamente aos 115 d.a.s. (Figura 10), enquanto RODRIGUES (2010) analisando a curva de maturação da BRS506 no norte de Minas Gerais obteve PUI de 25 dias. De acordo com observações de SOUZA (2011) o período de utilização industrial (PUI) do sorgo sacarino pode variar entre os genótipos, devido o efeito da curva de acumulação dos açúcares, o que pode mascarar genótipos potenciais quanto ao teor de sólidos solúveis.

Os valores médios de Brix obtidos neste estudo, foram da ordem de 16 Brix, semelhantes aos relatados por SOUZA et al., (2011). Entretanto, quando se comparou os genótipos de sorgo sacarino com os valores médios das cultivares RB966928 e RB855156, colhidas em abril, na região de Jaboticabal – SP, verificou que os valores apresentados para o Brix do caldo extraído foram inferiores aos observados para as cultivares de cana-de-açúcar (Tabela 05).

Considerando-se os teores de ART presentes no caldo do sorgo sacarino, verificou-se que foram inferiores aos recomendados por AMORIM (2005), que considera ideal, valores superiores a 15%, quando se utiliza caldo de cana-de-açúcar como matéria-prima.

Tabela 05. Brix, pH, Acidez Total, ART, Compostos Fenólicos e Amido do caldo extraído de sorgo sacarino e valores médios da cana-de-açúcar. Jaboticabal, SP, 2012.

Tratamentos	Brix	pH	Ac. Total (gH ₂ SO ₄ /L)	ART (%)	C. Fenól. (ug/mL)	Amido (ug/mL)
Genótipos (A)						
CVSW80007	16,12A	4,94A	1,54A	12,03A	705,02A	385,55B
CVWS80147	15,89A	4,96A	1,76A	11,70A	726,42A	496,86A
BRS610	11,97B	4,92A	1,72A	9,47B	690,16A	346,75B
Teste F A	43,32**	0,85ns	2,22ns	89,51**	0,09ns	21,90**
DMS	1,78	0,09	0,40	0,74	303,27	83,91
CV	14,48	2,34	29,03	7,97	51,04	24,38
S. Colheita (B)						
Sem Folha	14,75A	4,90A	1,58A	11,17A	730,14A	447,12A
Com Folha	14,57A	4,98A	1,77A	10,96A	684,26A	372,32B
Teste F B	1,31ns	15,20**	5,94ns	1,07ns	1,13ns	6,42*
DMS	0,36	0,04	0,18	0,50	105,72	72,22
CV	5,32	2,05	23,54	9,70	31,74	37,43
Épocas (C)						
100	11,93C	5,09A	1,34B	9,03D	450,08B	205,66D
105	13,63B	5,03A	1,59B	9,70CD	316,62B	303,91CD
110	14,77B	4,91B	1,48B	11,84AB	440,37B	342,21CD
118	16,28A	4,90BC	1,63B	11,52AB	1499,12A	439,98BC
135	16,68A	4,91BC	2,27A	13,19A	508,88B	555,10AB
160	14,67B	4,80C	1,74AB	11,12 BC	1028,14A	611,45A
Teste F C	38,51**	14,84**	5,36**	12,28**	15,09**	22,23**
DMS	1,17	0,11	0,57	1,78	493,32	136,87
CV	8,13	2,29	35,00	16,47	71,08	34,04
Teste F Ax B	1,68ns	3,05ns	0,15ns	3,10ns	3,92ns	0,33ns
Teste F Ax C	2,98**	1,73ns	0,95ns	0,51ns	0,99ns	1,85ns
Teste F Bx C	0,24ns	1,16ns	0,81ns	0,71ns	1,75ns	2,73*
Teste F Ax Bx C	1,12ns	1,57ns	0,39ns	1,45ns	0,61ns	1,20ns
Cana-de-açúcar						
RB966928	21,18	5,25	0,99	17,80	505,38	244,00
RB855156	18,00	5,00	1,72	10,32	655,00	450,00

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

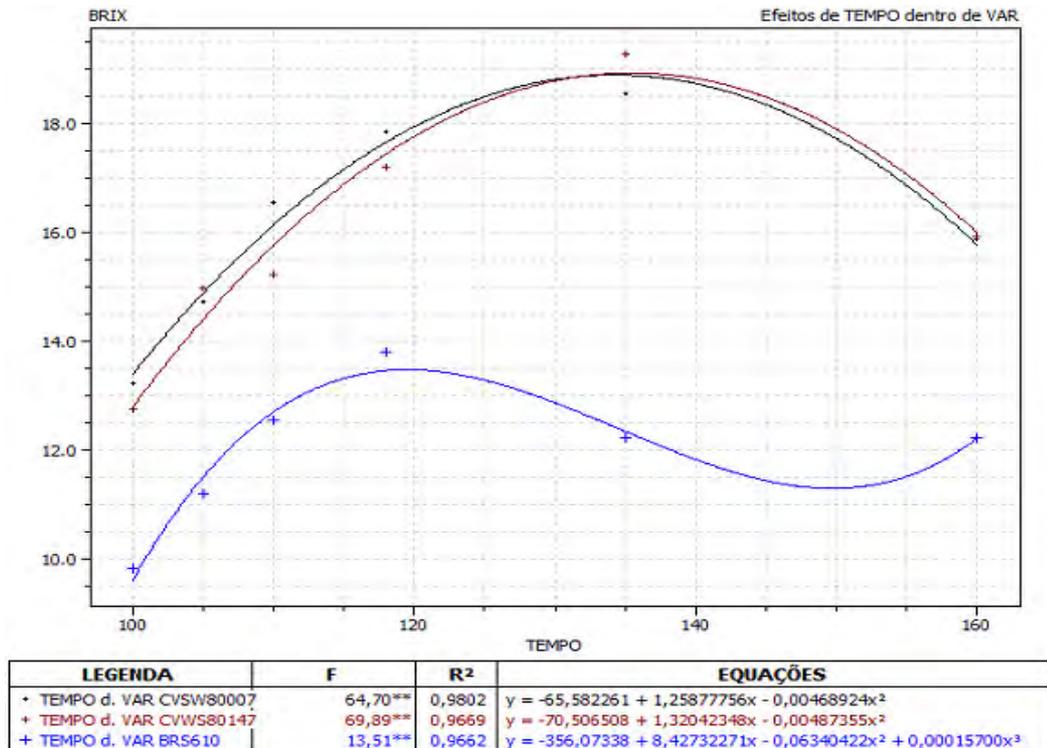


Figura 09. Representação gráfica da regressão polinomial de sólidos solúveis (Brix) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

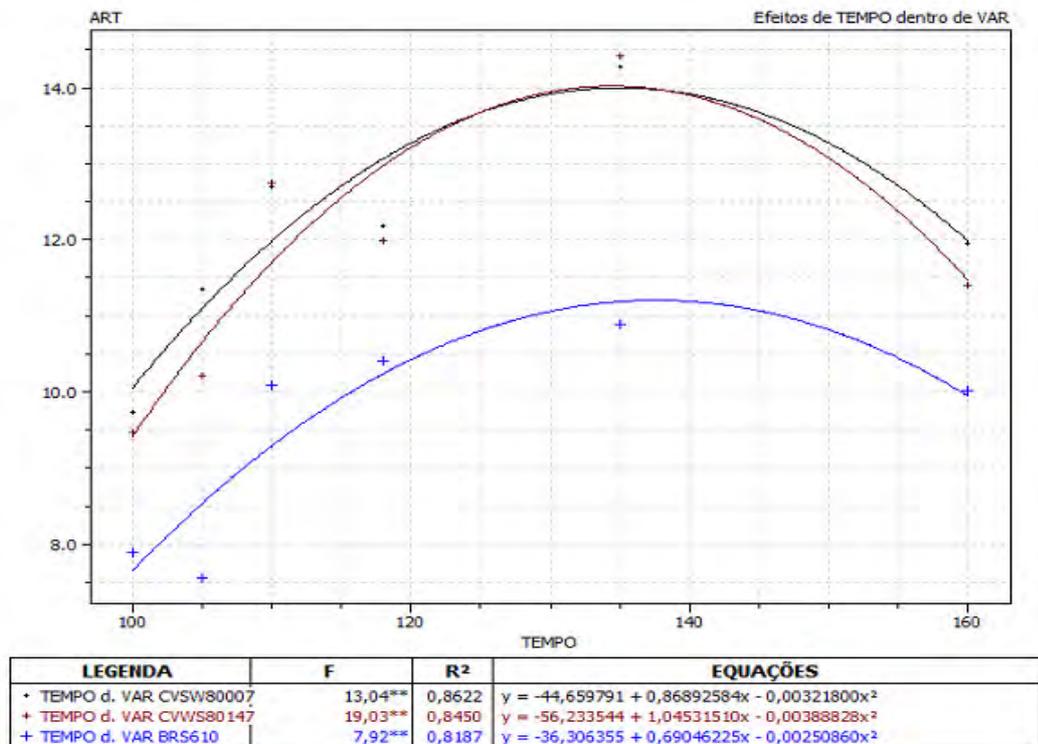


Figura 10. Representação gráfica da regressão polinomial de Açúcares Redutores Totais (ART) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Para o parâmetro pH, que caracteriza a condição de maturação do colmo, e a qualidade do caldo extraído, não se observou diferença significativa para os genótipos estudados e o sistema de colheita (Tabela 05). Observou-se redução significativa dos valores para o período compreendido entre 100 e 160 d.a.s.. RIBEIRO FILHO et al. (2008) estudando a caracterização do caldo de sorgo, encontrou valores de pH acima dos obtidos nesta pesquisa, sendo 5,31 para colmo limpo e 5,46 para colmos com folhas. Os valores de pH para cultivar RB966928 foram superiores aos verificados para os genótipos de sorgo sacarino (Tabela 05). De um modo geral, os valores obtidos para o caldo extraído de sorgo apresentaram-se adequados para o processo fermentativo, com valores indicados como ideais para o desenvolvimento das leveduras, entre 4,5 a 6,5.

Os resultados obtidos para acidez total e compostos fenólicos do caldo extraído apresentaram efeitos não significativos para os genótipos e sistemas de colheita estudados (Tabela 05). Verificou-se aumento significativo para os teores de compostos fenólicos totais na 4a época (118 d.a.s.) e 6a época (160 d.a.s.) entre os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 (Figura 11). Este comportamento pode ser o reflexo da reação fisiológica da cultura em resposta às condições ambientais predominantes neste período, quais sejam, baixa precipitação, baixos teores de armazenamento de água no solo, elevado déficit hídrico, aliado às temperaturas médias elevadas. Sob esta condição a cultura de sorgo sacarino em plena atividade metabólica passou a destinar parte dos fotossintatos para a produção de biomoléculas de defesa, tais como os compostos fenólicos.

De acordo com DICKO et al., (2006) o sorgo possui alto conteúdo de compostos fenólicos, podendo atingir até 6% em algumas variedades, sendo que as características genéticas e as condições ambientais em que são cultivados, são fatores determinantes na produção destes pela planta.

Os teores de compostos fenólicos obtidos para as cultivares RB966928 e RB855156 foram semelhantes aos relatados para os genótipos de sorgo sacarino (Tabela 05). Considerando-se o padrão de qualidade sugerido por AMORIM (2005), que recomenda valores inferiores a 500ppm, pode-se afirmar que o sorgo sacarino e a cana-de-açúcar não se apresentavam adequados ao processamento industrial para a produção de etanol.

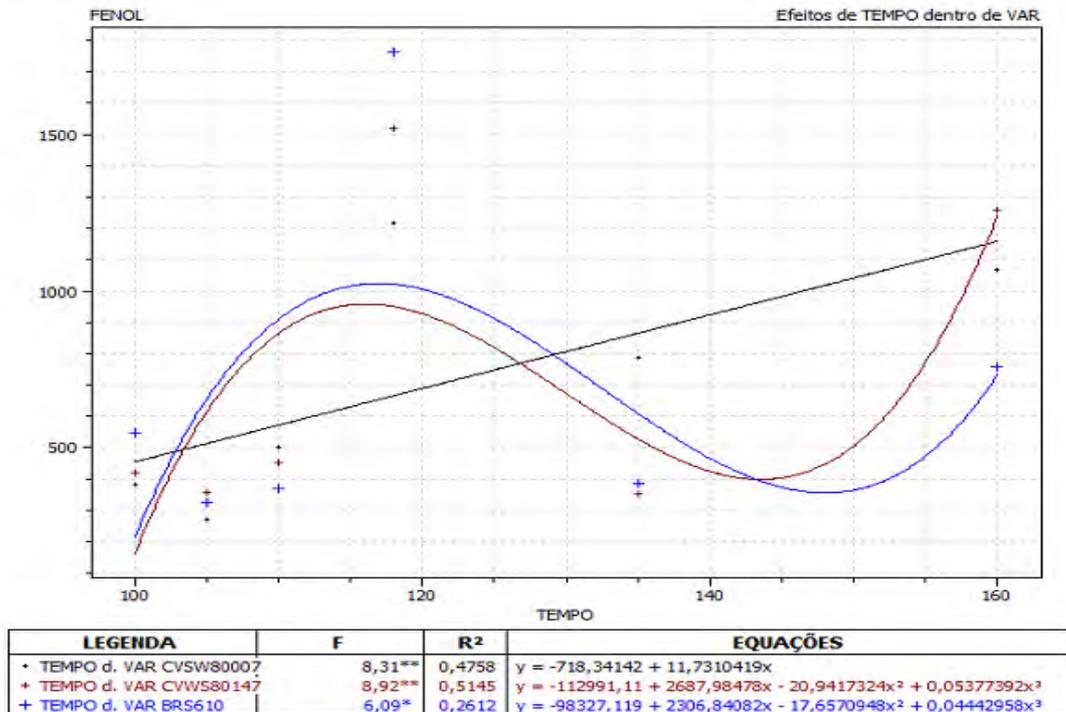


Figura 11. Representação gráfica da regressão polinomial de compostos fenólicos para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

O amido é uma biomolécula característica do sorgo, que é armazenada nos grãos da panícula. De acordo com GUIYING et al. (2000), os níveis apresentados pela planta dependem do estágio de desenvolvimento e do genótipo estudado, sendo que quanto maior o nível de maturação maior a quantidade de amido armazenado no grão. Segundo NAN et al., (1994) os teores de amido no caldo podem variar de 300 a 9900 ppm, com a maioria dos valores na faixa de 2000 ppm. Os resultados obtidos neste estudo indicaram que o genótipo CVWS80147 foi o que apresentou maiores teores de amido no caldo, sendo superior em 111,29 (ug/mL) quando comparado ao genótipo CVSW80007 e em 150,11(ug/mL) em relação ao BRS610, que não diferiram significativamente entre si (Tabela 05). Comparando-se com a cultivar RB855156 verificou-se valores similares aos do sorgo, enquanto a RB966928 apresentou teores da ordem de 244ug/mL. Considerando-se a recomendação de AMORIM (2005) verificou-se que os conteúdos de amido no caldo de sorgo sacarino são compatíveis para o processamento tecnológico.

Os sistemas de colheita avaliados ao longo das épocas de amostragens indicaram que aos 105, 110, 118 e 160 d.a.s. o colmo sem folhas e panículas apresentou os maiores valores médios de amido no caldo, sendo que aos 135 d.a.s. não foram observadas diferenças significativas (Figura 12). Verificou-se que os teores de amido aumentaram

significativamente com o tempo, semelhantemente ao citado por GUIYING et. al.(2000) e, diferentemente do obtido por NAN et al. (1994), que constataram menores valores com o desenvolvimento do sorgo (Figura 13). Considerando-se o comportamento dos genótipos, a partir dos 118 d.a.s., o CVSW80147 foi o que apresentou os maiores valores, seguidos pelo CVSW80007, e o BRS610, que apresentou os menores valores similares aos obtidos com o RB855156.

Os resultados obtidos permitem considerar que no decorrer do período avaliado ocorreram mudanças fisiológicas que influenciaram significativamente as características químico-tecnológicas dos genótipos de sorgo estudados. Neste contexto, pode-se afirmar que as informações observadas neste estudo indicam o potencial de uso do sorgo sacarino como matéria-prima para produção de bioetanol, em início de safra.

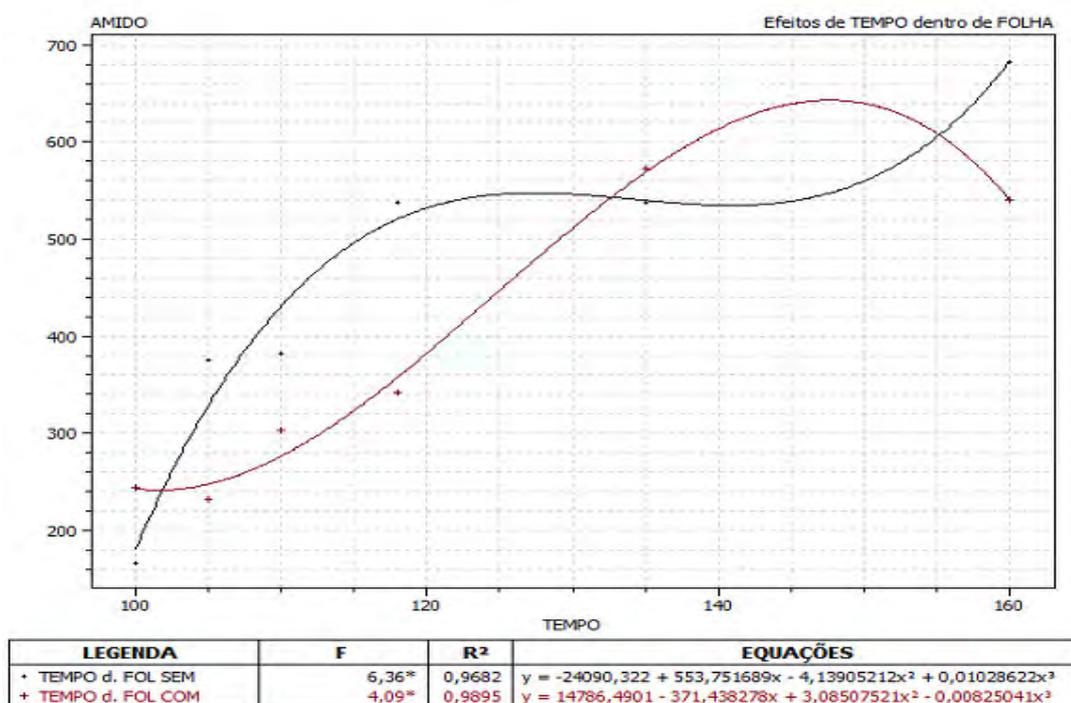


Figura 12. Representação gráfica da regressão polinomial do teor de amido do caldo para os sistemas de colheita, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

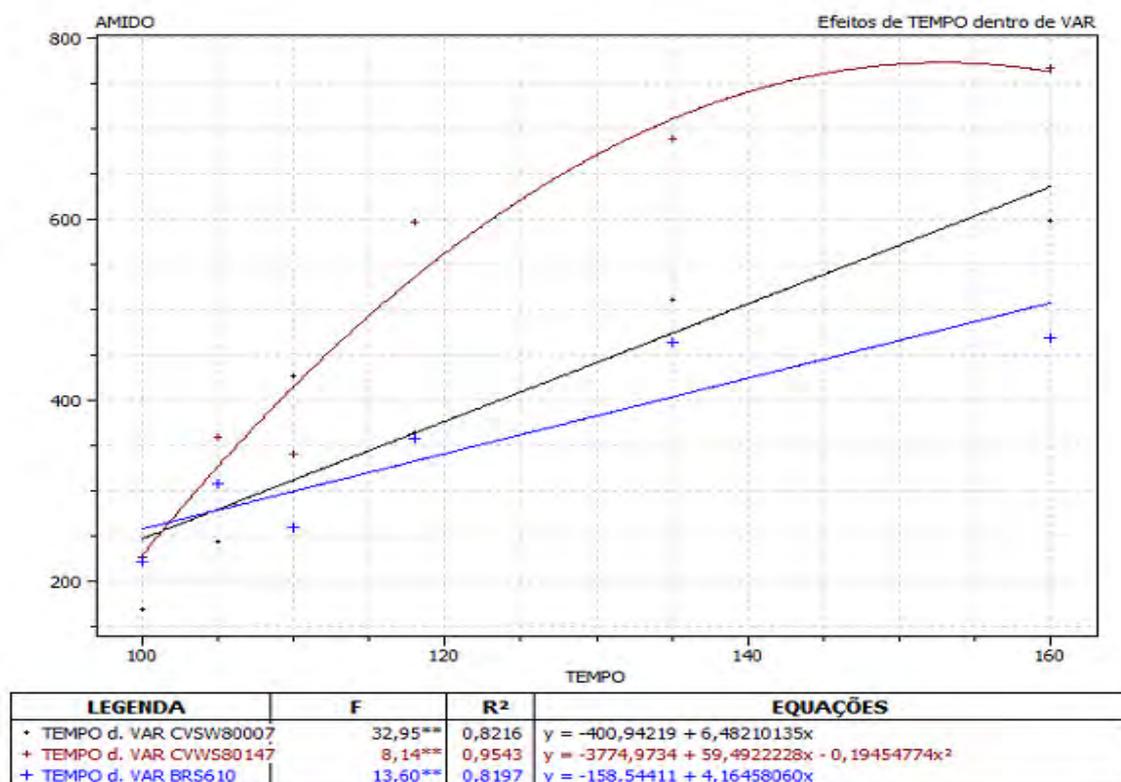


Figura 13. Representação gráfica da regressão polinomial do teor de amido do caldo dos genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610, em função das épocas de amostragem. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

4.3. Processo fermentativo

4.3.1. Características do Mosto

A fermentação corresponde ao processo de liberação de energia por anaerobiose, sem a participação do oxigênio. Compreende um conjunto de reações controladas por diversas enzimas, através das quais os açúcares são transformados em etanol, massa celular, glicerol, ácidos succínico e acético, álcoois superiores, ésteres e CO₂, dentre outros compostos, liberando energia.

Para que estas transformações sejam realizadas, sob a ótica de elevados rendimentos e eficiências é necessário que o substrato utilizado esteja adequado ao microrganismo fermentador, apresentando qualidade, estejam isentos ou com baixos níveis de contaminações e teores de nutrientes, conforme recomendações técnicas.

Neste sentido, o sorgo sacarino está se apresentando como matéria-prima para ser utilizada na produção de etanol, em complementação com a cana-de-açúcar, por via fermentativa. Possui elevados teores de carboidratos tanto nos grãos quanto no caldo

extraído do colmo. Embora o caldo seja muito semelhante ao caldo de cana-de-açúcar, contém componentes minerais e orgânicos que o diferenciam, considerando-se sua utilização para preparo do mosto a ser fermentado por leveduras.

Sob esta ótica, verifica-se que o conhecimento das características químico-tecnológicas da matéria-prima que constituirá o mosto é de fundamental importância para o processo. Entretanto estas informações não estão disponíveis na literatura, considerando-se os genótipos recentemente disponíveis no mercado, assim como as leveduras fermentadoras.

Os resultados obtidos para a composição do mosto encontram-se na Tabela 06. Verificou-se que o mosto produzido a partir do caldo extraído do genótipo BRS610 apresentou menores valores de Brix, comparado aos genótipos CVSW80007 e CVWS80147. Este comportamento reflete de modo direto o potencial de acumulação de açúcares nos colmos pelos genótipos estudados, após o processo de extração do caldo. Os resultados demonstraram que acumulação de Brix e ART ocorreu até os 135 d.a.s., sendo que após os 160 d.a.s observou-se significativa redução (Figura 09). Os valores de Brix observados para o mosto refletem o mesmo procedimento já relatado anteriormente (Tabela 05 e Figura 09).

O comportamento observado para o pH e Acidez Total do mosto (Tabela 06) indicam que o BRS610 teve menores valores quando comparado aos demais genótipos. Para Acidez estes apresentaram em média 20% superiores em relação ao caldo original, em função da adição de ácido sulfúrico para adequação do pH para o processo fermentativo.

Para os compostos fenólicos verificou-se redução nos valores da ordem de 40 a 50%, como resultado do processo de tratamento do caldo. Após a etapa de clarificação pode-se constatar que os teores ficaram dentro dos ideais, conforme recomendado por AMORIM (2005). Cabe destacar que para os 118 d.a.s. este comportamento não foi observado. Considerando-se os genótipos estudados, pode-se verificar que apresentaram diferenças após o processo de clarificação para os diferentes sistemas e as épocas de colheitas avaliadas. É importante salientar que a utilização da operação de tratamento de caldo se faz necessária quando do emprego do sorgo sacarino como matéria-prima para a composição do mosto. Por ocasião desta verificou-se a eliminação de compostos que podem atuar como inibidores das leveduras durante o processo fermentativo. Estudos realizados por ANDRZEJEWSKI, et al. (2013) avaliando a operação de clarificação dos caldos de sorgo sacarino para a produção de etanol demonstraram haver efeito significativo do processo de tratamento sobre a qualidade dos caldos, para as diferentes cultivares, podendo ser considerado essencial para o processo fermentativo.

Tabela 06. Resultado da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para características químico-tecnológicas do mosto. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

	Brix	pH	Acidez Total (gH ₂ SO ₄ /L)	ART (%)	Compostos Fenólicos (ug/mL)
Genótipos (A)					
CVSW80007	15,77A	4,51B	1,82B	11,14A	388,08A
CVWS80147	15,40A	4,51B	2,06AB	10,91A	361,27A
BRS610	12,81B	4,52A	2,27A	8,95B	384,37A
Teste F	119,72**	11,87*	19,83**	63,84**	1,09ns
DMS	0,74	0,01	0,25	0,75	70,07
CV	6,01	0,38	14,72	8,74	22,07
Folha (B)					
Sem Folha	14,80A	4,51A	2,05A	10,50A	405,03A
Com Folha	14,51B	4,51A	2,06A	10,17A	350,78A
Teste F	23,88**	0,02ns	0,01ns	4,94ns	2,14ns
DMS	0,14	0,01	0,17	0,35	90,65
CV	2,10	0,67	18,25	7,38	50,94
Época (C)					
100	12,40D	4,52A	2,00A	9,25B	362,27B
105	14,43C	4,53A	2,08A	10,14AB	215,06B
110	15,04AB	4,52AB	1,91A	9,79AB	208,86B
118	15,58AB	4,49B	1,92A	11,17A	878,45A
135	15,70A	4,51AB	2,34A	11,15A	290,90B
160	14,80BC	4,52AB	2,07A	10,49AB	311,90B
Teste F	34,88**	3,22*	2,29ns	3,51**	26,73**
DMS	0,84	0,03	0,43	1,69	202,99
CV	5,89	0,77	21,35	16,69	54,74
Teste F AxB	1,68ns	3,05ns	0,07ns	2,12ns	23,73**
Teste F AxC	3,12**	1,57ns	0,64ns	0,68ns	1,82ns
Teste F BxC	0,60ns	0,40ns	1,77ns	0,67ns	2,70*
Teste F AxBxC	1,19ns	1,10ns	0,35ns	0,58ns	10,35*

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

O processo fermentativo transcorreu sem dificuldades, sendo que para a total transformação dos açúcares presentes no mosto, verificou-se um período maior, de cerca de 12-14 horas. Deve-se destacar que não houve a utilização de qualquer tratamento enzimático no caldo, uma vez que o objetivo era estudar a fermentação do mosto do caldo de sorgo, sob condições semelhantes às empregadas para a cana-de-açúcar.

4.3.2 Microbiologia da Fermentação

A utilização do sorgo como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para produção de etanol, em início de safra, ainda que polêmica prescindida de informações, especialmente considerando-se o substrato para a multiplicação do fermento e manutenção do processo fermentativo ao longo do período. Sob esta ótica deve-se considerar a viabilidade das células de leveduras, sua permanência no ambiente fermentador através dos brotamentos e da viabilidade dos brotos formados.

Ainda não estão bem conhecidas as exigências das leveduras para esta matéria-prima considerando-se os diferentes genótipos disponíveis atualmente no mercado. Neste sentido o presente estudo buscou avaliar o comportamento microbiológico das leveduras CAT-1 e PE-2, para genótipos de sorgo, com sistemas de manejo da colheita.

Os resultados obtidos para viabilidade celular do pé-de-cuba (Tabela 07) indicaram que aos 30 minutos após a inoculação do fermento no mosto a viabilidade média das leveduras, para os genótipos estudados foi de 86,86% para a CAT-1 e 76,26% para a PE-2. Não foram observadas diferenças significativas quanto as taxas de brotamento das leveduras entre os genótipos. Constatou-se ainda que o processamento dos colmos com folha e sem folha não alterou a viabilidade celular e de brotos da PE-2 para todos os genótipos avaliados. Entretanto para a CAT-1 o brotamento apresentou diferença significativa avaliando-se os colmos com e sem folhas, sendo que para o tratamento sem folha os valores foram maiores. De modo geral os brotamentos foram mais elevados aos 105 e 118 d.a.s.. Considerando-se a viabilidade de brotos, observa-se que o sistema de colheita sem folhas foi o que proporcionou maiores valores, tanto para CAT-1 como para PE-2. O melhor período para a adaptação das leveduras ao mosto (pé-de-cuba), considerando-se a viabilidade celular, brotamento e viabilidade de brotos ocorreu aos 105 e 135 d.a.s..

A permanência das leveduras no processo fermentativo começa a ser definida a partir da inoculação do pé-de-cuba no mosto. Com a realização da alimentação definiu-se o

início do processo. Neste caso, considerou-se após 30 min. o início do processo fermentativo. Os resultados obtidos (Tabela 08) para viabilidade celular no início e final do processo indicam que não houve diferença significativa entre os genótipos para as leveduras estudadas. O mesmo comportamento foi observado quando do processamento dos colmos com folha e sem folha. Ambas as leveduras, no início do processo apresentaram incremento de células viáveis dos 105 d.a.s. a 135 d.a.s, com redução a partir de 160 d.a.s.. Aos 135 d.a.s, observou-se os maiores valores para viabilidade de células ao final do processo fermentativo. Estes valores podem confirmar que a matéria-prima se apresentava adequada para ser utilizada no processo fermentativo.

Considerando-se a viabilidade no início do processo, verificou-se que apresentou o mesmo comportamento observado para o pé-de-cuba (Tabela 07). Ao final da fermentação, a CAT-1 teve maior viabilidade comparada à PE-2 entre todos os genótipos. Para o sistema de colheita não houve diferença significativa. As menores viabilidades celulares foram observadas aos 110 e aos 160 d.a.s., para as duas leveduras. Comportamento semelhante foi constatado para o índice de brotamento das leveduras (Tabela 09) tanto no início como no final do processo.

Tabela 07. Resultado da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para viabilidade celular, brotamento e viabilidade de broto das leveduras CAT-1 e PE-2 no pé-de-cuba do processo fermentativo. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Genótipos (A)	Viabilidade Celular		Brotamento		Viabilidade de Brotos	
	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2
CVSW80007	85,19A	77,49A	10,41A	6,36A	73,70A	79,91A
CVWS80147	86,96A	79,25A	11,10A	5,98A	79,16A	78,42A
BRS610	88,45A	81,05A	11,68A	4,90A	82,64A	76,23A
Teste F	1,45ns	2,72ns	2,07ns	1,09ns	1,74ns	0,25ns
DMS	6,85	5,43	2,12	3,62	17,22	18,54
CV	9,38	8,15	22,85	30,54	26,12	28,23
Folha (B)						
Com Folha	86,94A	80,38A	10,42B	5,63A	72,19A	74,17A
Sem folha	86,79A	78,15A	11,70A	5,86A	84,80A	82,21A
Teste F	0,01ns	2,62ns	7,84*	0,18ns	3,62ns	1,41ns
DMS	3,76	3,37	1,11	1,34	16,20	16,59
CV	9,19	9,02	21,43	40,22	43,83	45,07
Épocas (C)						
100	85,47A	68,02B	12,68A	8,93A	82,91AB	76,96A
105	93,03A	89,90A	4,69C	1,94B	55,46B	71,65A
110	88,37A	87,03A	12,01AB	4,35B	87,41A	86,56A
118	87,42A	80,15A	6,98BC	3,48B	72,68AB	81,74A
135	91,71A	85,44A	16,01A	5,79AB	97,02A	83,14A
160	75,21B	65,05B	14,00	9,99A	75,50AB	69,10A
Teste F	8,06**	15,98**	11,68**	9,06**	4,31**	0,93ns
DMS	9,31	10,83	5,27	4,36	28,59	29,51
CV	10,92	13,92	48,61	47,62	37,12	38,45
Teste F AxB	0,98ns	0,21ns	0,83ns	3,99ns	0,38ns	0,46ns
Teste F AxC	0,63ns	0,21ns	0,37ns	0,32ns	0,54ns	1,07ns
Teste F BxC	0,48ns	0,60ns	0,31ns	0,11ns	1,07ns	0,65ns
Teste F AxBxC	0,85ns	0,67ns	0,41ns	0,35ns	0,70ns	0,44ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

Tabela 08. Resultado da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para viabilidade celular de leveduras no início e final do processo fermentativo.

Genótipos (A)	Viabilidade Celular Início (%)		Viabilidade Celular Final (%)	
	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2
CVSW80007	86,13A	79,77A	87,53A	77,00A
CVWS80147	84,42A	77,56A	84,15A	80,50A
BRS610	86,80A	80,35A	89,01A	81,26A
Teste F	2,12ns	5,65ns	3,47ns	1,02ns
DMS	5,29	3,12	6,74	11,34
CV	7,35	4,69	9,23	16,97
Folha (B)				
Com Folha	83,93A	77,14A	87,44A	80,29A
Sem Folha	87,64A	81,31A	86,36A	78,89A
Teste F	5,37ns	3,32ns	0,64ns	0,70ns
DMS	3,91	5,59	3,29	4,09
CV	9,69	15,00	8,06	10,91
Época (C)				
100	81,12 BC	66,36 C	76,52 C	52,96 C
105	91,99 A	85,97 A	89,65 AB	87,69 A
110	88,57 AB	86,88 A	84,19 BC	83,91 AB
118	86,80 AB	80,61 AB	87,55 AB	85,98 A
135	89,86 AB	85,57 A	94,88 A	93,50 A
160	76,37 C	69,95 BC	88,61 AB	73,49 B
Teste F	5,70**	7,52**	8,78**	28,52**
DMS	10,29	13,54	8,65	11,37
CV	12,22	17,42	10,14	14,56
Teste F AxB	0,12ns	0,90ns	4,92ns	3,75ns
Teste F AxC	0,73ns	0,11ns	1,60ns	0,47ns
Teste F BxC	0,68ns	0,27ns	0,46ns	0,93ns
Teste F AxBxC	0,54ns	0,32ns	0,51ns	0,93ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

Analisando-se os índices de brotamento (Tabela 09), verificou-se que a CAT-1 e a PE-2, tanto no início quanto no final do processo apresentaram menores valores aos 105 e 118 d.a.s.. Este comportamento pode ser resultante da qualidade da matéria-prima que deveria estar iniciando a fase de maturação ou de acúmulo de açúcares no colmo. Aos 135 d.a.s. a CAT-1 apresentou maiores índices de brotamento, tanto no início como no final. Comportamento diferente foi observado para a PE-2 que aos 100 d.a.s. apresentou maior brotamento no início e aos 160 d.a.s maior índice de brotamento no final do processo fermentativo (Tabela 09). Segundo NAGODAWITHANA et al. (1974), citado por MUTTON (1998), com a intensificação da fermentação, ocorre a elevação da temperatura, levando ao aumento da atividade metabólica das leveduras, e conseqüentemente aumentando o brotamento. AMORIM et al. (1996) relatam que a porcentagem ideal de brotamentos varia entre 5 a 15%, sendo que valores acima deste são indicativos de aumento da temperatura,

ou baixa manutenção do fermento nas dornas. Os valores observados apresentaram-se dentro desta faixa, considerando-se os genótipos (Tabela 09).

Tabela 09. Resultado da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para índice de brotamentos das leveduras CAT-1 e PE-2 no início e final do processo fermentativo.

Genótipos (A)	Brotamento Início (%)		Brotamento Final (%)	
	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2
CVSW80007	5,75A	6,66A	9,57A	6,71A
CVWS80147	4,58A	7,10A	10,43A	10,54A
BRS610	5,56A	6,01A	11,04A	9,72A
Teste F	5,50ns	0,86ns	3,55ns	5,95ns
DMS	1,35	2,98	1,97	4,16
CV	21,14	38,93	22,75	55,09
Folha (B)				
Com Folha	5,47A	7,34A	9,79A	8,34 B
Sem Folha	5,12A	5,84B	10,90A	9,64 A
Teste F	0,46 ns	6,84*	1,33ns	7,57*
DMS	1,27	1,41	2,36	1,15
CV	36,95	25,59	48,41	27,16
Época (C)				
100	6,17ABC	12,86A	8,79B	9,65B
105	0,99C	1,07C	2,14C	3,28C
110	3,30BC	5,12BC	7,57BC	6,80BC
118	1,17C	2,86C	3,88BC	7,45BC
135	10,44A	8,71AB	20,49A	10,87B
160	9,72AB	8,94AB	19,22A	15,90A
Teste F	6,46**	11,47**	25,03**	12,82**
DMS	6,80	5,38	6,45	4,97
CV	73,77	54,07	63,54	56,35
Teste F AxB	0,29ns	0,65ns	1,27ns	4,46ns
Teste F AxC	0,23ns	0,69ns	1,05ns	0,48ns
Teste F BxC	0,18ns	0,68ns	1,95ns	1,07ns
Teste F AxBxC	0,22ns	0,96ns	0,49ns	0,55ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

Observando-se a Tabela 10 verificou-se que os valores de viabilidade de brotos apresentaram-se maiores ao final do processo fermentativo em comparação ao início, para as duas leveduras. Considerando-se os genótipos estudados não houve diferença significativa quando se utilizou a levedura CAT-1, no início e no final do processo fermentativo, e no início do processo para a PE-2. Para o CVSW80007 ao final do processo observou-se menores viabilidades de brotos para a levedura PE-2.

Avaliando-se os valores de brotamento apresentados aos 105 e 118 d.a.s. verificou-se que tanto para CAT-1 como para PE-2, estes foram variáveis, com redução significativa tanto no início como ao final do processo fermentativo. Aos 135 d.a.s houve um aumento significativo da porcentagem de brotos, valor este reduzido a partir dos 160 d.a.s (Tabela

10). De acordo OKOLO et al. (1987), citado por RAVANELI (2010) a porcentagem de células e brotos viáveis durante a fermentação é de extrema importância para a manutenção da população de leveduras, sendo seu monitoramento imprescindível, uma vez que, além de metabólitos indesejáveis contidos na matéria-prima, compostos tóxicos às leveduras que são produzidos durante a fermentação podem acumular-se no fermento, promovendo perdas de viabilidade e reduzindo a eficiência industrial.

Tabela 10. Resultado da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para viabilidade de brotos das leveduras CAT-1 e PE-2 no início e final do processo fermentativo.

Genótipos (A)	Viabilidade de Brotos Início (%)		Viabilidade de Brotos Final (%)	
	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2
CVSW80007	67,08 A	73,35 A	85,14 A	77,57 B
CVWS80147	62,28 A	63,52 A	80,86 A	90,57 A
BRS610	72,71 A	72,96 A	85,81 A	91,23 A
Teste F	1,32ns	1,01ns	2,35ns	491,17**
DMS	22,91	27,91	8,84	1,75
CV	40,48	47,50	12,53	2,41
Folha (B)				
Com Folha	62,94 A	71,68 A	79,95 A	90,53 A
Sem Folha	71,78 A	68,20 A	87,92 A	82,38 A
Teste F	1,73ns	0,86ns	2,96ns	2,55ns
DMS	16,45	9,19	11,34	12,49
CV	51,87	27,90	28,69	30,68
Época (C)				
100	83,61 A	77,74 AB	84,49 AB	80,83 AB
105	33,86 C	36,48 C	62,50 B	74,20 B
110	76,38 AB	79,38 AB	93,24 A	83,56 AB
118	40,50 BC	55,88 BC	68,30 B	91,06 AB
135	91,23 A	91,23 A	98,68 A	94,74 A
160	78,57 A	78,94 AB	96,40 A	94,33 A
Teste F	7,18**	5,66**	6,83**	3,02*
DMS	37,31	35,02	24,29	19,81
CV	56,45	51,02	29,49	23,35
Teste F AxB	0,47ns	2,53ns	0,32ns	0,04ns
Teste F AxC	0,77ns	0,87ns	2,24 *	1,22ns
Teste F BxC	0,54ns	1,17ns	1,38ns	1,75ns
Teste F AxBxC	1,07ns	0,60ns	0,63ns	4,99**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

4.3.3. Características do vinho e eficiência fermentativa

Os resultados observados para os teores de ARRT do vinho indicam que não houve diferença significativa entre os genótipos quando se utilizou a levedura CAT-1 no processo fermentativo (Tabela 11). Quando se empregou a levedura PE-2 como inóculo estas diferenças foram significativas. Considerando-se os genótipos verificou-se que o BRS610 apresentou valor significativamente menor que o CVSW80007, que apresentou maiores valores médios.

A presença de folhas e panículas resultou em valor significativamente menor de ARRT para a PE-2, sendo que para a CAT-1 embora não tenha apresentando efeito significativo teve a maior média foi para os colmos sem folha. Com relação às épocas de amostragem não se observou efeito significativo para PE-2, sendo que aos 160 d.a.s. observou-se efeito significativo para CAT-1, apresentando menores médias. Estes valores podem ser considerados elevados quando comparados aos obtidos para mostos fermentados a partir de cana-de-açúcar. Este comportamento deve ser resultante da ausência do tratamento enzimático objetivando favorecer o desdobramento de compostos amiláceos presentes após a extração dos caldos. Fica evidente a necessidade da sua utilização quando o sorgo participar da composição da matéria-prima para o preparo dos mostos.

Considerando-se a acidez do vinho verificou-se que não houve efeito significativo para os genótipos e sistemas de colheitas estudadas, independentemente da levedura utilizada (Tabela 11). Verificou-se resultado significativo, ao nível de 1%, apenas para a interação AxBxC, ou seja, comportamento distinto para os diferentes genótipos, submetidos aos sistemas de colheita nas épocas estudadas.

O pH do vinho apresentou o mesmo comportamento para ambas as leveduras (Tabela 11), tanto para os genótipos como para os sistemas de colheitas. O BRS610 apresentou média significativamente maior que o CVWS80147 e que o CVSW80007, que apresentou o menor pH. Considerando-se a presença de folhas e panículas verificou-se maior valor de pH no vinho, sendo que para as últimas épocas de amostragem estes foram maiores, para as duas leveduras.

O Glicerol é um composto secundário que se forma em rota auxiliar, da via de formação do etanol, utilizando as mesmas estruturas, sendo por isso inversamente proporcional à sua produção (LENINGHER et al, 2000). Neste contexto, considerando-se que o objetivo central é a maior produção de etanol, verifica-se que o ideal é que os valores

obtidos sejam os menores possíveis (AMORIM et al., 1996). Da análise da Tabela 11, tem-se que os teores de glicerol no vinho indicam que o CVSW80007 foi o que apresentou os maiores teores, e o BRS610 os menores para as duas leveduras estudadas. Avaliando-se o sistema de colheita em que se retirou a panícula e as folhas, verifica-se que resultaram em valores de glicerol significativamente maiores para a levedura CAT-1. Para épocas não se observou efeito significativo para a PE-2, enquanto para a CAT-1 aos 100 e 135 d.a.s. os teores de glicerol foram menores.

Tabela 11. Resultados da análise de variância (teste de F) e comparação de médias pelo teste de Tukey (5 % de probabilidade) para características químico-tecnológicas do vinho. Jaboticabal-SP. Safra 2011/2012.

Genótipos (A)	ARRT (%)		Acidez Total (g H ₂ SO ₄ /L)		pH		Glicerol mg/100mL	
	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2	CAT-1	PE-2
CVSW80007	1,99A	2,60 ^a	3,52A	3,57A	3,67C	3,80C	9,01A	8,78A
CVWS80147	1,62A	1,82AB	3,89A	3,74A	3,79B	3,94B	8,60A	7,72B
BRS610	0,79A	0,73B	3,61A	3,49A	3,94A	4,07A	6,90B	5,92C
Teste F	6,14ns	15,37*	5,77ns	1,33ns	40,79**	53,48**	13,27*	95,86**
DMS	1,25	1,20	0,40	0,55	0,10	0,09	1,54	0,74
CV	101,17	83,19	13,22	18,39	3,28	2,77	22,48	11,82
Folha (B)								
Com Folha	1,20 ^a	1,50B	3,68A	3,60A	3,85A	3,97A	7,77B	7,15A
Sem Folha	1,73 ^a	1,94A	3,67A	3,61A	3,75B	3,90B	8,58A	7,79A
Teste F	5,12ns	6,87*	0,03ns	0,01ns	18,74**	10,11*	9,05*	2,69ns
DMS	0,57	0,40	0,17	0,36	0,05	0,05	0,65	0,95
CV	83,12	50,29	10,28	21,31	3,01	2,97	17,09	27,21
Época (C)								
100	1,23AB	1,54A	4,03A	4,48A	3,86AB	3,89B	7,15B	7,16A
105	1,78 ^a	1,44A	3,94AB	3,47BCD	3,65C	4,05A	9,72A	7,12A
110	1,92 ^a	2,15A	3,93ABC	3,85B	3,62C	3,69C	8,09AB	8,04A
118	1,44AB	1,87A	3,47CD	3,02D	3,79B	4,01AB	8,27AB	7,19A
135	1,72 ^a	1,90A	3,17D	3,12CD	3,92A	4,06A	7,55B	7,21A
160	0,70B	1,40A	3,49BCD	3,67BC	3,96A	3,92AB	8,25AB	8,13A
Teste F	3,49**	1,87ns	9,37**	13,77**	22,86**	12,62**	4,95**	2,39*
DMS	1,00	0,91	0,46	0,59	0,12	0,16	1,64	1,27
CV	69,41	53,98	12,94	16,85	3,28	4,17	20,50	17,39
Teste F AxB	0,26ns	1,34ns	0,02ns	2,12ns	1,86ns	1,02ns	1,16ns	1,38ns
Teste F AxC	1,58ns	1,31ns	1,44ns	1,01ns	1,31ns	1,35ns	1,31ns	2,36*
Teste F BxC	0,62ns	0,69ns	0,79ns	0,54ns	0,33ns	0,25ns	0,60ns	0,62ns
Teste F AxBxC	0,85ns	0,91ns	2,72**	2,93**	0,16ns	1,03ns	1,14ns	0,91ns

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p > 0,05$)

Concluída a etapa fermentativa o vinho passou a ser a matéria-prima objeto de estudos e avaliações. Assim, os teores de açúcares que inicialmente compuseram o mosto, apresentavam-se agora na forma de etanol, ácidos, alcoóis, glicerol, dentre outras moléculas, que foram transformadas, por ação das leveduras (AMORIM, 2005). Neste

contexto, a avaliação dos componentes que constituem o vinho e/ou destilado é de fundamental importância quando se objetiva a proposição de uma nova tecnologia.

Neste caso as avaliações foram realizadas para os mostos fermentados aos 135 d.a.s. que foi considerada uma das épocas indicadas para a colheita e processamento dos colmos para a produção de etanol. A partir dos resultados obtidos, calculou-se os rendimentos teóricos e juntamente com o rendimento prático determinou-se as eficiências que estão apresentadas nas Figuras 14 a 16.

Os resultados obtidos indicaram que o processamento dos colmos sem folha apresentou-se mais adequados para todos os genótipos estudados, considerando-se as eficiências fermentativas. Pode-se verificar que para o genótipo CVSW80007, quando os colmos foram processados com e sem folhas, utilizando-se a levedura CAT-1 apresentou maior eficiência que a PE-2 (Figura 14), da ordem de 6 a 8%.

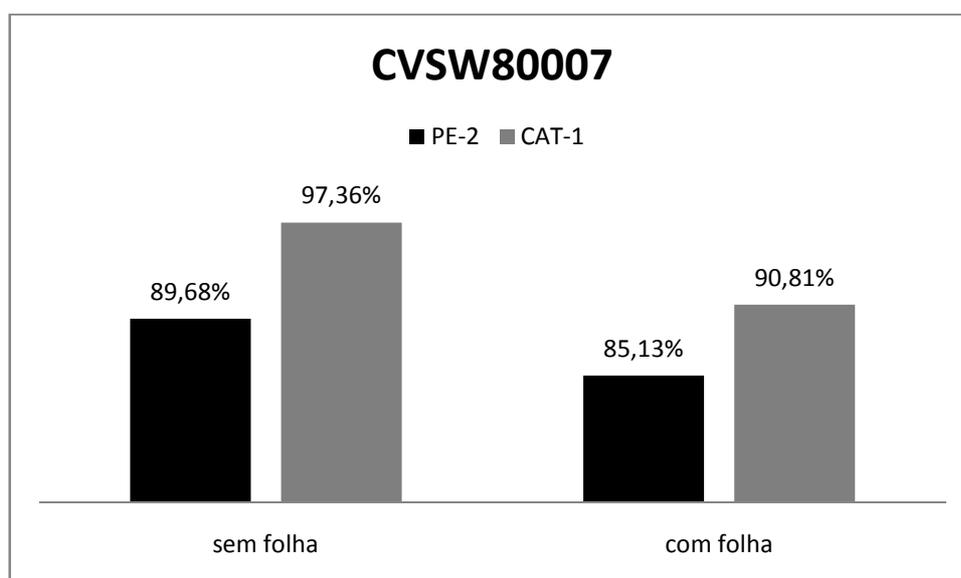


Figura 14. Eficiência fermentativa (%) para o genótipo CVSW80007 aos 135 dias após a semeadura.

Entretanto o CVWS80147 (Figura 15) para os colmos sem folha a levedura PE-2 proporcionou a melhor eficiência, porém similar a CAT-1. Já os colmos com folha no CVWS80147 não houve diferença para ambas as leveduras. Os resultados observados nesta pesquisa corroboram os relatados por RIBEIRO FILHO (2008), que obteve rendimentos do caldo de sorgo, trabalhando com colmo limpo de 32,91%, enquanto em colmo com folhas obteve valores de 27,20%. O colmo limpo apresentou um incremento de rendimento de caldo de 5,71%, isso explica o fato de muitas destilarias utilizarem o processo

chamado “cana limpa”, que além de um maior rendimento preserva os equipamentos que compõem a unidade industrial (RIBEIRO FILHO 2008).

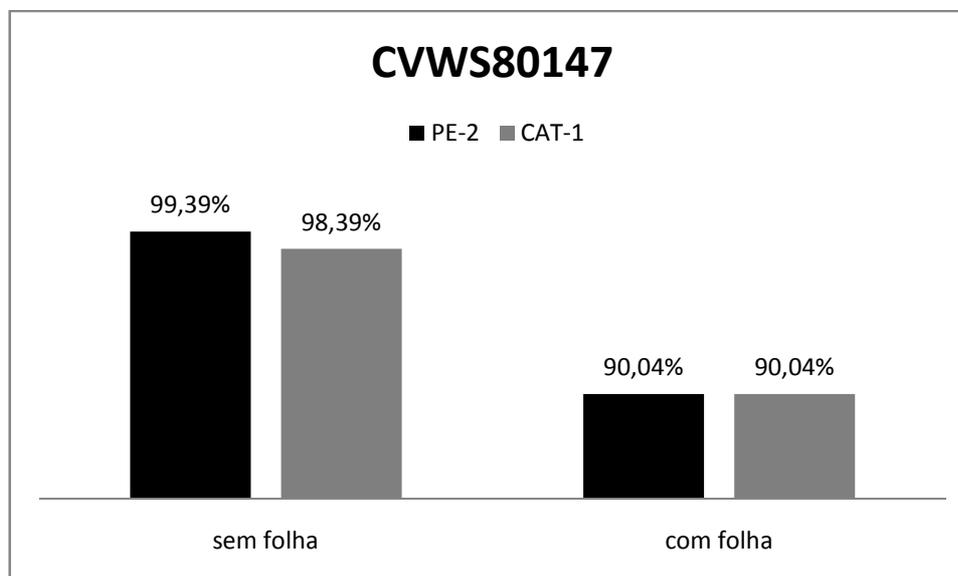


Figura 15. Eficiência fermentativa (%) para o genótipo CVWS80147 aos 135 dias após a semeadura.

O genótipo BRS610 é considerado forrageiro, tendo em vista suas características, principalmente o elevado potencial de produção de biomassa. Entretanto, quando no planejamento do ensaio se definiu por incluir este tratamento e compará-lo aos outros genótipos considerados sacarinos, observou-se que os colmos processados com e sem folha resultou em maior eficiência, quando se utilizou a levedura PE-2 como inóculo do processo fermentativo (Figura 16). Quando a levedura foi a CAT-1 obtiveram-se resultados menores que os encontrados para a PE-2, não diferindo entre si.

De um modo geral, as eficiências observadas foram similares às obtidas por MANCILHA et al., (1984) e RATNAVATHI et al., (2010), que obtiveram conversão de açúcares presentes no caldo do sorgo sacarino, com eficiências superiores a 90%, independentemente das estirpes utilizadas e dos genótipos considerados.

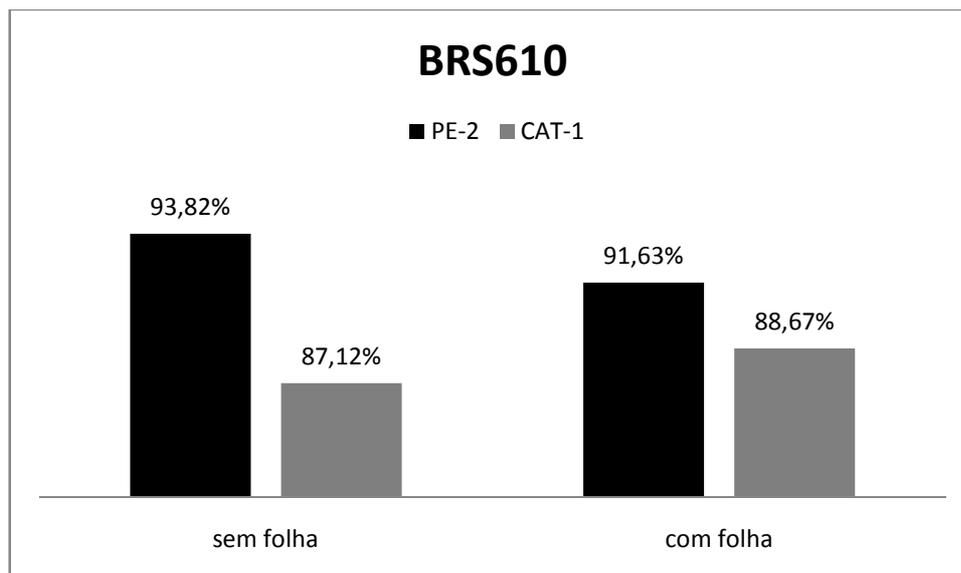


Figura 16. Eficiência fermentativa (%) para o genótipo BRS610 aos 135 dias após a semeadura.

Para comparar o desempenho dos genótipos estudados, empregando-se as leveduras CAT-1 e PE-2 como inóculo do processo fermentativo, calcularam-se as produtividades para Álcool Teórico e Produzido (L/ha) e (L/t), que estão apresentadas nas Figuras 17 a 20.

Utilizando-se os colmos de sorgo sem a presença de folhas e panículas observou-se produção média de 1059L/ha de etanol teórico, com variação de 980 a 1062L/ha, para os genótipos CVWS80147 e BRS610, respectivamente (Figura 17). Quando o processamento incluiu folhas e panículas observaram-se uma variação de 1522 a 1905L/ha de etanol teórico, respectivamente para CVSW80007 e CVWS80147. Sob esta ótica pode-se verificar que o processamento de colmos com folhas resultou num acréscimo de 58% na produção de etanol (L/ha) comparado ao colmo sem folhas, para os genótipos e leveduras estudadas. Estes resultados demonstram que a colheita mecanizada dos colmos de sorgo sacarino, sem a separação das folhas, não inviabiliza a matéria-prima para a etapa de preparo do mosto e processo fermentativo.

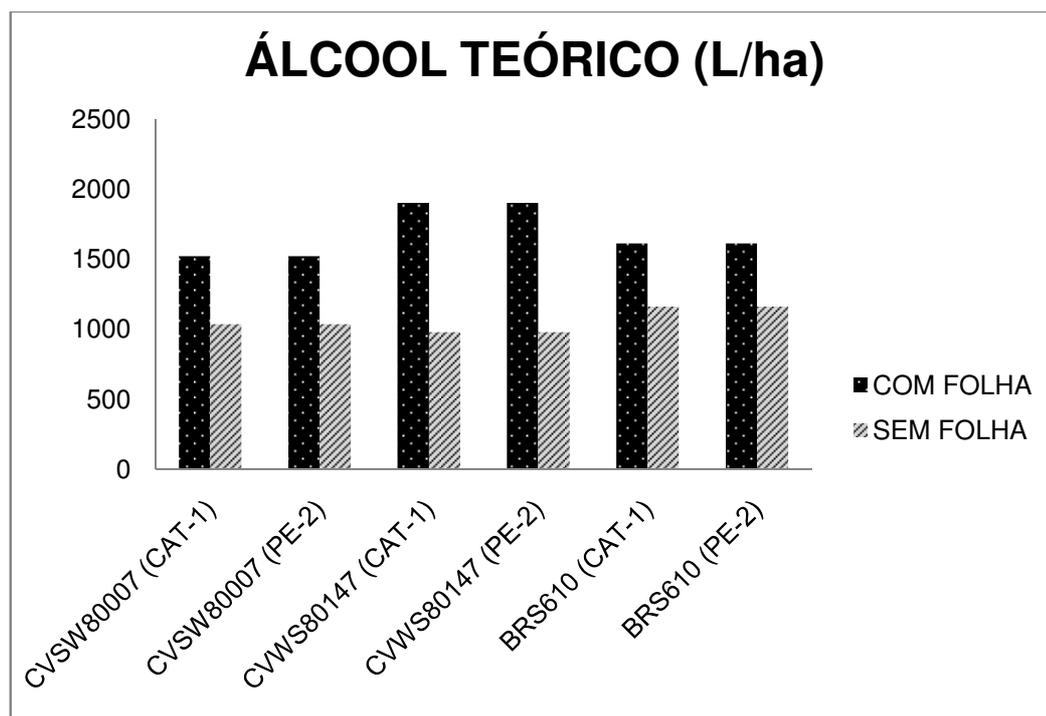


Figura 17. Resultados de Álcool Teórico calculado (L/ha) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 e leveduras CAT-1 e PE-2, aos 135 d.a.s..

Da análise dos resultados obtidos para o Álcool Produzido (L/ha) verificou-se que o processamento de colmos sem folhas resultou numa produção média de 996L/ha, sendo que com a presença de folhas e panículas esta foi da ordem de 1530L/ha. Considerando-se as duas cepas de leveduras empregadas no processo fermentativo, observou-se que apresentaram comportamentos similares. Por ocasião do processo fermentativo realizado empregando-se colmos com folhas, genótipo CVWS80147 apresentou os maiores rendimentos (Figura 18).

O cálculo do rendimento esperado de etanol por tonelada processada (Figura 19) apresenta uma variação de 40 a 49L/t quando se processou colmos com folhas e de 47 a 52L/t quando se utilizou colmos sem folhas. Pode-se observar ainda que de modo geral o rendimento para o tratamento com folhas foi 10,75% menor que para o sem folhas. Comportamento inverso foi observado para o genótipo CVWS80147.

Considerando-se o rendimento médio de etanol (L/t) (Figura 20) constata-se que para o tratamento em que se utilizou colmos sem folhas obteve-se um rendimento médio de 47,0L/t enquanto que para o tratamento com folhas foi de 39,8L/t o que representa uma redução em cerca de 15%. As leveduras utilizadas apresentaram comportamento similar para o genótipo CVWS80147. Entretanto para os genótipos CVSW80007 e BRS610, verificou-se que a CAT-1 e a PE-2 apresentaram melhor comportamento, respectivamente.

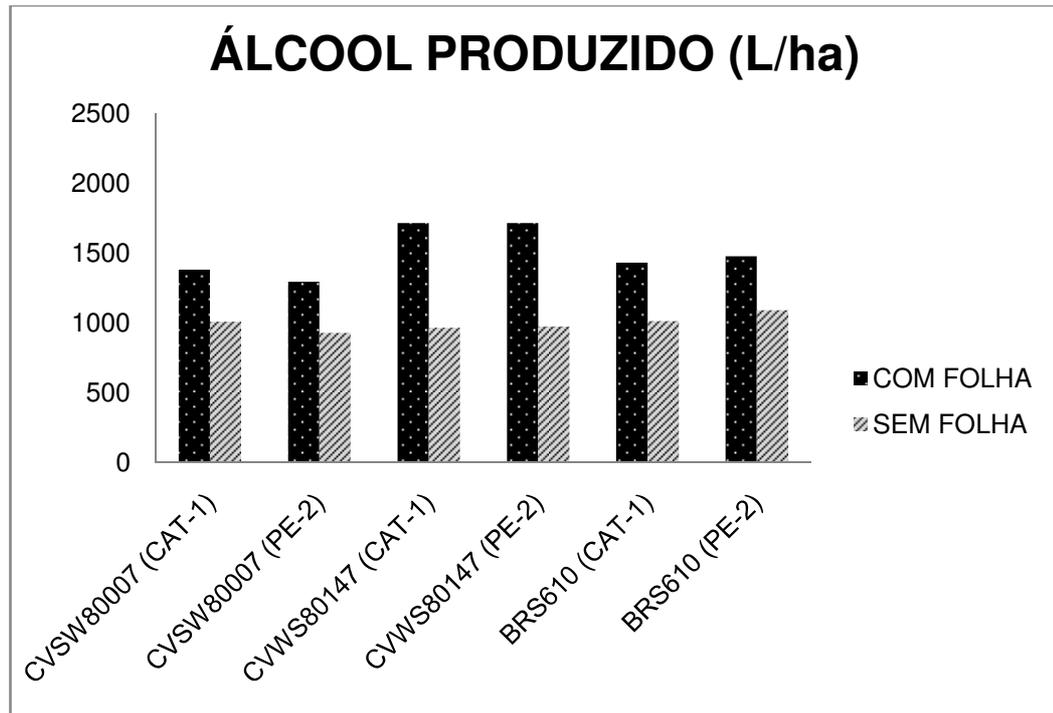


Figura 18. Resultados de Álcool Produzido (L/ha) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 e leveduras CAT-1 e PE-2, aos 135 d.a.s..

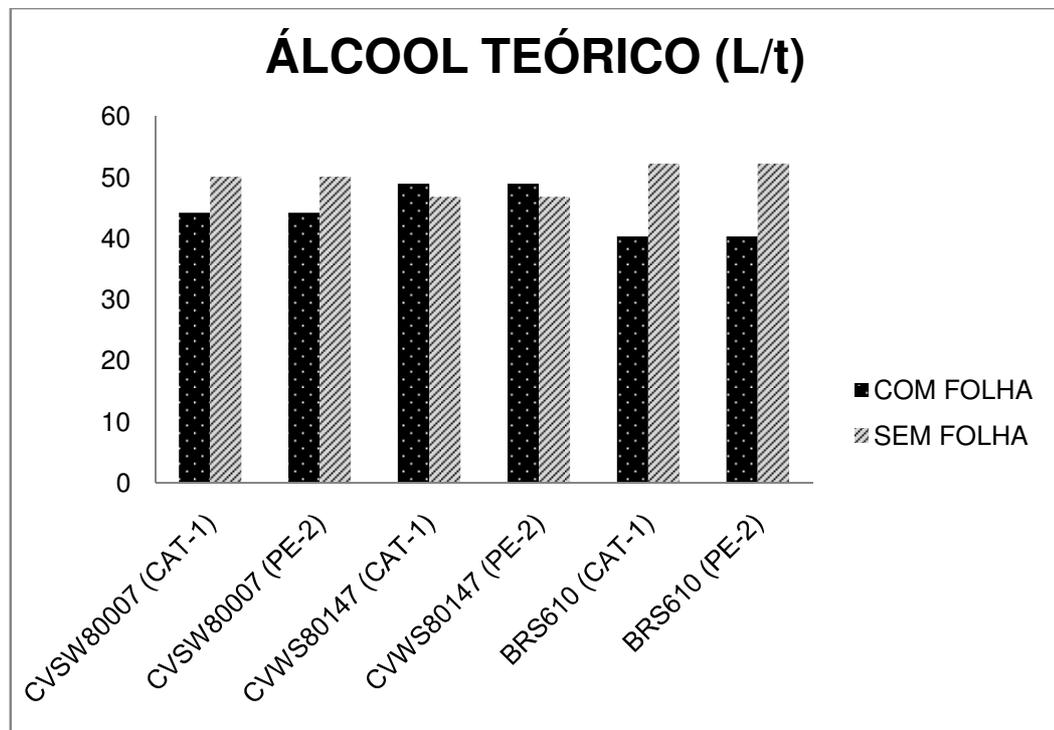


Figura 19. Resultados de Álcool Teórico (L/t) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 e leveduras CAT-1 e PE-2, aos 135 d.a.s..

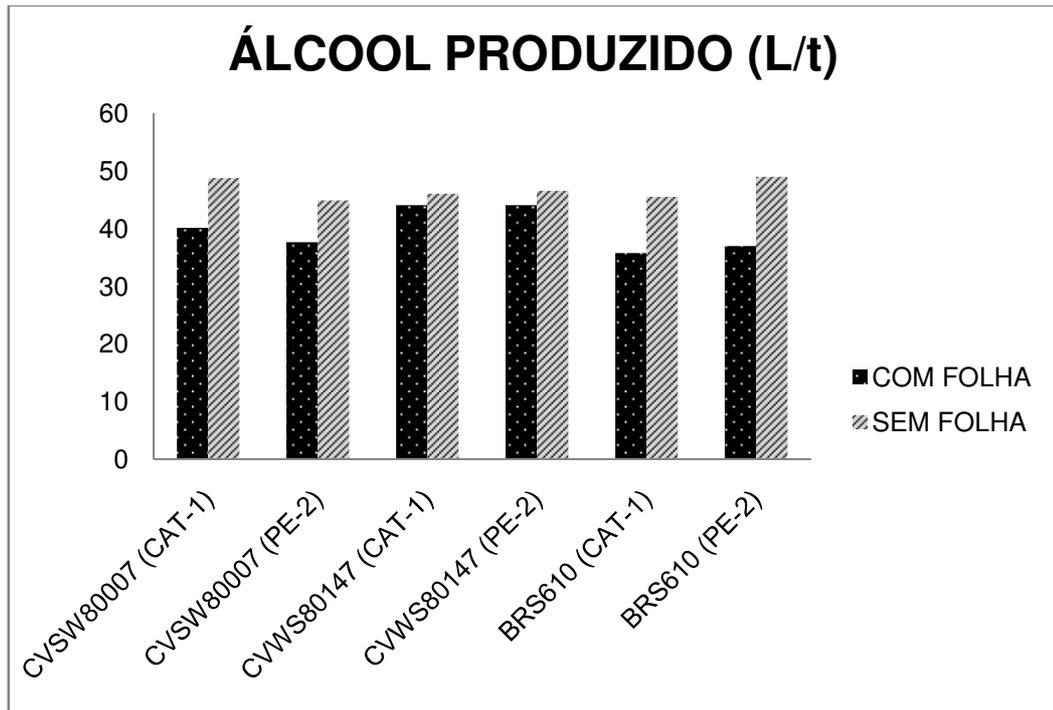


Figura 20. Resultados de Álcool Produzido (L/t) para os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 e leveduras CAT-1 e PE-2, aos 135 d.a.s..

Embora o processamento de colmos com folhas resultem em menores rendimentos de etanol (Figura 20), deve-se considerar que a maior produção (L/ha) foi consequência da biomassa total ser 77,7% superior à quantificada para o tratamento sem folhas e panículas.

5. CONCLUSÕES

- Os genótipos CVSW80007 e CVWS80147 apresentam melhores características químico-tecnológicas.
- O BRS610 apresenta a maior produtividade de biomassa.
- A colheita dos colmos com e/ou sem folhas não influencia a qualidade da matéria-prima, exceto para os teores de amido.
- A melhor qualidade tecnológica da matéria-prima ocorre aos 118 e 135 d.a.s.
- O PUI do CVSW80007 e CVWS80147 é cerca de 45 dias, dos 110 aos 155 d.a.s.
- As leveduras CAT-1 e PE-2 demonstram comportamento similar, sendo eficientes no processo fermentativo.
- A fermentação de mosto preparado a partir de colmos sem e com folhas (135 d.a.s.) dos três genótipos, resulta na produção de 47,0 e 39,8 L/t de etanol, respectivamente.
- A produção de etanol é de 996,3 e 1.530,0 L/ha, respectivamente para colmos sem folhas e com folhas, dos três genótipos, aos 135 d.a.s.

6. REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PARRELA, R. A. da C.; TARDIN, F. D.; BRANT, R. S.; SIMOES, D. A.; FONSECA JUNIOR, W. B.; OLIVEIRA, R. M. de; SILVA, K. M. de J. Potencial forrageiro de cultivares de sorgo sacarino em diferentes arranjos de plantas e localidades de Minas Gerais. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28.; Simpósio Brasileiro Sobre a Lagarta do Cartucho, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade: resumos expandidos...** Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.

ALAGARSWAMY, G.; REDDY, D. M.; SWAMINATHAN, G. Durations of the period-sensitive and insensitive phases of time to panicle initiation in sorghum. **Field Crops Research**, v. 55, n. 01, p. 1-10, 1998.

ALMODARES, A.; TAHERI, R.; ADELI, S. Categorization of sweet sorghum hybrids and lines as sweet, dual purpose and grain sorghum. **J.Tropical. Agric.**, Kerala, v. 46, p.62-66, 2008a.

ALMODARES, A.; HADI, M. R.; AHMADPOUR, H. Sorghum stem yield and soluble carbohydrates under phenological stages and salinity level. **Afr. J. Biotech.**, Victoria Island Lagos, v. 7, n. 22, p. 4051-4055, 2008b.

ALMODARES, A.; HADI, M. R.; DOSTI, B. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum. **J. Biol. Sci.**, Maharashtra, v. 7, n. 8, p. 1492-1495, 2007.

ALMODARES, A.; HADI, M. R.; Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **Afr. J. Agric. Res.** Victoria Island Lagos, v. 4, n. 9, p. 772-780. 2009.

AZZINI, A.; SALAGADO, A.' L. B. RENDIMENTO EM CELULOSE, DENSIDADE BÁSICA E DIMENSÕES DAS FIBRAS EM SORGO. **Revista Científica do Instituto Agrônomo de Campinas**, v. 42, n°15, 1982.

AMORIM, H. V. de; **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.

AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. **Processos de produção de álcool – controle e monitoramento**. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996, 93p.

ANDRZEJEWSKI, B., EGGLESTON, G.; LINGLE S.; POWELL, R. Development of a sweet sorghum juice clarification method in the manufacture of industrial feedstocks for value-added fermentation products. **Industrial Crops and Products**. 2013, n.44, 77– 87.

ANGELIS, D. F. de. Agentes físicos, químicos e microbiológicos que afetam a fermentação alcoólica. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana-produção e qualidade**. Jaboticabal, FUNEP, 1992 p. 49-66.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Sistema para Análises Estatísticas de Ensaio Agrônomico - AgroEstat**, versão 1.1, 2011

BASSO, L.C.; OLIVEIRA, A.J.; ORELLI, V.F.D.M.; CAMPOS, A.A.; GALLO, C.R.; AMORIM, H.V. Dominância das leveduras contaminantes sobre as linhagens industriais avaliada pela técnica de cariotipagem. **Congresso Nacional da STAB, 5**. Águas de São Pedro, p. 245-250, 1993 (Anais).

BERNARDINO, K.C.; SOUZA, V. F.; JUNIOR, G. A. C.; MOURÃO, C. S.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V.; COSTA, R. K.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; **Caracterização de Cultivares de Sorgo Sacarino Visando a Produção de Etanol de Primeira e Segunda Geração**. Resumos expandidos. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012. Águas de Lindóia.

CASALETTI, R. V. **Desempenho agrônomico de híbridos de sorgo sacarino recém introduzidos**. 77 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal, 2011.

CORSINO, M.C. **Embrapa retoma produção de sorgo sacarino: A cultivar é uma opção na entressafra da cana-de-açúcar**. 2011. Disponível em: <<http://www.cpt.com.br/noticias/embrapa-retoma-producao-de-sorgo-sacarino>>. Acesso em: 10 de nov. de 2011.

COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001.CD-ROM.

CRAUFURD, P. Q.; QI, A. **Photothermal adaptation of sorghum (Sorghum bicolor) in Nigeria**. Agricultural and Forest Meteorology 108:199-211, 2001.

CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba, Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2005. Disponível em CD ROM.

DAMASCENO, C. M. B; PARRELLA, R. A. C; SIMEONE, M. L. P; SCHAFFERT, R. E; MAGALHÃES, J. V. **Caracterização bioquímica de genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração**. In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM.

DELGADO, A. A. Tecnologia do Açúcar e das fermentações Industriais. v. 1, p.91. In: **Tecnologia dos Produtos Agropecuários**, Piracicaba: ESALQ. 1975.

DICKO MH, GRUPPEN H, TRAORE AS, VORAGEN AGJ, VAN BERKEL WJH (2006). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. **Biotechnology and Molecular Biology Review**. Vol. 1 (1), p. 21-38. 2006

DINIZ, G. M. M.. **Produção de Sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) Aspectos Gerais**. 2010. 23f. Dissertação (Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

EMBRAPA. **Sorgo sacarino “a safrinha da cana-de-açúcar**. 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/484735> >. Acesso em: 10 de set. de 2011.

EMBRAPA. **Indicações de Aspectos Tecnológicos sobre o Bioetanol de Matéria-prima Amilácea**. 2009. Disponível em: <<http://www.cnptia.embrapa.br/content/09409-indicacoes-de-aspectos-tecnologicos-sobre-bioetanol-de-materia-prima-amilacea.html> >. Acesso em: 12 de set. de 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT/ Production/Crops-2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 25 de ago. de 2011.

FERNANDEZ; C, GARRO, O. A.. Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación .2004. Disponível em: <www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2004/.../E-074.p>. Acesso em: 12 de set. de 2011.

FIALHO, E. T.; LIMA, J. A.; OLIVEIRA, V.; SILVA, H. O. **Substituição do milho pelo sorgo sem tanino em rações de leitões: digestibilidade dos nutrientes e desempenho animal**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 1, n. 1, p. 105-111, 2002. Sete Lagoas, MG.
FRAILE, P.; GARRIDO J.; ANCIN C. Influence of a *Saccharomyces cerevisiae* selected strain in the volatile composition of roses wines. Evolution during fermentation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington**, v. 48, n. 5, p. 1789-1798, 2000.

GUIYING, L., WEIBIN, G. HICKS, A. CHAPMAN, K. R. Training manual for sweet shorgum. Regional Office for Asia and the Pacific; Chinese Academic Sciences, Beijing, 134p, 2000.
RIBEIRO FILHO, N. M; FLORENCIO, I. M; ROCHA, A. S.; DANTAS,J. P; FLORENTINO, E.R ; SILVA, F. L. H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

FOLIN, O.; CIOCALTEU, V.On tyrosine and tryptophane determinations in proteins.**The journal of biological chemistry**, Bethesda, v. 73, n. 2, p. 627-50, 1927.

FONTES, M. M; SILVA, B. A; DANTAS, J.P; SILVEIRA, D. C; CAVALCANTI, M. T. Caracterização físico-químico do melado de sorgo granífero sacarino [*Sorghum bicolor* (L) Moench]. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)** v.6, n.1, p. 216 – 219, 2011.

FUGITA, T. P. L. **Desempenho de leveduras que metabolizam xilose para produção de etanol em hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana.** 2010. 70f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

GLOBO RURAL. 2011. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI23169218281,00SORGO+SACARINO+E+ALTERNATIVA+PARA+A+PRODUCAO+DE+ETANOL.html>> Acesso em: 20 nov. 2011.

GOSHADROU A., KARIMI K., TAHERZADEH M. J. **Bioethanol production from sweet sorghum bagasse by *Mucorhiemalis*.** *Industrial Crops and Products*, 34: 1219-1225, 2011.

HALLSWORTH, J.E., Ethanol-induced water stress in yeast. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v., 85, n. 2, p. 125-137, 1998.

KARANDE, B. I.; VARSHNEYA, M. C.; NAIDU, T. R. V..**Photoperiodically sensitive time interval for panicle initiation of sorghum.** *Indian Journal of Plant Physiology*, 1 (4): 258-261, 1996.

LANE, J. H., EYNON, L. **Determination of reducing sugars by Fehling solution with methylene blue indicator.** London: Norman Rodger, 1934, 8 p.

LEE, S.S.; ROBINSON, F.M.; WONG, H.Y. Rapid determination of yeast viability. **Biotechnology Bioengineering Symposium**, n.11, 1981.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica.** 3. ed. São Paulo: Sarvier, 2000, 839 p. LIMA, U.A. et al. **Tecnologia das fermentações.** São Paulo: Edgar Blücher, 1975. v.1. 285p.

LIMA, U.A.; BASSO, L.C.; AMORIN, H.V. Produção de etanol. In: **Biotecnologia.** São Paulo: Editora. Edgar Blucher, 2001, v.3, p.1-43

MAGALHÃES, P. C.; DURAES, F.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo.** Sete Lagoas (MG): Embrapa, 2000, 46 p. (EMBRAPA – CNPMS (CircularTécnica, 3).

MANCILHA, I. M.; PEARSON, A. M.; WALLER, J.; HOGABOAM, G. J. Increasing alcohol yield by selected yeast fermentation of sweet sorghum. I. Evaluation of yeasts strains for ethanol production. **Biotechnology and Bioengineering**, v.26, p.632-634, 1984.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C.J. B.; SILVA, A. F.; FILHO, I. A. P. **Manejo e tratos culturais**. In: MAY, A. (ed.) Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de sorgo sacarino para bioethanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa milho e sorgo, p.22-30, 2012.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, 31, 1959 p. 426-428.

MOREIRA, L. R.; ERVILHA, J. D. C.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL J. G.; OGLIARI J.; MIRANDA, G. V. **Aspectos Morfológicos de Sorgo Sacarino em Diferentes Disponibilidades de Água**. Resumos expandidos. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012. Águas de Lindóia.

MUTTON, M. J. R. **Avaliação da fermentação etanólica do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum*spp) tratadas com maturadores químicos**.1998, 178p., Tese (Livre Docência – FCAV, UNESP). Jaboticabal, 1998.

NAN, L.; BEST, G.; CARVALHO NETO, C. C. **Ethanol production from sweet sorghum**. In: Integrated energy systems in China – The cold Northeastern region experience. FAO, Roma, 1994. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/T4470E/T4470E00.htm>. Acesso em: 04 Fev. 2013.

NARENDRANATH, N.V.; THOMAS, K.C.; INGLEDEW, W.M. Effects of acetic acid and lactic acid on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* in a minimal medium. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, v. 26, p.71-177, 2001.

NASSIF, D.S.P.; MARIN, F.R.; FILHO, W.J.P.; RESENDE, R.S.; PELLEGRINO, G. Q.; Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/Canegro para variedades brasileiras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.3, p.311-318, 2012

NOVAES, F.V. Processos Fermentativos. In: MUTTON, M.J.R.; MUTTON, M.A. **Aguardente de cana - produção e qualidade**. Jaboticabal: FUNEP, 1992, p.37-65.

PARRELLA, R. A. C.; MENEGUCI, J. L. P.; RIBEIRO, A.; SILVA, A. R.; PARRELLA, N. L. D.; RODRIGUES, J. A.; TARDIN, F. D.; SCHAFFERT, R. E. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino em diferentes ambientes visando à produção de etanol**. Resumos expandidos. In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, 2010. Goiânia.

PEREIRA FILHO, I. A.; PARRELLA, R. A. C.; MOEREIRA, J. A. A.; MAY, A., SOUZA, V. F., CRUZ, J. C. **Avaliação de Cultivares de Sorgo Sacarino [*Shorghum bicolor (L.) Moench*] em Diferentes Densidades de Semeadura Visando à Obtenção de Etanol**. Resumos expandidos. In: XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2012. Águas de Lindóia.

QUILHÓ, F. T. L. **Produção de Bioetanol a partir de Materiais Lenho-celulósicos de Sorgo Sacarino: Revisão Bibliográfica**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2011.

RATNAVATHI, C. V.; SURESH, K.; VIJAY KUMAR, B. S.; PALLAVI, M.; KOMALA, V. V.; SEETHARAMA, N. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 7, p. 947-952, 2010.

RAVANELI, G, C. **Qualidade da matéria-prima, microbiota fermentativa e produção de etanol sob ataque de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar**. 105p., 2010. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. FCAV/UNESP. Jaboticabal, 2010.

REDDY, B. V. S.; RAMESH, S.; REDDY, P. S.; RAMAIAH, B.; SALIMATH, P. M.; KACHAPUR, R. Sweet sorghum- a potential alternateraw material for bio-ethanol and bio-energy. **Int. Sorghum Millets Newslett.**, Patancheru, Índia, v. 46, p. 79-86, 2005.

REVISTA GLOBO RURAL. Na janela da cana: Sorgo sacarino é alternativa paraa produção de etanol durante a entressafra. **Globo Rural**, São Paulo, SP: Globo, v.26, n.307, p. 15-17, 2011.

REAZIN, G, SALES H.; ANDREASEN A. Production of higher alcohols from threonine and isoleucine in alcoholic fermentations of diferentes types of grain mash. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 21, n. 1, p. 50-54, 1973.

RIBEIRO FILHO, N. M.; FLORÊNCIO, I. M; ROCHA, A. S.; DANTAS, J. P; FLORENTINO, E.R ; SILVA, F. L. H. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008.

RIBAS, P. M. Importância econômica. EMBRAPA MILHO E SORGO, 2008. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fonteshtml/sorgo/cultivosdosorgo_2ed/importancia.htm> Acesso em: 14 de maio de 2012.

RODRIGUES, H. F. F. **Densidades e épocas de corte das plantas de sorgo sacarino para produção de forragem e de etanol**. 2010. 43 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG, 2010.

SCHAFFERT, R. E. Sorgo na produção de etanol. **Embrapa Milho e Sorgo**. Brasília, DF, 06 de abril de 2010.

SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. **Planejamento Industrial**. In: MAY, A. (ed.) Sistema Embrapa de Produção Agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa milho e sorgo, p.85-92, 2012.

SCHENEIDER, F. **Sugar Analysis ICUMSA methods**. Peterborough: ICUMSA, 1979, p.265.

STEINDL, R.J. Clarification of cane juice for fermentation. **Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.**, v. 27, p.1-10, 2010.

SOUZA, V. F.; **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. 2011. 63 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba – MG, 2011.

SOUZA, V. F.; PARRELLA, R. A; PORTUGAL, A. F; TARDIN, F. D; DURÃES, N. N. L; SCHAFFERT, R. E. Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Duas Épocas de Plantio no Norte de Minas Gerais Visando a Produção de Etanol. In: Congresso de Melhoramento de Plantas, 6., 2011. Búzios. **Anais...** Búzios: SBMP, 2011. CD-ROM

SOUZA, C. C; DANTAS, J.P; SILVA, S.M; SOUZA, V. C; ALMEIDA, F. A; SILVA, L.E. Produtividade do sorgo granífero cv. Sacarino e qualidade de produtos formulados isoladamente ou combinados ao caldo de cana-de-açúcar. **Ciênc.Tecnol.Aliment.**, Campinas, 25(3): 512-517, jul.-set. 2005

SOUZA, A. R. R.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, L. V. Predicting the genetic gain in the Brazilian white maize landrace. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 19-24, 2009.

SOUZA, V. F; PARRELLA, R. A; PORTUGAL, A. F; TARDIN, F. D; DURÃES, N. N. L; SCHAFFERT, R. E. ([s/d]). **Desempenho de Cultivares de Sorgo Sacarino em Duas Épocas de Plantio no Norte de Minas Gerais Visando a Produção de Etanol**. Disponível em:<<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/898939/1/Desempenhocultivares.pdf>> . Acesso em: 12 de set. de 2011.

STOKES, J.L. Influence of temperature on the growth and metabolism of yeast. In: Rose AH; Harrison J S. **The yeast Academic Press**, New York, p.119- 134; 1971.

STUPIELLO, J.P.; HORII, J. Condução da fermentação alcoólica. **Saccharum**, v. 17, p.43-46, 1981.

TABOSA, J. N.; REIS, O. V.; NASCIMENTO, M. M. A.; LIMA, J. M. P.; SILVA, F. G.; SILVA FILHO, J. G.; BRITO, A. R. M. B.; RODRIGUES, J. A. S. **O Sorgo Sacarino no Semi-Árido Brasileiro: Elevada Produção de Biomassa e Rendimento de Caldo.** In: XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 2010, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. CD-ROM

TESSO, T. T.; CLAFLIN, L. E.; TUINSTRA, M. R. Analysis of stalk rot resistance and genetic diversity among drought tolerant sorghum genotypes. **Crop.Sci.**, Madison, v. 45, p. 645-652, 2005.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINI, J. G.; BEISMAN, D. A.. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para a obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciência. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 17, n. 3, p.221-229, 1997.

UNICA. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

VENTURA, R. **Quantificação do ácido láctico na fermentação etanólica como parâmetro de monitoramento do processo.** Rio Claro, 2007. Dissertação de Mestrado (Instituto de Biociências, UNESP).

VON PINHO, R. G.; VASCONCELOS, R. C. de. **Cultura do sorgo:** textos acadêmicos. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 76 p.

YOKOYA, F. **Fabricação da aguardente da cana.** (Série Fermentações Industriais, 2). Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "