

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

**PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO
COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO**

Osania Emerenciano Ferreira

Bióloga

2015

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

**PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO
COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO**

Osanía Emerenciano Ferreira

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Microbiologia Agropecuária.

2015

F383p Ferreira, Osania Emerenciano
Produção de etanol a partir de sorgo sacarino com tratamento enzimático / Osania Emerenciano Ferreira. -- Jaboticabal, 2015
xi, 79 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015

Orientador: Márcia Justino Rossini Mutton

Banca examinadora: José Paulo Stupiello, Raúl Andres Martinez Uribe, Leonardo Lucas Madaleno e João Martins Pizauro

Bibliografia

1. Bionergia. 2. Alfa-amilase. 3. Amiloglucosidase. 4. Bicombustíveis. 5. Amido. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 661.722:664.788



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO

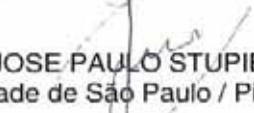
AUTORA: OSANIA EMERENCIANO FERREIRA

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARCIA JUSTINO ROSSINI MUTTON

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR 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. JOSE PAULO STUPIELLO
Universidade de São Paulo / Piracicaba/SP


Prof. Dr. PAUL ANDRES MARTINEZ URIBE
Universidade do Sagrado Coração / Bauru/SP


Prof. Dr. JOAO MARTINS PIZAURO JUNIOR
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


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

Data da realização: 10 de junho de 2015.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

OSANIA EMERENCIANO FERREIRA – Nasceu aos 20 de abril de 1983, na cidade de Frutal, estado de Minas Gerais. Em Agosto de 2002 ingressou no curso de Licenciatura e Bacharelado em Ciências Biológicas, na Universidade do Norte Paulista recebendo o título de licenciatura plena no ano de 2004 e Bacharel em 2005 ambos em Ciências Biológicas. A partir de 2007 passou a integrar o quadro docente da Universidade do Estado de Minas Gerais – UEMG - Campus de Frutal-MG, dedicando-se a área de Microbiologia Aplicada, voltada para processos fermentativos e qualidade da matéria-prima. Foi aprovada para o curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação da FCAV – UNESP em agosto de 2009. Passou a integrar os grupos de pesquisa Processos Biotecnológico Aplicado a Agroindústria e Fisiologia e Manejo Sustentável da cana-de-açúcar. Em agosto de 2011, obteve o título de mestre em Microbiologia Agropecuária. Neste mesmo período ingressou no Programa de Pós-Graduação em nível de Doutorado em da FCAV- UNESP Jaboticabal, SP, logrando o título de doutora em Microbiologia Agropecuária junho de 2015.

Epígrafe

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King

Aos meus pais, Osorio e Odete, minhas irmãs Odelma e Ozilenia e aos nossos pequenos anjos Ryan e Nycollas. Obrigada pelo carinho e apoio incondicional.

Dedico.

Aos Profs. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton e Dr. Miguel Angelo Mutton, exemplos de profissionais, os senhores foram os alicerces dessa conquista. Meus sinceros agradecimentos.

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

-A Deus, por tudo, por todos, pela vida...

-A Profa. Dra. Márcia Justino Rossini Mutton por aceitar me orientar, pela acolhida carinhosa, atenção, pelos ensinamentos, pela amizade e pela paciência. Estendo estes agradecimentos ao Prof. Dr. Miguel Angelo Mutton.

-A Fundação de Amparo a pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa.

-A Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) - Campus de Frutal, MG, pelo apoio na realização do doutorado.

-A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal e aos Coordenadores e docentes do Programa de Microbiologia Agropecuária, que me possibilitaram este crescimento profissional.

-A CanaVialis e a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária), pela concessão das sementes de sorgo sacarino.

-A SOCICANA (Associação dos Fornecedores de Cana de Guariba), pela concessão de suas instalações para o processamento do sorgo.

- Aos queridos companheiros de toda hora Gustavo Gravatim, Nayara Abrão, Aline Ferreira e Roberta Mendes, pela amizade mais principalmente pela parceria, por me amparar e ajudar sempre.

- Aos meus queridos companheiros do Laboratório de Tecnologia do Açúcar e Álcool, Juliana Roviero, Lidyane, Cristhyane, Igor, Jorge, Bruno, Larissa, Marcel, Marcelo, Nayara Silvano, Rita, Sílvia e Vitor.

- Ao técnico do laboratório Sérgio Luís Nobukuni pela amizade carinho e atenção.

- A todos os professores, funcionários e amigos da Universidade do Estado de Minas Gerais em Especial ao Diretor Dr. Ronaldo Wilson e a coordenadora pedagógica Prof.^a Maria Batista pelo apoio incondicional.

- Meus queridos alunos dos Cursos de Ciência e Tecnologia em Produção Sucoalcooleira, Tecnologia de Alimentos e Ciência e Tecnologia em Laticínios, que me inspiram a buscar conhecimento.

-Aos amigos da UEMG, Monica, Eduardo, Allynson, Jaila, Marília, Jorcelino, Fernanda e Olívia. Aos amigos de longas horas de viagem, Samira, Jhansley, Eliton e Patrícia Gabarra.

- A minha querida Maria José (UAB) pelas palavras de incentivo e carinho.

-Às secretárias do departamento de Tecnologia Renata e Bethe pela amizade, carinho e atenção.

-A todos que direta ou indiretamente participaram desse trabalho e da minha formação profissional e pessoal. Obrigada

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA FIGURAS	v
LISTA TABELAS	vii
LISTA QUADROS	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OJETIVOS	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Produção de Etanol	4
3.2 Sorgo sacarino	6
3.3 Fenologia do sorgo sacarino	9
3.4 Sorgo sacarino e cana-de-açúcar	13
3.5 Potencialidade de produção do sorgo sacarino.....	15
3.6 Características agrotecnológicas dos genótipos CV147, CV198 e BRS508.....	16
3.7 Aproveitamento total da planta de sorgo sacarino (Colmos, folhas e grãos).....	17
3.8 Hidrólise do amido.....	19
3.9 Extração do caldo e preparo do mosto.....	21
3.10 Processo fermentativo.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Condições Experimentais.....	25
4.2 Safra 2012/2013 - Condições meteorológicas.....	25
4.3 Delineamento Experimental	26
4.4 Colheita e Extração do Caldo.....	26
4.5 Preparo do Mosto	27
4.6 Preparo do Fermento	27
4.7 Condução do Processo Fermentativo	28
4.8 Avaliação microbiológica das leveduras.....	29

4.9 Produção de etanol, Rendimentos e Eficiência Fermentativa	29
4.10 Análises estatísticas	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 Qualidade da Matéria-Prima.....	30
5.2 Caracterização do caldo clarificado de sorgo sacarino submetido a tratamento com alfa amilase	41
5.3 Processo fermentativo.....	54
6. CONCLUSÕES	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
ANEXOS	78

PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE SORGO SACARINO COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO

RESUMO - A cultura de sorgo sacarino apresenta características agroindustriais que torna a matéria-prima economicamente promissora para a produção de bioetanol. Destaca-se por ciclo produtivo curto, baixo custo de implantação, propagação por sementes, processo totalmente mecanizado, além de apresentar elevada eficiência energética. Esta pesquisa objetivou avaliar as características do caldo de três genótipos de sorgo sacarino, colhidos em duas épocas, com e sem panículas e a influencia da aplicação de enzimas amilolíticas sobre a produção de etanol. O experimento foi realizado na safra 2013/2014, localizada a 21°14'05''S e 48°17'09''W. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com parcelas sub-subdividas e quatro repetições. Os tratamentos primários foram os genótipos de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508), os secundários, o tipo de colheita (colmos integrais e colmos com remoção de folhas/panículas); os terciários as duas épocas de amostragem (102 e 116 dias após a semeadura- d.a.s.). Para a etapa de clarificação e preparo do mosto utilizou-se também o tratamento quartenário (com e sem aplicação de enzimas). O caldo de sorgo sacarino foi submetido a tratamento químico por calagem simples e posterior tratamento com enzimas amilolíticas alfa-amilase e amiloglucosidase, resultando no mosto. A seguir inoculou-se levedura PE-2 iniciando-se o processo fermentativo. Ao final o vinho foi recuperado e caracterizado sendo calculadas a eficiência fermentativa e produtividade de etanol (L.Mg⁻¹). O processamento de colmos integrais reduziu a produção de etanol, as épocas de colheita afetam a qualidade tecnológica do caldo aumentando os teores de fenol, refletindo sobre o processo fermentativo. A utilização de enzimas amilolíticas possibilitou a obtenção de vinhos com menores teores de ARRT e Brix, sem afetar a eficiência fermentativa. O genótipo BRS508 foi o que apresentou maior produção de etanol (L.Mg⁻¹) em comparação aos CV147 e CV198.

Palavras-chave: bioenergia, alfa-amilase, amiloglucosidase, bicomustíveis, amido.

ETHANOL PRODUCTION FROM SACCHARINE SORGHUM TREATED ENZYMATICALLY

ABSTRACT- The cultivation of sweet sorghum has agroindustrial features that makes it an economically promising raw material for the production of bioethanol. It stands out for short production cycle, low implementation cost, seed propagation, fully mechanized process, besides present a high energetic efficiency. This research aimed evaluate three sugar sorghum genotypes juice characteristics, harvested in two different seasons with and without the panicles and also evaluate the application of amylolytic enzymes under the ethanol production. The experiment was carried out through on 2013/2014 season, at 21° 14' 05" S and 48° 17' 09" W. The experimental design was completely randomized with split-split plots and four replications. The primary treatments were the sweet sorghum genotypes (CV147, CV198, and BRS508), the secondary treatments were the, the type of harvest (whole and stalks); the tertiary treatments were two sampling epochs (102 and 116 days after sowing - d.a.s.). To the clarification and must preparation steps we also used the quaternary treatment (with and without the application of enzymes). The sweet sorghum juice was subjected to the lime clarification and then treated with alpha-amylase and amyloglucosidase amylolytic enzymes, resulting in the must. Maser the yeast PE-2 was inoculated to initialize the fermentation process. He wine was recovered and characterized, calculating the fermentation efficiency and amount of ethanol (liters) per ton of sorghum. The processing of whole stalks reduced the ethanol production. The harvest seasons affect the technological quality of the juice, reflecting on the fermentation process. The use of amylolytic enzymes allowed us to obtain wines with lower levels of TRS and Brix, without affect the fermentative efficiency. The BRS508 genotype showed the highest production of ethanol (L/t) compared to CV147 and CV198.

Keywords: Bioenergy, alpha-amylase, amyloglucosidase, biofuels, starch.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar na safra 2013/14 e 2014/15 no Brasil.	5
Figura 02. Fenologia da cultura de sorgo sacarino	11
Figura 03. Polímeros de glicose presente no amido (A) amilose e (B) amilopectina.	20
Figura 04. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita (colmos integrais e colmos limpos) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para fibra, em sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013.....	32
Figura 05. Desdobramento da interação entre épocas (102 e 116 d.a.s.) e sistema de colheita (colmos limpos e integrais), para fibra, em sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013.	32
Figura 06. Efeito da época de colheita sobre o Brix, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.....	33
Figura 07. Efeito da época de colheita sobre os valores de AR, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	34
Figura 08. Efeito da época de colheita sobre os valores de ART, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	34
Figura 09. Efeito das épocas de colheita sobre os valores médios de pH, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.	35
Figura 10. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita (colmos integrais e limpos) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para acidez total, em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013..	36
Figura 11. Desdobramento da interação entre sistemas (colmos integrais e colmos limpos) e épocas de colheita (102 e 116 d.a.s.) para acidez total em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013..	37
Figura 12. Desdobramento da interação entre épocas de colheita (102 e 116 d.a.s.) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para compostos fenólicos, em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013..	38

Figura 13. Épocas de colheita e processamento dos colmos sobre o parâmetro compostos fenólicos, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.	39
Figura 14. Aumento dos teores de amido ao longo das épocas de colheita, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.	40
Figura 15. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo CV147, considerando-se o Brix do caldo clarificado.....	43
Figura 16. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e sistema de colheita para o genótipo CV147 de sorgo sacarino, em caldo clarificado.....	45
Figura 17. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e sistema de colheita para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o sistema de colheita.....	45
Figura 18. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo BRS508 de sorgo sacarino, em caldo clarificado.....	46
Figura 19. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV147 de sorgo sacarino, em caldo clarificado.....	47
Figura 20. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado.....	47
Figura 21. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado.....	48
Figura 22. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo CV147, considerando-se os compostos fenólicos totais do caldo clarificado.....	50

Figura 23. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para compostos fenólicos totais em caldo clarificado para o genótipo CV198 em caldo clarificado.....	50
Figura 24. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para amido em caldo clarificado para o genótipo CV147 em caldo clarificado.....	52
Figura 25. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para amido em caldo clarificado para o genótipo CV198 em caldo clarificado.....	52
Figura 26. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo BRS508, considerando-se o amido do caldo clarificado.....	53
Figura 27. Efeito do genótipo e sistema de colheita (A), Tratamento enzimático (B) e época de colheita (C) sobre a viabilidade celular da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (PE-2).	55
Figura 28. Efeito do genótipo e sistema de colheita (A), Tratamento enzimático (B) e época de colheita (C) sobre a viabilidade de broto da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (PE-2).	57
Figura 29. . Desdobramento da interação entre sistemas de colheita e tratamento enzimático (alfa amilase e amiloglicosidase) para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino considerando-se Eficiência Fermentativa. Jaboticabal-SP/2013.	60
Figura 30. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita e épocas de colheita para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino considerando-se Eficiência Fermentativa. Jaboticabal-SP/2013.....	61
Figura 31. Produção de etanol (L.Mg-1), para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	62
Figura 32. Litros de caldo por Tonelada de colmo processado para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Caracterização físico-química do caldo para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	31
Tabela 02. Efeito do processo de clarificação nos teores de Brix e ATR, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	42
Tabela 03. Efeito do processo de clarificação nos teores de pH e Acidez, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.....	44
Tabela 04. Efeito do processo de clarificação nos teores de Fenol e Amido, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2014.....	49
Tabela 05. Composição do vinho, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino submetido ou não a tratamento enzimático, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 01. Características agronômicas dos 05 tipos de sorgo.....	6
Quadro 02. Períodos de plantio e colheita para sorgo sacarino e cana-de-açúcar no Brasil.....	13
Quadro 03. Comparação das características industriais e tecnológicas do caldo, colmo e bagaço entre a cultura de sorgo sacarino e cana-de-açúcar.....	14
Quadro 04. Principais índices potenciais de produtividade da cultura de cana-de-açúcar e de sorgo sacarino.....	15
Quadro 05. Composição média dos grãos de sorgo sacarino.....	19
Quadro 06. Valores médios de fósforo para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula. Jaboticabal-SP/2013.....	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
BRIX	Porcentagem em massa de sólidos solúveis contida em uma solução
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
AR	Açúcares Redutores
ART	Açúcares Redutores Totais
P.U.I	Período Útil de Industrialização
d.a.s	dias após a semeadura
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
ARRT	Açúcares Redutores Residuais Totais
pH	Potencial hidrogeniônico
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
UNICA	União da Indústria de Cana De Açúcar
PE-2	Cepa de levedura do gênero <i>Saccharomyces cerevisiae</i> utilizada para fermentação alcoólica
DNS	Dosagem de açúcares redutores pelo método do 3,5-Dinitrossalicilato
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
COSECANA	Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo
UFC.mL ⁻¹	Unidades Formadoras de Colônia por mililitro
EXC	Excedente
CAD	Capacidade de Armazenamento de Água no Solo
ETP	Evapotranspiração Potencial

P	Precipitação
ARM	Armazenamento
ETR	Evapotranspiração Real
DEF	Deficiência

1. INTRODUÇÃO

O etanol é considerado alternativa viável em substituição aos derivados de petróleo. À medida que a demanda por combustíveis aumenta, intensifica-se a busca por fontes renováveis de energia. A produção de etanol no mundo é crescente, empregando-se diferentes fontes de biomassa, tais como: amido (milho e grãos de cereais), sacarose, (cana-de-açúcar, de beterraba açucareira e sorgo sacarino) e culturas celulósicas (resíduos vegetais e madeira) (BNDES; CGEE; FAO; CEPAL, 2011).

A utilização do etanol tem se intensificado pelo crescente consumo, impulsionado pelo aumento no uso de veículos automotivos leves "*flex-fuel*", além do incremento em mistura com a gasolina e da produção de biodiesel, que utiliza deste no processo de transesterificação. O atual cenário traz a perspectiva de aumento constante por etanol no mercado nacional e internacional.

O Brasil vivencia o aumento dos preços deste produto, tanto por questões ambientais, quanto pela possibilidade de desabastecimento na entressafra. No país a cultura de cana é majoritária para produção de etanol. A fim de incrementar a produção deste combustível, novas culturas têm sido estudadas, dentre essas, a de sorgo sacarino. Esta matéria-prima pode ser implantada durante a entressafra da cana-de-açúcar em áreas de reforma de canaviais, dilatando em 30 dias a safra, uma vez que apresenta potencial de até 1000 Mg.ha⁻¹. A cultura é totalmente mecanizável, não requer equipamentos e insumos especiais desde o plantio que se dá através de sementes (5 a 7 kg.ha⁻¹), tratamentos culturais e colheita. Apresenta altos rendimentos de etanol (3 mil a 6 mil L.ha⁻¹) (EMBRAPA, 2012a).

Caracteriza-se por ser cultura tropical com metabolismo fotossintético C4, alta eficiência na fixação e aproveitamento do CO₂, rápido crescimento e ciclo vegetativo curto (90 a 120 dias), possibilitando mais de um cultivo por ano. Para bom crescimento e desenvolvimento requer temperaturas superiores a 21°C. Apresenta colmos ricos em açúcares diretamente fermentescíveis (sacarose, glicose e frutose); além de nutrientes, essenciais para o desenvolvimento da levedura.

O período de maturação desta planta está diretamente relacionado à emissão da panícula, que contém as sementes (grãos). Nesta fase de maturação, parte do

açúcares armazenados nos colmos são translocados para os grãos e armazenados na forma de amido (GUIYINGET et al., 2000).

Considerando-se que o sorgo produz panículas com grãos ricos em amido, a literatura ainda é carente de informações sobre a produção de etanol utilização os açúcares presente nos grãos em conjunto com o amido acumulado pela planta nos colmos.

Com o processamento da planta inteira (colmo + folha + panícula), há um incremento de amido ao processo industrial. As leveduras fermentadoras não metabolizam este carboidrato, sendo necessária a adição de enzimas, objetivando a hidrólise deste polissacarídeo a açúcares fermentescíveis.

O processo de hidrólise do amido do sorgo sacarino ocorre de modo similar ao realizado para grãos de milho, sendo necessária a utilização de enzimas amilolíticas (alfa-amilase e amiloglucosidase) para a conversão em etanol. A alfa-amilase converte o amido de forma imediata em dextrinas, que por serem solúveis em água diminuem a viscosidade do caldo. Quando se faz a aplicação da amiloglucosidase no mosto, as dextrinas são convertidas em glicose, podendo ser fermentada a etanol. A colheita da planta inteira de sorgo associado à utilização de enzimas amilolíticas, podem incrementar a produção de etanol, utilizando-se da estrutura de colheita e processamento já existentes para a cana-de-açúcar.

Neste contexto, objetivou-se avaliar as características químico-tecnológicas do caldo de três genótipos de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508) colhidos em duas épocas (102 e 116 d.a.s), utilizando dois sistemas de colheita (colmos limpos e integrais), com adição ou não de enzimas amilolíticas e seus efeitos sobre o desempenho da cepa de levedura *Sacharomyces cerevisiae* (PE-2,), quanto a eficiência fermentativa e produção de etanol (L.Mg⁻¹).

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a produção de etanol a partir de sorgo sacarino, submetido a tratamento com enzimas amilolíticas.

2.2 ESPECÍFICOS

- 1 - Determinar a qualidade tecnológica do caldo do sorgo sacarino quanto aos valores de Brix, pH, AR, ART, acidez total, fenol e amido no caldo extraído;
- 2- Determinar o melhor período para o processamento;
- 3- Avaliar o sistema de colheita de colmos: colmos integrais (com folhas e panícula) e colmos limpos (sem folhas e panícula);
- 4- Avaliar a influência da aplicação de enzimas amilolíticas sobre o processamento industrial dos genótipos de sorgo sacarino.
- 5- Avaliar a produção de etanol pelos genótipos de sorgo sacarino CV147, CV198 e BRS508.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Produção de Etanol

O petróleo continua sendo a fonte de energia primária mundial, considerada de difícil substituição em curto prazo. O Brasil, que produz a partir da cana-de-açúcar cerca de 40% do etanol consumido no mundo, apresenta as melhores condições geográficas, climáticas, culturais e tecnológicas para liderar a produção do álcool combustível (BNDES; CGEE; FAO; CEPAL, 2011).

A grande diversidade edafoclimática possibilita a exploração de várias culturas energéticas para completar e descentralizar a produção de etanol, dentre elas o sorgo sacarino, tornando este setor mais sustentável, além de estimular o desenvolvimento de aptidões regionais para outras culturas (EMYDIO, 2010).

Seguindo as novas tendências internacionais de substituição das matrizes energéticas fósseis por fontes renováveis, o Brasil se destaca neste cenário. No país, 92% da energia elétrica consumida é renovável (85% hidráulica e 7% de biomassa), com destaque para energia eólica e a energia solar que apesar de pouco significativas em nossa matriz energética apresentam grande potencial (CEMIG, 2012).

Nos últimos dez anos o setor sucroenergético passou por grandes transformações tanto tecnológicas quanto agrícolas, tais como: a expansão da cultura de cana para regiões diferentes das tradicionais, programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, substituição do corte manual pelo mecanizado com a consequente extinção da queima. E mais recentemente a adoção do cultivo totalmente mecanizado e o avanço na tecnologia de produção do etanol a partir da hidrólise do bagaço. Com isso foi possível expandir o período de safra, mas ainda assim, a indústria passa por um período de entressafra onde há desabastecimento de matéria-prima, além de baixas produtivas decorrentes especialmente a condições climáticas atípicas como a observada na safra 2014/2015.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na safra (2014/2015), foram moídas 642,1 milhões de toneladas de cana com produção de 28,66 bilhões de litros de etanol, redução de 2,5% para cana moída em relação a safra passada 2013/14, onde se processou 658,8 milhões de toneladas, com

produção de 27,96 bilhões de litros. A safra 2014/2015 foi caracterizada pela seca que atingiu a região centro-sul entre os meses de dezembro e fevereiro (UNICA, 2015). As baixas precipitações pluviométricas refletiram diretamente no desenvolvimento da cultura, tanto na fase de rebrota, quanto no crescimento, o que prejudicou o perfilhamento da cultura e desenvolvimento dos colmos, afetando a produtividade de cana-de-açúcar. A queda registrada na safra foi de 4,6% (Fig. 01) e só não foi maior devido ao aumento da área plantada no país ter aumentado 2,2% (CONAB, 2015).

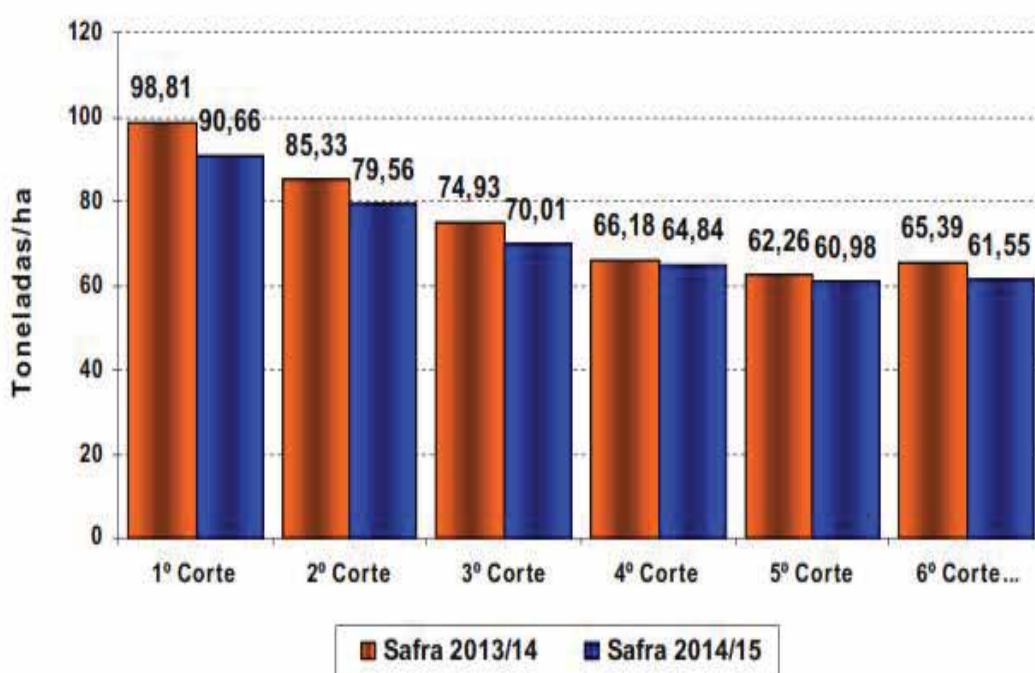


Figura 01. Comparativo de produtividade de cana-de-açúcar na safra 2013/14 e 2014/15 no Brasil.

Fonte: CONAB, 2015.

Para suprir o mercado de etanol, o setor tem que retomar o movimento de expansão, aumentando não só a capacidade industrial, mas principalmente a área cultivada com matéria-prima, especialmente em períodos de entressafra, impedindo que o país venha a sofrer reajustes nos preços deste combustível. Assim uma alternativa para complementar a produção de etanol seria o sorgo sacarino, que se destaca, tanto do ponto de vista agrônomo quanto do industrial para produção de etanol e bioeletricidade.

3.2 Sorgo sacarino

O *Sorghum bicolor* L. Moench é gramínea originada do continente africano pertencente à família Poaceae, sendo cultivada em inúmeras regiões do planeta. É o quinto cereal mais importante do mundo ficando atrás apenas do trigo, milho, arroz e cevada (FORNASIERI FILHO; FORNASIERI, 2009).

O sorgo pode ser agronomicamente classificado em cinco grupos: granífero, sacarino, forrageiro, vassoura, e recentemente surgiu no mercado o sorgo energia, todos com características e importância econômicas diversas (Qua. 01).

Quadro 01. Características agrônômicas dos 05 tipos de sorgo.

Tipos de Sorgo	Características	Produto	Utilização
Granífero	Porte baixo (híbridos e variedades), adaptado à colheita mecânica.	Grão	Substituto do milho na ração animal (bovinos, suínos e aves), utilização do restolho. Alimentação humana (farinha). Industrialização de produtos: amido, cera, cerveja, óleo, etc.
Sacarino	Porte alto (híbridos e variedades). acumulam sacarose no colmo	Colmo e grão	Utilizado na produção de xaropes que substitui o açúcar como adoçante na Indústria; Produção de etanol e alimentação animal.
Forrageiro	Variedades de capim sudão ou híbridos inter específicos de <i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i> .	Biomassa	Apropriado para confecção de silagem, pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta
Vassoura	Possui panículas com fibras longas	Panícula	Uso restrito: Vassouras, escovas e ornamentação.
Energia	Porte alto (até seis metros) rápido crescimento e alto potencial produtivo.	Biomassa (alto teor de fibra)	Cogeração de energia

Fonte: Elaboração própria a partir de Ribas (2007); Olivetti e Camargo (1997)

O sorgo sacarino é planta anual, apresenta a seguinte classificação botânica: Tribo: Andropogoneas e subfamília Panicoidae; Ordem: Poales; Família: *Poaceae*; Gênero: *Sorghum* e Espécie: *Sorghum bicolor*. Apresenta caule compostos por nós, entrenós ou internódios, que sustentam as folhas e inflorescências. A altura da planta é variável entre genótipos, dependendo do número e comprimento dos entrenós, gerando inflorescência terminal tipo panícula, que é rica em amido. A panícula é aberta e produz grãos (sementes), o fruto é uma cariopse ou grão seco (MAGALHÃES et al., 2010; DINIZ, 2010).

Em *Sorghum bicolor* (L) Moench (BRYAN, 1990), o termo “sacarino” é utilizado para descrever tipos de sorgo que apresenta colmo suculento, rico em açúcar e de elevado potencial de produção de grãos. Pode produzir entre 40-70 t.ha¹ de biomassa com o Brix variando de 16 até 23%. O acúmulo destes açúcares se dá na fase de floração e é contínuo até a maturação fisiológica da planta (RATNAVATI et al., 2010; ALMODARES; HADI, 2009).

A planta não apresenta proteção para sementes, como por exemplo, o milho que tem a palha ou as glumas do trigo e da cevada, assim a planta de sorgo sintetiza vários compostos fenólicos, que servem como defesa química contra pássaros, patógenos e outros competidores (MAGALHÃES et al., 2000).

São características da cultura do sorgo, resistência a diferentes condições de estresses ambientais, precocidade, pode rebrotar, o plantio é via semente além de possuir múltiplos usos (alternativa para produção de alimentos, etanol de primeira e segunda geração, biomassa para geração de bioeletricidade) (TABOSA et al., 2010). Outro fato é a possibilidade de antecipar a colheita em aproximadamente 45 dias (com relação à cana-de-açúcar), o que coloca o sorgo sacarino como excelente matéria-prima para produção de etanol na entressafra (PARRELLA et al., 2010 b).

No Brasil, o cultivo deste cereal é uma excelente alternativa para produção de grãos e forragem para composição de alimentação animal devido ao seu baixo custo, boa qualidade nutricional e preço de produção, quando comparados ao milho, trigo e soja. Nos últimos anos intensificaram-se os estudos visando à utilização da cultura para a produção de etanol, por se assemelhar a cana-de-açúcar quanto a fisiologia e características tecnológicas (DAMASCENO et al., 2010; TABOSA et al., 2010), sem concorrer com a cana-de-açúcar, pois pode ser cultivado em áreas de expansão agrícola quando os canaviais não são suficientes ou em áreas de reformas de canaviais (CANAVIALIS, 2012).

A área cultivada com sorgo sacarino no país apresentou expressiva expansão nos últimos anos, agrícolas, atingindo em 2008/2009 uma área plantada acima de 1,5 milhões de hectares, para sorgo sacarino a área plantada foi de 30 mil hectares 2011/2012 e 230 mil hectares 2011/2012 (TABOSA, 2013). Do ponto de vista agrônomo, este crescimento é explicado, principalmente, pela sua capacidade de suportar estresse ambiental. É considerada cultura rústica com elevada tolerância a períodos de estiagem durante seu ciclo vital, se estabelecendo bem em solos com baixa qualidade (SOUZA et al., 2009).

Outro ponto que merece ser destacado é o processamento desta matéria-prima que necessita de poucos ajustes agrícolas sem nenhuma adaptação industrial. Para sua colheita é utilizado os mesmos equipamentos da cana-de-açúcar, com adaptações. O processamento dos colmos pode ser feita na mesma planta industrial que opera a cana-de-açúcar, viabilizando sua utilização. Quando se compara o custo de produção da cana-de-açúcar e do sorgo este é menor, pois exige menos manejo cultural que a cana.

A utilização desta cultura pode ainda trazer os benefícios de reduzir os riscos de desabastecimento de etanol, ajudar na estabilização dos preços e reduzir a importação deste combustível e gasolina. Fontes alternativas de rentabilidade e sustentabilidade é uma busca constante por parte do setor sucroenergético para manter altos níveis de produtividade e competitividade.

A Embrapa Milho e Sorgo, através do seu Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006/2011) retomaram o programa de melhoramento do sorgo sacarino, interrompido no final dos anos 80. Como resultado deste trabalho foi desenvolvido variedades com elevada produtividade de colmos, apresentando em média 50 toneladas por hectare de matéria seca em ciclo de 5 a 8 meses (CORSINO, 2011).

De acordo com Durães (2011) nesta nova etapa de melhoramento, os programas de melhoramento genético buscam por genótipos produtivos e adaptados as diferentes condições edafoclimáticas, que garantam incremento na produtividade. Visou-se também o desenvolvimento de híbridos resistentes às principais doenças (ferrugem, míldio, antracnose, helmintosporiose e cercosporiose) e pragas (broca-da-cana e lagarta-do-cartucho). Além de variedades menos suscetíveis ao acamamento, uma vez que apresenta porte alto (3 a 5 m de altura) e presença de panícula com grãos no ápice da planta, o que favorece o acamamento.

Para produção de etanol a partir de sorgo sacarino, pode se utilizar desde os colmos (ricos em açúcares fermentescíveis) bem como seus grãos. Porém, atualmente, os melhoramentos genéticos estão concentrados principalmente nos colmos do sorgo. Buscando criar novos genótipos que apresentem maior rendimento de açúcares, menor quantidade de grãos e alto valor de taninos, o que tem causado bastante controvérsia, uma vez que, podem formar complexos com proteínas e reduzirem a palatabilidade e digestibilidade para uso em alimentação animal. Por outro lado traz vantagens agrônômicas, como resistência a pássaros e doenças do grão (GONÇALVES et al., 1999).

Ainda há escassez de informação sobre as respostas fisiológicas do melhoramento simultâneo de colmos e grãos. Neste contexto, pouco se sabe sobre a viabilidade econômica e genética da utilização do colmo e dos grãos de sorgo com o objetivo de maximizar a produção de etanol a partir desta matéria prima (MURRAY et al., 2008).

3.3 Fenologia do sorgo sacarino

O sorgo é planta C4 com elevada atividade fotossintética (MAGALHÃES et. al, 2010; MURRAY et. al., 2008). A cultura de sorgo sacarino se caracteriza por ser de ciclo fenológico curto (de 90 a 120 dias) alcançando sua maturação fisiológica em período aproximado de 4 meses, capaz de produzir teores de açúcares próximos aos de cana-de-açúcar em uma escala de tempo semelhante (FONTES et al., 2011).

O sorgo sacarino destaca-se por ser espécie de comportamento rústico, bem adaptado a ambientes extremos de estresses abióticos, tais como temperatura do ar e umidade do solo (URIBE et al., 2014). Apresenta elevada tolerância a períodos de estiagem durante o ciclo vital, podendo ser cultivado em ampla faixa de condições de solo. Desde regiões mais secas, zonas áridas e semiáridas, inclusive em ambientes de baixa fertilidade, nas mais diversas regiões do Brasil sem concorrer com a cana-de-açúcar, sendo colhido durante sua entressafra (CANAVIALIS, 2011). Beneficiando a indústria sucroenergética, que não ficaria sem matéria-prima para a produção de etanol nesse período.

É mais tolerante que a maioria dos outros cereais, sem grandes prejuízos para a colheita de grãos e massa verde (SOUZA et al., 2009; DINIZ, 2010). Durante o seu

ciclo, o consumo de água pelo sorgo varia de 380 mm a 600 mm, dependendo das condições climáticas dominantes. Devido às características xerofíticas, o sorgo mantém-se dormente durante o período de seca, retomando o crescimento assim que as condições sejam favoráveis (LANDAU; SANS, 2008b).

A resistência do sorgo sacarino a seca se deve ao fato de apresentar sistema radicular profundo, ramificado e extenso, o que permite a planta explorar mais volume de solo e ser eficiente na extração da água do solo. Além de possuir a característica bioquímica que permite desacelerar seu metabolismo fisiológico (hibernar) durante o período com déficit hídrico (MAGALHÃES et al., 2010).

Outra característica interessante do sorgo é a cerosidade nas folhas e colmos que favorecem a menor perda de água, eficiente regulação estomática e utilização de assimilados acumulados na pré-antese para granação (TURNER; KRAMER, 1980). A temperatura ótima varia entre 16 °C e 38°C conforme a cultivar, temperaturas noturnas 5°C acima do valor ótimo podem reduzir em até 33% a produtividade (EMBRAPA, 2011).

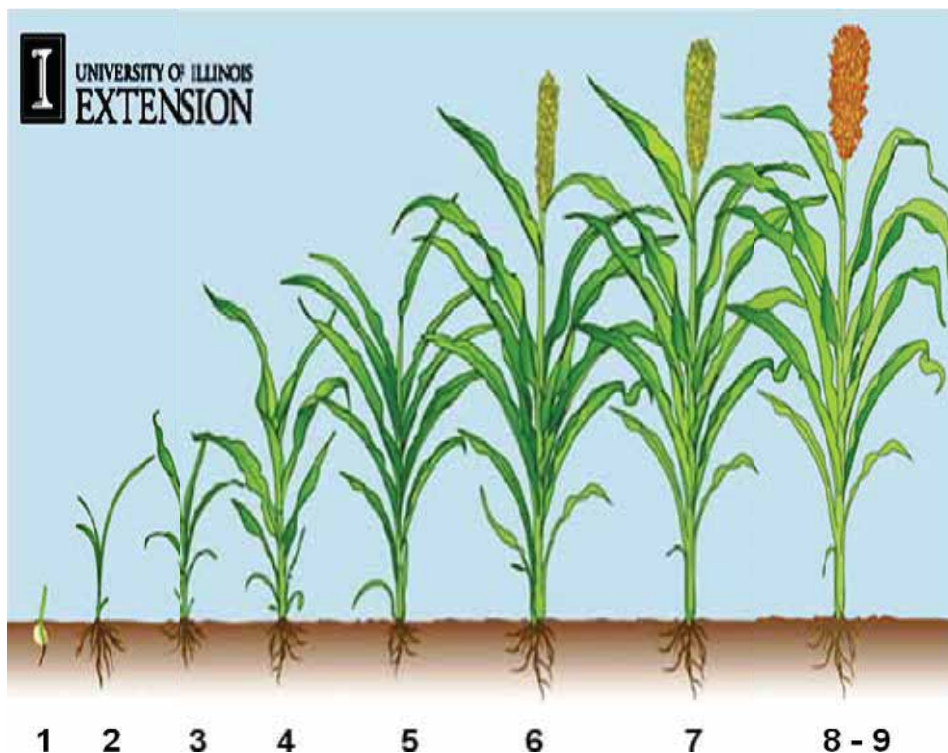
O sorgo ainda é uma planta que tolera uma faixa de pH entre 5,0 – 8,5, além de ser adaptável a salinidade, alcalinidade até solos com excesso de umidade (BLADE, 2010; REEDY; REEDY, 2003). Este comportamento de rusticidade as condições ambientais possibilita a cultura ser implantada em áreas de reforma de canaviais, com boa adaptabilidade a diferentes solos (CANAVIALIS, 2012).

Assim como é menos exigente a disponibilidade hídrica, a exigência por fertilizantes se comparado à cultura de cana-de-açúcar também é menor e está diretamente relacionada com a produtividade. Verifica-se que a produção apresenta exigências por nutrientes, em ordem decrescente para o nitrogênio e potássio, seguido de cálcio, magnésio e fósforo (EMBRAPA, 2010). É importante salientar que mesmo que a produção de etanol por hectare seja menor quando comparado com o custo de cultivo é 1/3 menor (NASCIMENTO, 2012).

Quanto à fenologia, o sorgo é diretamente afetado pelas condições ambientais, a qualidade do caldo sofre influência direta do estágio fenológico em que é colhido (SCHAEFFER, 2010). Para tanto, faz-se necessário o estabelecimento das melhores épocas de colheita, determinação das características tecnológicas e físico-químicas para obtenção de melhores rendimentos fermentativos.

O Estádio de crescimento do sorgo sacarino pode ser dividido em três fases: 1) Vegetativa - compreende o período que vai desde a germinação até a iniciação da

panícula. 2) Reprodutiva - que vai desde a iniciação da panícula até o florescimento, apresenta vários processos de crescimento, que se afetados poderão comprometer o crescimento e desenvolvimento da área foliar, sistema radicular, acumulação de matéria seca e o estabelecimento de um número potencial de sementes. 3) Maturação - fase que vai da floração a maturação fisiológica dos grãos, os fatores considerados mais importantes são aqueles relacionados ao enchimento de grãos.



Fase vegetativa - Estádio 0 - emergência - Estádio 1 – colar da folha 3 visível - Estádio 2 – colar da folha 5 visível. **Fase reprodutiva** - Estádio 3 – diferenciação da panícula - Estádio 4 – visível a ponta da última folha - Estádio 5 – emborrachamento. **Fase de Maturação** - Estádio 6 – florescimento (50% de floração) - Estádio 7 – grãos leitosos - Estádio 8 – grãos pastosos - Estádio 9 – maturação fisiológica.

Figura 02. Fenologia da cultura de sorgo sacarino

Fonte: <http://weedsoft.unl.edu/documents/GrowthStagesModule/Sorghum/Sorg.htm>

Para obtenção máxima de produtividade, visando um bom rendimento da cultura, as etapas de crescimento, fotossíntese e o particionamento de fotoassimilados, a divisão e expansão celular devem ser ajustadas, além do monitoramento constante de pragas e doenças (DINIZ, 2010; MAGALHÃES; DURÃES, 2003).

Vários insetos e patógenos podem atacar a cultura de sorgo sacarino sendo importante o monitoramento constante e a identificação de patógenos para manter a

sanidade da cultura e consequente produtividade. Os cuidados devem começar com o tratamento das sementes, para o bom desenvolvimento da cultura. Por exemplo, a época e densidade de semeadura devem ser observadas.

De acordo com May et al. (2012) o atraso na época de semeadura pode acarretar perdas significativas de produtividade, em virtude do déficit hídrico ou por limitações de radiação solar no ciclo da cultura. Os autores recomendam 120.000 a 130.000 plantas.ha⁻¹ para cultivo em verão e 110.000 plantas.ha⁻¹ para a safrinha. A densidade populacional deve receber atenção, pois é um fator influente para o controle de doenças. Quanto maior a quantidade de plantas por m², maior a velocidade de espalhamento do patógeno na área.

Faz-se necessário o monitoramento constante da cultura para evitar danos oriundos do ataque de pragas e doenças. Dentre as pragas de solo destacam-se duas espécies de lagarta a elasmó e a de rosca, além do pulgão do trigo e milho e a broca da cana-de-açúcar. Faz-se importante também o controle das formigas. Para as doenças deve-se considerar a podridão das sementes, que afeta a fase de germinação e o desenvolvimento vegetativo da cultura (EMBRAPA, 2009).

Para as doenças foliares destacam-se a antracnose, ferrugem, vírus do mosaico da cana-de-açúcar e milídio do sorgo. A Antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), ferrugem (*Puccinia purpurea*) devem ser monitoradas constantemente, pois podem atacar durante todo ciclo da cultura, causando necrose das folhas e consequente redução da atividade fotossintética, refletindo diretamente na produtividade (CANAVIALIS, 2012). Quanto às doenças do colmo a podridão de *Macrophomina* e a podridão vermelha do colmo, merecem destaque (EMBRAPA, 2009).

Outra doença importante é o ergot (*Sphacelia sorghi*), que pode diminuir o acúmulo de açúcares em 20%, reduzindo a produtividade da cultura (CANAVIALIS, 2012). A Helminthosporiose e Cercosporiose aparecem ao final do ciclo da plantação prejudicando a produção de biomassa, sendo indicada a aplicação preventiva aos 60 dias para garantir a sanidade da cultura até o final do seu ciclo (NASCIMENTO, 2012).

Outro fator importante a ser considerado durante a fase de estabelecimento da cultura é o controle de ervas daninhas e de plantas infestantes. Que interferem na capacidade de desenvolvimento da planta, devido ao alto grau de interferência (ação conjunta da competição e da alelopatia). Quanto maior for o período de

convivência das plantas daninhas, mais severos serão os danos causados. Assim de acordo com a idade da planta e a época em que a mesma foi implantada, os danos podem ser intensificados (DINIZ, 2010).

3.4 Sorgo sacarino e cana-de-açúcar


O sorgo sacarino apresenta características tanto industriais quanto agrônômicas interessantes. Destaca-se nesta cultura o fato da flexibilidade do plantio que se dá por meio de sementes, o que permite ser implantado em sistemas de rotação com outras culturas anuais ou ainda em áreas onde a cana-de-açúcar não tem boa adaptação (CERES, 2010). Produz grãos com características nutricionais semelhantes ao milho, que podem ser utilizados tanto para aumentar a produção de etanol, quanto na alimentação humana e animal (DURÃES, 2011).

O sorgo requer três vezes menos água que a cultura de cana-de-açúcar, e um ciclo de crescimento vegetativo quatro vezes menor, possibilitando a colheita de duas a três safras anuais de acordo com a região e disponibilidade de irrigação (REDDY et. al., 2005; CERES, 2010).

Sua característica fenológica, possibilita a produção de etanol durante o período da entressafra da cana-de-açúcar, quando plantado no início do período chuvoso (setembro), com colheitas a partir de janeiro. O que possibilita antecipar entre dois e três meses o período de moagem das usinas, reduzindo o período de ociosidade das destilarias, que atualmente varia de três a cinco meses, conforme pode ser visualizado no (Qua. 02).

Quadro 02. Períodos de plantio e colheita para sorgo sacarino e cana-de-açúcar no Brasil.

		Planejamento industrial											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Sorgo	Plantio												
Sorgo	Colheita												
Cana-de-açúcar	Plantio												
Cana-de-açúcar	Colheita												

 Colheita de Rebrotas – Necessário irrigação
Fonte: SCHAFFERT, 2010

O curto período de utilização reduz a flexibilidade na colheita do sorgo sacarino em função de possíveis problemas climáticos (falta ou excesso de chuvas) ou operacionais (problemas na usina) que impeçam a colheita ou moagem industrial. A utilização de enzimas (α -amilase e β -amiloglucosidase) para o tratamento do caldo poderá possibilitar a utilização concomitante do grão do sorgo sacarino na produção de etanol, maximizando seu potencial, além de permitir melhor flexibilização do período de colheita.

Apresenta quantidade de Açúcares Redutores Totais (ATR) com valores próximos aos de cana-de-açúcar, possibilitando valores de eficiência fermentativa da ordem de 90%. A presença em alguns genótipos de quantidades elevadas de açúcares não fermentescíveis inviabiliza sua utilização na produção de açúcar evitando a cristalização do mesmo (REEDY et. al., 2005; ICRISAT, 2009). O Qua. 03 apresenta a comparação entre sorgo sacarino e cana-de-açúcar.

Quadro 03. Comparação das características industriais e tecnológicas do caldo, colmo e bagaço entre a cultura de sorgo sacarino e cana-de-açúcar.

Sorgo sacarino X Cana-de-açúcar		
	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar
Planejamento industrial		
Ciclo Fenológico	Ciclo rápido (4 meses)	Ciclo rápido (12 a 18 meses)
Plantio	Mecanizável, por sementes.	Plantio mecanizável, por mudas.
Tratos culturais e colheita	Mecanizável	Mecanizável
Produção de grãos	Produção de grãos (2 a 5 t.ha ⁻¹)	Não produz grãos
Análise do caldo		
Quantidade (Kg.t ⁻¹ de colmo)	370 – 660	600 - 800
Brix (%)	15,0 – 21,0	18,0 – 21,0
Sacarose (%)	8,0 – 17,5	15,0 – 18,0
ART (%)	13,0 – 20,0	16,0 – 19,0
Pureza (%)	55 – 80	80 – 90
Relação Sacarose/Açúcares reductores	1,0 – 8,5	15,0 – 18,0
Análise de colmo		
Sacarose (%)	4,0 – 13,0	12,0 – 16,0
ART (%)	11,5 – 16,5	13,0 – 17,0
Fibra (%)	10,0 – 19,0	9,0 – 13,0
Composição do Bagaço		
Lignina (%)	11,90	20,50
Pentosanas (%)	26,90	26,35
Celulose (%)	46,57	47,70

Fonte: Modificado a partir de Parrella (2011) e NASCIMENTO (2012).

Apesar de apresentar inúmeras vantagens a cultura de sorgo sacarino não propõe a substituição da cana-de-açúcar, mais uma complementação. Com o plantio e colheita de sorgo e posterior plantio de cana, uma vez que no Brasil, a cana-de-açúcar destaca-se como uma das principais fontes de matéria-prima na produção sustentável de etanol (AZEVEDO et. al., 2012).

3.5 Potencialidade de produção do sorgo sacarino

O sorgo é indicado para plantio em áreas de reforma de canaviais devido a sua capacidade produtiva ser inferior a da cana-de-açúcar. Nesta nova etapa de produção a primeira usina a implantar o cultivo desta cultura em escala comercial no Brasil na safra 2010/2011 foi a Cerradinho localizada no estado de São Paulo.

Estudos desenvolvidos pela Monsanto indicam que o sorgo sacarino pode atingir o potencial de 60 litros de etanol por tonelada. A produção média de etanol na Usina Cerradinho foi de 35 a 40L.Mg⁻¹, valores estes considerados baixo quando comparado com a cana-de-açúcar (80 a 85L.Mg⁻¹). Vários fatores contribuíram para o baixo rendimento obtido tais como a colheita em estágio fenológico não adequado, associado à presença de elevada quantidade de grãos (ricos em amido) e a inadequação do inóculo utilizado (EMBRAPA, 2012b).

O potencial apresentado pelo sorgo sacarino é atrativo, justificando sua implantação comercial. O Qua. 04 apresenta índices de produção de sorgo sacarino em comparação a cultura de cana-de-açúcar.

Quadro 04. Principais índices potenciais de produtividade da cultura de cana-de-açúcar e de sorgo sacarino.

	Água utilizada (L de água.Kg ⁻¹ de biomassa seca)	Produção de etanol (mil L.ha ⁻¹)	Produção de biomassa (t.ha ⁻¹)	Custo (t.ha ⁻¹)
Cana	600	7 a 7,5	80 a 85	4.000
Sorgo	300	3 a 3,6	60	2.700

Fonte: EMBRAPA sorgo e milho; Monsanto apud REVISTA GLOBO RURAL, 2011.

Adicionalmente, a cultura de sorgo sacarino produz grãos (2 a 5 t.ha⁻¹), que apresenta características nutricionais semelhantes ao milho. Grãos e colmos de sorgo sacarino têm rendimentos mais fermentáveis que outras espécies energéticas (NASCIMENTO, 2012).

As características agronômicas inerentes à implantação da cultura em escala industrial, plantio, produção, colheita e fermentação do caldo ainda são passíveis de caracterização. Dentro deste enfoque, a determinação do melhor estágio fenológico da colheita, associada à realização de tratamento do caldo com enzimas amilolíticas e o emprego de leveduras adaptadas a este mosto, possibilitará melhor o rendimento e a eficiência fermentativa. Aumentar o acervo de conhecimento à disposição, visando atender a uma forte e crescente demanda do mercado por informações sobre o sorgo sacarino.

3.6 Características agrotecnológicas dos genótipos CV147, CV198 e BRS508

O genótipo BRS508 caracteriza-se por apresentar alto teor de açúcar no caldo que podem atingir de 18 a 22,9 °Brix, com excelente padrão de fermentação e alto potencial de produzir colmos. O Período de Utilização Industrial (PUI), fator este importante para planejar a colheita da safra é de no mínimo de 30 dias (EMBRAPA, 2012a).

O híbrido CV147 se destaca pela elevada produtividade de biomassa, teor de açúcar, boa velocidade de crescimento inicial além de ter maior resistência ao tombamento e boa sanidade. Amplitude da janela de colheita (colheita tardia) com janela de plantio de 15 de novembro a 15 de janeiro. Já o CV198 caracteriza-se pela alta produtividade, que alia riqueza de açúcares com precocidade, sendo indicado para ambientes de maior fertilidade (CANAVIALIS, 2012).

Quanto a sucessibilidade, as principais doenças que atacam o sorgo e reduzem a produtividade, para a antracnose o genótipo CV198 é classificado como altamente resistente, enquanto o BRS508 é moderadamente resistente e o CV147 moderadamente suscetível. Para ferrugem e helmintosporiose o BRS508 é moderadamente suscetível e os CV147 e CV189 altamente resistentes (EMBRAPA, 2012a; NUNES, EMYGDIO, EICHOLZ, 2014).

O PUI tem sido utilizado para adoção de híbridos, sendo os que apresentam valores muito baixos uma preocupação, uma vez que podem limitar o período de colheita. Para o genótipo BRS508 foi observado mínimo de 30 dias (EMBRAPA, 2012). Mutton et al. (2013), determinaram PUI de 40 dias para os genótipos CV147 e CV198 com melhor qualidade tecnológica aos 100 d.a.s..

3.7 Aproveitamento total da planta de sorgo sacarino (Colmos, folhas e grãos)

A colheita da planta inteira de sorgo sacarino, não interfere na qualidade tecnológica do caldo de sorgo sacarino como já relatado por May et al. (2013) e Freita et al.(2014). Assim, a utilização de plantas inteiras possibilita a otimização do sistema de colheita, incrementando a quantidade de bagaço para geração de energia elétrica ou para venda, além de abrir a possibilidade da utilização do amido presente nos grãos.

A sacarose é o carboidrato não estrutural principal dos colmos de sorgo sacarino e o amido é o dos grãos e folhas. Segundo Almodares; Hadi e Dosti (2007), apesar do sorgo sacarino e amido que pode interferir no processo de clarificação do caldo de sorgo.

Na literatura somente Parrella et al. (2010a), avaliaram a produtividade de grãos em sorgo sacarino, o estudo foi desenvolvido em Sete Lagoas. A produtividade média foi de 2 a 5 t.ha⁻¹, com cultivares produzindo de 0,6 a 5,5 t.ha⁻¹, mesmo com ataque moderado de pássaros. No Brasil as grandes usinas têm processado o sorgo sacarino integral, colhido com folhas e grãos, que a após a moagem resulta em bagaço misto, que pode ser utilizado para confecção de silagens para alimentação de bovinos.

A composição química média nutricional do grão de sorgo é semelhante ao milho sendo variável, de acordo com o genótipo e as condições climáticas, porém o sorgo possui maior conteúdo protéico (ROSTAGNO, 1986). O amido é um homopolissacarídeo, que é armazenado nos grãos da panícula, os níveis deste na planta sofrem influência do estágio de maturação e genótipo, sendo que quanto maior o nível de maturação maior sua quantidade nos grão e menores são seus teores no caldo (GUIYING et al., 2000).

De acordo com Nan et al., (1994), os teores médios de amido no caldo podem variar de 300 a 9900 mg.L⁻¹. A determinação da quantidade de amido presente nos colmos e na panícula é importante, pois a eficiência da produção de etanol utilizando este material é diretamente dependente da quantidade deste composto.

O grão de sorgo é constituído por pericarpo, endosperma e gérmen, com variação nas proporções de cada componente de acordo com o genótipo. O pericarpo é a camada mais externa, o revestimento fibroso que oferece proteção física ao grão. O gérmen a estrutura germinativa, que origina a nova planta de sorgo

sendo esta rica em lipídeos, proteínas de estocagem, enzimas, minerais que são a reserva nutritiva do embrião (ROONEY; SERNA-SALDIVAR, 1991).

A pigmentação, tamanho, estrutura, textura e dureza dos grãos de sorgo apresentam características bioquímicas diferentes (SWATSON et al., 1994). A pigmentação varia de branco a tons de amarelo, marrom, vermelho e misturas destas cores. A intensidade dos pigmentos do pericarpo e das folhas influencia nos teores de amido e fenol. Genótipos com sementes brancas ou amareladas são mais adequadas à produção de amido (FREEMAN; WATSON, 1971; SUBRAMANIAN; HOSENEY; BRAMELCOX, 1994; OWUAMA; OKAFOR, 1987). Variedades cujas sementes apresentam pericarpo escuro se caracterizam por possuir elevados teores de tanino, enquanto que as de cor clara, baixos teores (DEMARCHI; BOIN; BRAUN, 1995).

Os compostos fenólicos também servem como parâmetro para classificação do sorgo em tipos com baixos ou altos teores. A quantidade de fenol é variável entre os genótipos e sofre influência direta do estágio de desenvolvimento da cultura e das condições climáticas (MAGALHÃES; DURÃES; SCHAFFERT, 2000). No sorgo o principal representante destas moléculas são os taninos, as leucoantocianinas são encontradas nos grãos e as proantocianinas nas folhas e pigmentos de flores (DEMARCHI; BOIN; BRAUN, 1995). Estes compostos têm a função de reduzir o crescimento de fungos, a germinação dos grãos da panícula no campo, além de protegê-los contra ataques de pássaros e insetos (JANSMAN, 1993; DUODU et al., 2003).

Estas moléculas ganham importância quando se processa a planta de sorgo inteira, pois a presença de folhas e grão pode interferir na qualidade do mosto produzido, aumentando os teores de fenóis. Ravaneli et al. (2011), cita que matérias primas com teores de fenóis superiores a 500 mg.L^{-1} , afeta diretamente a viabilidade das leveduras, reduzindo significativamente o teor de etanol produzido.

Em sorgo o teor de amido (Qua. 05) representa a maior parte do conteúdo presente no grão, com valores entre 65 e 70% (BOYER; LIU, 1983). A composição média do amido nos grãos de sorgo é de 75% de amilopectina, alguns híbridos são compostos por 100% desta molécula, assim como existem híbridos que apresentam altas taxas de amilose.

Quadro 05. Composição média dos grãos de sorgo sacarino.

Componentes	(% base seca)
Amido	70,1
Proteínas	11,2
Umidade	11,6
Fibras	1,82
Lípideos	3,54
Cinzas	1,8

Fonte. Adaptado de Wu et al. (2007), Rossell (2011)

A utilização do amido presente nos colmos e na panícula para incrementar a produção de etanol pode ser realizada através de processos industriais adicionais, tais como a adição de enzimas amilolíticas. Que visam converter este material em açúcares fermentescíveis uma vez que este material não é diretamente fermentescível pelas leveduras empregadas atualmente na produção de etanol.

3.8 Hidrólise do amido

O amido é o polissacarídeo de reserva das plantas superiores, é o composto mais abundante na natureza, competindo em quantidade apenas com a celulose. Está presente nas células de plantas como raízes tuberosas, folhas (temporariamente), rizomas, sementes, frutas. Apresenta-se na forma de estruturas granulares, esférica ou oval, dependendo dos tipos de plantas variam desde 0,5 até 175 μm (SINGH et al., 2003).

É formado basicamente por dois tipos de macromoléculas a amilose e amilopectina, com valores médios de 10 a 20% de amilose e de 80 a 90% para amilopectina (Fig. 04) (WANG et al., 1993; KASEMSUWAN et al., 1995). Pacheco (2012) avaliou teores de amido no caldo de sorgo sacarino da ordem de 3 a 4 g.L^{-1} . Nascimento (2012), cita que a maioria dos híbridos cultivados no Brasil apresenta teores da ordem de 5 g.L^{-1} .

A hidrólise do amido é feita através da aplicação de amilases que constituem um dos mais importantes grupos de enzimas industriais. São responsáveis pela hidrólise da molécula de amido em polímeros de unidades de glicose, sendo amplamente distribuídas na natureza. São utilizadas na produção de maltodextrina, amidos modificados, e xaropes de glicose e frutose. São também usadas em um

grande número de processos industriais, tais como nas indústrias têxtil, na fabricação de detergentes para lavadeira e louças, indústria farmacêutica e alimentícia e na fabricação de etanol e açúcar (SOUZA; MAGALHÃES, 2010).

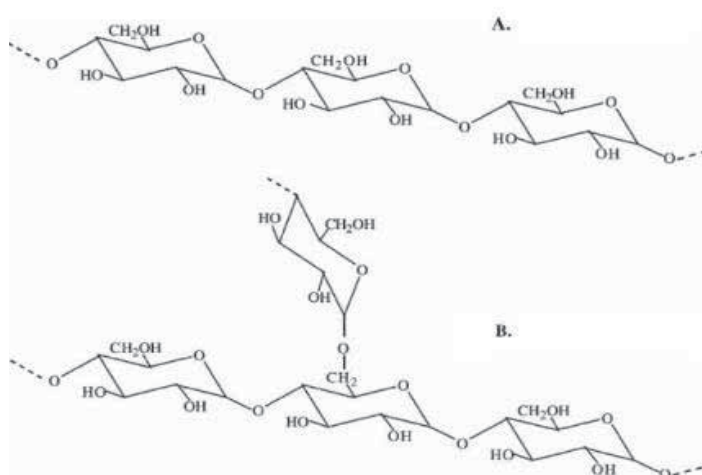


Figura 03. Polímeros de glicose presente no amido (A) amiloze e (B) amilopectina.
Fonte: Souza e Magalhães (2010).

A α -amilase (E.C 3.2.1.1) atua sobre a amiloze e a amilopectina hidrolisando as ligações (1 \rightarrow 4) em polissacarídeos de forma não seletiva sobre vários pontos da cadeia simultaneamente, o produto final da hidrólise são unidades de glicose, oligossacarídeos de diferentes massas moleculares e dextrinas. (SOUZA; MAGALHÃES, 2010). É uma enzima de liquefação que reduz de forma intensa a viscosidade da solução de amido (BAYSAL et al., 2008).

Podem ser divididas em três categorias: as alfa amilases, que rompem as ligações no interior do substrato (endoamilases); as β -amilases, que hidrolisam unidades das extremidades não redutoras do substrato (exoamilases); e as glucoamilases, as quais liberam unidades de glicose do terminal não-redutor das moléculas do substrato (GUPTA et al., 2003).

Para a atividade da alfa amilase é necessária à presença de Ca^{+2} como cofator. As amilases se diferenciam pela força de ligação com o cálcio, possuem caráter ácido e são solúveis em água. Íons de metais pesados, como o mercúrio, a prata e o chumbo inibem a atividade da enzima (HARGER, 1982).

A temperatura também influencia na inativação da alfa amilase que diminui rapidamente acima de 50°C , mas quando na presença de um excesso de íons cálcio esta desativação é reduzida (HARGER, 1982). Algumas enzimas são termoestáveis

sendo ativas em altas temperaturas, para a gelatinização (100-110 °C) e liquefação (80-90 °C) do amido (PEIXOTO et al., 2003).

A glucoamilase (E.C 3.2.1.3) é enzima hidrolítica e sacarificante, que catalisa a liberação de D-glicose a partir do ataque as extremidades não redutoras do amido as ligações (1→4), o processo de hidrólise ocorre também nas ligações (1→6), mas em menor proporção (GANGADHARAN et al., 2008; WANG et al., 2008).

A principal aplicação das glucoamilase é na indústria de processamento de alimentos, na produção para produção de açúcares solúveis a partir do amido (MACKENZIE et al., 2000). Produz xaropes com alto teor de glicose, em torno de 96 a 98%, apresentam máxima atividade em torno do pH 4,5 mesmo pH do mosto da fermentação alcoólica. Porém apresentam limitações quanto à temperatura de atuação sendo rapidamente inativadas a 60°C, o que limitada seu uso nos processos industriais, onde a atuação prolongada em altas temperaturas é necessária (CEPEDA; HERMOSA, BALLESTEROS, 2001).

A primeira etapa para hidrólise do amido é o aquecimento do material para que ocorra a gelificação o que torna a molécula mais acessível à ação das enzimas (HANSEN et al., 2008). A segunda etapa consiste na reação de liquefação do material, por endoamilases, por exemplo, a enzima alfa-amilase, que atua na quebra das ligações glicosídicas produzindo entre 15 e 30% de açúcares de pequena massa molecular, chamados de dextrinas (KENNEDY et al., 1988). A terceira etapa do processo de hidrólise enzimática é a sacarificação, que é a hidrólise total das moléculas menores provenientes da liquefação em unidades de glicose. Para que estas reações ocorram utiliza-se de exo-amilases, como a glucoamilase, que irá retirar os resíduos de glicose a partir das extremidades da cadeia. O tempo de reação e a concentração de enzimas para a sacarificação do amido são diretamente dependentes do tipo do hidrolisado que se pretende obter (CRABB; MITCHINSON, 1997).

3.9 Extração do caldo e preparo do mosto

Para extração do caldo do sorgo sacarino pode se utilizar a mesma estrutura e processo utilizado para cana-de-açúcar (BORGES et al., 2010). Deve-se fazer o pré-tratamento (desfibrar) do sorgo, para destruir a resistência mecânica da parte dura e a ruptura das células facilitando assim a extração do caldo (RIBEIRO, 2010).

Para tornar o caldo extraído passível de fermentação faz-se necessário o processo de tratamento do caldo semelhante ao empregado com cana, com aquecimento, decantação e filtração. Este processo visa auxiliar na remoção de materiais do caldo, para que esta etapa ocorra com sucesso é necessário à presença de fósforo, garantindo maior formação de flocos de fosfato de cálcio.

Quando o caldo extraído apresenta deficiência de fosfato este pode ser adicionado através da fosfatação. Adota-se como referência que este deve apresentar 0,03% de fosfatos para adequada clarificação (COPERSUCAR, 1978). Caldos com valores elevados de fósforo natural ou com maior dosagem apresentam baixa velocidade de decantação produzindo grandes volumes de lodo (COPERSUCAR, 1978). O caldo após o tratamento é resfriado e se necessário é feita a correção nutricional e adequação de fatores químicos e físicos para obtenção do mosto.

Na área de fermentações industriais, o meio de cultura é chamado de mosto ou meio de fermentação, este deve propiciar o desenvolvimento microbiano e favorecer a formação do produto que se deseja. O mosto deve, no mínimo, conter os nutrientes na célula na proporção correta (LIMA et al., 2001).

Com relação ao mosto, para evitar perdas faz-se a sua correção, ou seja, condicioná-lo com o objetivo de garantir uma qualidade nutricional, uma quantidade ideal de açúcares fermentescíveis; baixa contaminação inicial, pH ideal e nutrientes (VALSECHI, 1960). Assim Pimenta e Oliveira (2010), citam que quando da utilização de caldo de sorgo sacarino direto, sem a adição de melaço ou caldo de cana, faz-se necessário uma correção mais cuidadosa para oferecer a leveduras condições nutricionais que favoreçam sua fisiologia.

Sabe-se que a condição nutricional do sorgo sacarino é variável e depende de inúmeros fatores tanto fisiológicos quanto culturais e ainda é passível de estudo a suplementação ou não de nutrientes ao mosto obtido deste material. Galdino et. al. (2013), utilizando sorgo sacarino para produção de aguardente observaram alto rendimento fermentativo superiores a 80%, mesmo sem adição de nutrientes ao mosto.

3.10 Processo fermentativo

A fermentação é um processo utilizado na fabricação de bebidas alcoólicas, pães, etanol e outros alimentos. É um processo bioquímico, no qual os micro-organismos transformam os carboidratos presentes no substrato em álcool etílico e gás carbônico (YOKOYA, 1991). As leveduras do gênero *Saccharomyces* são amplamente utilizadas para a produção de etanol, pois apresenta elevada eficiência no desdobramento de sacarose, glicose e frutose presentes no mosto, além de serem anaeróbicas facultativas, o que garante a vantagem de se adaptar tanto a condições de presença quanto de ausência de oxigênio (PIMENTA; OLIVEIRA, 2010; STECKELBERG, 2001).

Estes micro-organismos necessitam dos mesmos elementos químicos que as outras formas de vida, além dos C, H, e O, o mosto deve igualmente fornecer fontes de N, P, S, K, Mg, Ca, Zn, Mn, Co, I e outros elementos em quantidades menores (SCHIMIDELL et al., 2001). Sendo assim a qualidade da matéria-prima vai refletir diretamente no processo fermentativo. Espera-se que o mosto de sorgo sacarino assim como o de cana forneça todos os nutrientes necessários ao desenvolvimento das atividades metabólicas das leveduras, favorecendo a produção do etanol.

São micro-organismos extremamente adaptados as condições adversas do meio, por apresentarem diferentes rotas metabólicas. São capazes de suportar, variações de pH e temperatura, teores elevados de solutos e presença de subprodutos no meio (KUNDIYANA, 2006). Dentre os subprodutos secundários formados que merecem destaque cita-se o glicerol, ácido succínico, alcoóis amílico e isoamílico, a quantidade destes compostos é variável e refletem a qualidade do processo fermentativo (MUTTON, 2008).

As leveduras são mesófilas, apresentam máxima atividade fisiológica em temperaturas iguais ou superiores a 35°C. Porém esta temperatura também favorece a multiplicação de bactérias, reduz a viabilidade do fermento e aumenta a acidez. Assim, Menezes (1980) recomenda temperatura entre 25 e 36°C, para processos fermentativos para produção de etanol, temperaturas inferiores retardam a fermentação e temperaturas superiores acarretam perdas do produto.

Estes micro-organismos crescem melhor em pH entre 4,5 e 5,0. Fermentações conduzidas em meios mais ácidos resultam em maiores rendimentos em etanol, pelo fato de restringir o crescimento do fermento, aumento da produção

de etanol com a conseqüente redução da produção de glicerol, ao mesmo tempo em que reduz a contaminação bacteriana (MENEZES, 1980).

Vários fatores afetam a atividade das leveduras dentre eles: fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana), reduzindo o rendimento da fermentação e a eficiência da conversão de açúcar em etanol (LIMA et al., 2001).

Fermentações de mosto de sorgo sacarino por algumas linhagens de *Saccharomyces* têm sido realizadas, os resultados demonstraram a eficiência desses micro-organismos na conversão de açúcares a etanol, apenas para utilização de colmos (BRYAN, 1990; WU et. al., 2007; NUANPENG et. al., 2011). Com a utilização de colmos integrais pouco se sabe do comportamento destes micro-organismos no processo fermentativo.

Ainda há vários gargalos que envolvem a utilização de sorgo sacarino como matéria-prima para produção de etanol. Dentre eles, avaliação de micro-organismo fermentadores, e/ou emprego simultâneo de mais de uma linhagem que melhor se adaptem as características tecnológicas do caldo de sorgo sacarino, ou ao consórcio caldo de cana + caldo de sorgo. Conhecimento das distintas fases de produção tais como: características inerentes a implantação da cultura (época de plantio, tratamentos culturais e controle fitossanitário). Determinação das características nutricionais e tecnológicas das novas variedades disponíveis no mercado que possam interferir diretamente no processo fermentativo. Outro subproduto que também ainda é passível de estudos quanto à quantidade e composição e potencial utilização agrônômica é a vinhaça gerada a partir deste material. A resposta a estes questionamentos facilitará a utilização do sorgo sacarino em usinas de etanol no país.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Condições Experimentais

O experimento foi instalado na área do Departamento de Produção Vegetal-UNESP de Jaboticabal-SP no ano de 2013 e conduzido nos Laboratórios de Tecnologia do Açúcar e do Alcool e Microbiologia das Fermentações do Departamento de Tecnologia. O município de Jaboticabal - SP situa-se a nordeste do Estado de São Paulo, inserido no Planalto Ocidental Paulista (21° 17' a 21° 18' de latitude sul e 48° 08' a 48° 10' de longitude oeste), com altitude média de 583 metros. O relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com altitude média de 600 m. Segundo a classificação climática de Köppen, apresenta clima subtropical com inverno seco (Cwa), com precipitação média anual de aproximadamente 1.600 mm, com distribuição concentrada no período de outubro a março e relativa seca no período de abril a setembro (MONTANARI et al., 2012).

O espaçamento utilizado para a semeadura foi de 45 cm entre linhas. Após a previa análise de solo foi feita a adubação de plantio de 36-126-72 kg.ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, empregando-se a fórmula 8-28-16, com intuito de obter alta produtividade. O plantio foi realizado em 03 de Janeiro de 2013, com distribuição manual no sulco de plantio, de 15 sementes por metro, cobertas com camada de solo de 2 a 3 cm. Aos 15 dias após semeadura (d.a.s.), realizou-se o desbaste, mantendo-se 6 plantas por metro, para obter-se o estande final de 120.000 plantas.ha⁻¹.

Durante o período experimental foi feito o tratamento fitossanitário, para garantir a manutenção da sanidade da cultura. Para controle da lagarta do cartucho aos 22 d.a.s. aplicou-se 250 mL.ha⁻¹ de Tiametoxam + Lambda cialotrina. Realizou-se também a capina manual mantendo-se a cultura livre de plantas infestantes, ao longo de todo o ciclo.

4.2 Safra 2012/2013 - Condições meteorológicas

O plantio do sorgo sacarino foi realizado no dia 03 de janeiro do ano de 2013, este mês foi caracterizado por apresentar precipitação de chuvas (384,0 mm) superior à média prevista para este período (Anexo 03). As temperaturas médias

elevadas neste período (Anexo 02) favoreceram o desenvolvimento inicial da cultura. Landau; Sans, (2008a), citam que a temperatura do ar, a radiação solar, a precipitação e a disponibilidade de água no solo, são os fatores climáticos que mais influenciam a cultura do sorgo, sendo que a temperatura ótima é diferente para cada cultivar. Informações disponíveis na literatura consideram que temperaturas superiores a 38°C ou inferiores a 16°C limitam o desenvolvimento da maioria das cultivares.

Os meses de fevereiro e março apresentaram precipitação média de 143 mm, já os meses de abril e maio com precipitação de 66 mm e 93 mm respectivamente (Anexo 03). Especialmente as duas primeiras semanas de abril, período que ocorreu a 1ª colheita com 102 d.a.s e as últimas do mês de maio (Anexo 01 e 03).

4.3 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com parcelas sub-subdividas, em quatro repetições, sendo estudados os seguintes tratamentos: Primário – genótipos de sorgo sacarino (CV147, CV198 e BRS508); Secundário - sistema de colheita (plantas integrais e colmos limpos); Terciário - épocas de colheita (102 e 116d.a.s). Para a etapa de clarificação do caldo extraído e preparo do mosto, utilizou-se também o tratamento quartenário (com e sem aplicação de enzimas). Os quatro tratamentos foram usados para obtenção do vinho, cálculos do rendimento e eficiência fermentativa dos tratamentos.

Cada parcela no campo foi constituída por 12 linhas de 11 metros cada, com 59,4 m² de área total, sendo consideradas para área útil, as 8 linhas centrais, com 9 metros de comprimento, totalizando 32,4 m².

4.4 Colheita e Extração do Caldo

Nas épocas de amostragens foram realizados 2 sistemas de colheita: a) 15 plantas integrais (colmos com panículas e folhas); e b) 15 colmos limpos (sem panícula e folhas). O caldo foi extraído segundo método da prensa hidráulica Tanimoto (1964), sendo determinadas as características químico-tecnológicas a seguir: Brix, pH, açúcares redutores (AR), açúcares redutores totais (ART), acidez

total e fosfatos totais (CTC, 2005); compostos fenólicos (Foline Ciocalteau, 1927); teor de amido (Chavan et al., 1991) e fibra (CONSECANA, 2006).

4.5 Preparo do Mosto

O caldo extraído foi submetido à clarificação através de processo de caleagem simples, com correção do pH para valores próximos a 7,0 utilizando-se leite de cal (CaCO_3). O valor de pH foi previamente definido através de ensaios preliminares com objetivo de obter máxima atividade enzimática. A seguir foi aquecido até a fervura e transferido para provetas de 1000 mL contendo 2 mg.L^{-1} de polieletrólito Flomex® para acelerar a sedimentação das impurezas. Posteriormente o caldo foi resfriado e mantido a 90°C para aplicação da enzima alfa-amilase termoestável Termamyl 2x® (Novozyme® 50188) na dosagem de $0,020 \text{ L.Mg}^{-1}$ de sorgo processado (os valores para dosagem de enzima alfa amilase, foram definidos através da realização de ensaios preliminares, quando se avaliou as concentrações de enzima a seres utilizadas em função dos teores de amido presentes no caldo extraído). Permanecendo em clarificador por 60 minutos para hidrólise do amido. Sendo a seguir sifonado, para separação do caldo das impurezas sedimentadas, resultando no caldo clarificado.

Para obtenção dos mostos foi realizada a padronização do Brix (15,5 a 16). Os caldos foram diluídos quando necessário com a adição de água livre de impurezas minerais e ausente de contaminação, o pH foi corrigido com ácido sulfúrico ($4,5 \pm 0,3$), e a temperatura de 32°C .

4.6 Preparo do Fermento

Foi utilizadas no experimento a linhagem de leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2), esta estirpe se caracteriza por apresentar alta resistência aos choques de pH e longas paradas na fermentação e ao processo de reciclo, baixa formação de espuma, alta capacidade de implantação e predominância com elevado rendimento fermentativo (LNF, 2013).

A etapa de multiplicação, adaptação e ativação das células, ocorreu a partir de 30g do fermento seco. Procedeu-se à hidratação prévia do mesmo com 100mL de solução de glicose a 0,5%, mantido sobre agitação constante por 30 min.

Realizou-se posteriormente à primeira alimentação com 3,0L de caldo de cana estéril a 6°Brix, quando da redução do Brix do mosto para 2°Brix, adicionou novamente mais 3,0L de caldo. Este processo era repetido até a obtenção da massa de células necessária para compor o inóculo. Quando da obtenção do volume de células necessário foi feita adaptação do fermento em mosto de sorgo sacarino. Em todas as etapas o fermento foi recuperado por centrifugação.

4.7 Condução do Processo Fermentativo

Alíquotas de 250 mL do mosto foram submetidas ao tratamento enzimático com aplicação de amiloglucosidase (Novozym® 50189) na dosagem de 0,040L.Mg⁻¹ de sorgo processado para sacarificação do amido (os valores para dosagem de enzima amiloglucosidase, foram definidos através da realização de ensaios preliminares, quando se avaliou as concentrações de enzima a seres utilizadas em função dos teores de amido presentes no caldo extraído). A levedura selecionada *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2) foi inoculada no mosto na concentração de 10⁶ Unidades Formadoras de Colônia por mL (UFC.mL⁻¹). Os frascos inoculados foram mantidos a 32°±1°C durante o processo fermentativo. A condução do processo fermentativo foi realizada em batelada com recuperação do fermento por centrifugação. O processo fermentativo foi monitorado pela redução do Brix, com auxílio de densímetro, a cada 4 horas. No início (1 hora após inoculação do fermento) e ao final do processo fermentativo, quando o Brix apresentava valores inferiores a 2°Brix em intervalos de 30 minutos, ou quando os valores permaneciam estáveis durante 1 hora, considerava-se concluída a fermentação. Retiravam-se alíquotas do fermentado para realização das análises microbiológicas.

Ao término de cada fermentação (8 a 10 horas), os vinhos foram centrifugados a 1650G, 25°C, por 5 minutos (centrífuga HIMAC CR 21G) para separação do fermento e do vinho. Dos vinhos centrifugados determinavam-se o Brix, pH, acidez total (CTC, 2005), ARRT por DNS segundo Miller (1959), Glicerol (COOPERSUCAR, 2001) e teor alcoólico por densímetro Digital (Antoom-Paar DMA-500).

4.8 Avaliação microbiológica das leveduras

Após 50 minutos de inoculação do fermento (Início) e ao final dos processos fermentativos foram realizadas contagens de células de leveduras em Câmara de Neubauer. Avaliaram-se os seguintes parâmetros microbiológicos: viabilidade celular das leveduras e viabilidade de brotos (LEE et al., 1981).

4.9 Produção de etanol, Rendimentos e Eficiência Fermentativa

O Rendimento Teórico foi calculado, considerando-se que 1g de ART produz 0,6480mL de etanol (reação estequiométrica). O Rendimento Prático (considerando-se o teor alcoólico do vinho), a Eficiência Fermentativa e a Produção de Etanol ($L.Mg^{-1}$) foram determinadas segundo Fernandes (2000).

4.10 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey (5%), utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009). Para análise de litros de etanol por tonelada de sorgo processado utilizou-se dados médios.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra 2012/2013 de sorgo sacarino não ocorreu infestação das principais doenças que afetam a produtividade e qualidade do caldo de sorgo sacarino no Brasil. Este fato pode ser atribuído pelo fato de que os três genótipos serem classificados como moderadamente e altamente resistente a antracnose, ferrugem e Helminthosporiose ou mancha-marrom (EMBRAPA, 2012a).

Quanto ao Ergot, à cultura não apresentou a manifestação da doença. Observa-se nos Anexos 01 e 03, que as condições meteorológicas não foram favoráveis ao desenvolvimento da doença, durante o florescimento (mês de abril). Este período apresentou baixas precipitações pluviométricas.

5.1 Qualidade da Matéria-Prima

Os valores médios obtidos para Brix, ART, AR, pH, acidez total, fibra, fenol e amido) para os tratamentos estudados, estão apresentados na Tabela 01. Avaliando-se os sistemas de colheita, verificou-se que a planta integral, não alterou significativamente os valores de Brix, AR, ART, Fenol e Amido(Tab. 01). Estes resultados indicam que colher a planta inteira não resulta em prejuízos para a qualidade tecnológica do caldo, favorecendo o processo da colheita integral. Deve-se considerar ainda que o acréscimo de biomassa favorecesse a cogeração ou uso na alimentação animal (TABOSA et al., 2010). De acordo com May et al. (2013), o bagaço de sorgo sacarino possui poder calorífico que equivale ao bagaço de cana sendo eficiente para queima na caldeira para produção de energia.

Os resultados obtidos para fibra indicam que não houve diferença entre genótipos. Entretanto, o sistema e época de colheita (Tab. 01), apresentaram diferenças significativas.

Tabela 01. Caracterização físico-química do caldo para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

	Brix	ART (%)	AR (%)	pH	Acidez total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Fibra PCTS	Compostos fenólicos totais (mg.L ⁻¹)	Amido (mg.L ⁻¹)
Genótipos (A)								
CV147	15,7B	11,4A	3,20A	4,8A	1,61B	13,79A	801A	453A
CV198	15,8B	12,0A	2,59A	4,8A	1,60B	14,54A	616A	474A
BRS508	16,9A	12,0A	2,43A	4,8A	1,84A	14,39A	792A	545A
Teste F (A)	16,83**	3,86ns	4,81ns	1,00ns	13,46**	3,08ns	0,43ns	0,89ns
DMS	0,92	0,76	0,80A	0,15	0,15	0,98	684,62	623,37
CV (%)	5,33	5,97	27,02	2,91	8,55	6,39	85,64	25,47
Tratamento (B)								
Colmos limpos	16,1A	12,0A	2,76A	4,7B	1,67A	12,70B	796A	494A
Colmos integrais	15,8A	11,7A	2,72A	4,9A	1,70A	15,78A	677A	487A
Teste F (B)	1,17ns	0,88ns	0,01ns	11,89**	0,20ns	210,33**	1,13ns	0,95ns
DMS	0,64A	0,61A	0,64A	0,14	0,13	0,48	253,19	246,00
CV	6,14	7,95	35,83	4,43	12,21	5,18	52,61	15,74
Épocas (C)								
102 d.a.s.	15,3B	11,4B	3,43A	4,8A	1,60B	13,41B	412B	429A
116 d.a.s.	16,7A	12,3A	2,05B	4,8A	1,77A	15,07A	1061A	553A
Teste F (C)	29,23**	8,91**	31,92**	0,06ns	6,42*	63,40*	24,29**	0,40ns
DMS	0,54	0,65	0,51	0,11	0,14	0,43	276,60	307,46
CV	5,63	9,13	30,73	3,78	13,87	5,05	61,92	27,42
Teste F Blocos	2,47ns	8,40*	0,49ns	5,92*	17,63**	1,36ns	1,42ns	0,52ns
Inter. AxB	0,32ns	3,17ns	1,36ns	3,56ns	4,65*	5,38*	0,56ns	0,28ns
Inter. AxC	0,29ns	0,58 ns	3,44ns	1,77ns	4,50*	0,57ns	2,83ns	0,32ns
Inter. BxC	2,35ns	0,44ns	0,02ns	2,62ns	6,57*	8,07*	8,46**	0,49ns
Inter. AxBxC	0,39ns	1,64ns	1,23ns	2,13ns	2,41ns	0,49ns	3,07ns	0,54ns

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

O processamento dos colmos integrais resultou em aumento significativo dos teores de fibra, justificado pela presença das folhas e panícula (Fig.04). Outro fator que pode justificar este aumento é a presença dos grãos de sorgo, que apresentam características fibrosas (GUIYING et al., 2000). Os teores de fibra do sorgo sacarino podem sofrer variação de acordo com as condições climáticas e agrônômicas. Genótipos com teores elevados de fibra requerem ajustes na moenda e no sistema de embebição para se evitar problemas de embuchamento e se mantenha a eficiência de extração e a umidade do bagaço (EMBRAPA, 2012).

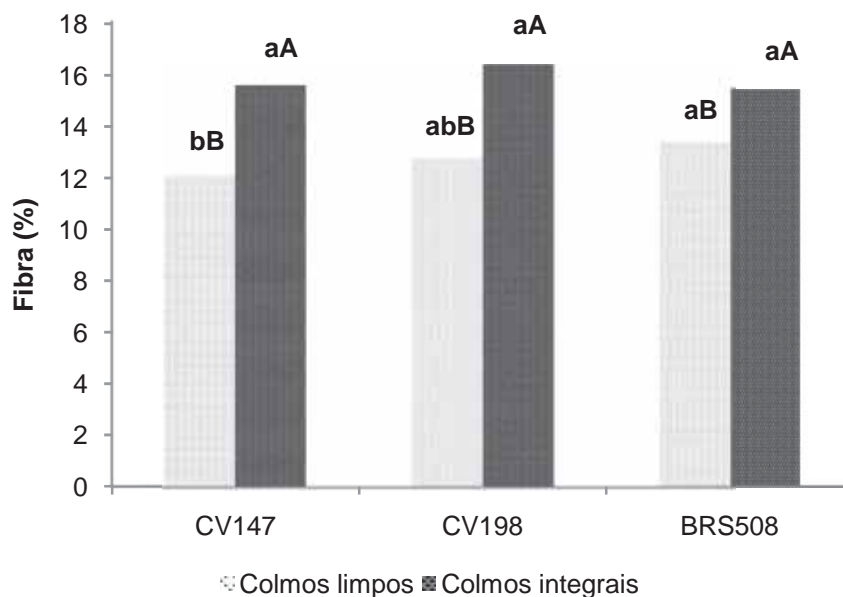


Figura 04. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita (colmos integrais e colmos limpos) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para fibra, em sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013. Letras maiúsculas comparam médias entre genótipos. Letras minúsculas comparam médias entre o sistema de colheita.

Os valores obtidos para fibra, mesmo para colmos com panícula, são inferiores aos relatados por Uribe e Ticianeli (2014), que relataram teores próximos a 17%. Neste contexto, observou-se ainda interação entre a época de colheita e o teor de fibra, que foram superiores no 116 d.a.s. (Fig.05). Este fato pode ser associado à perda de água (massa) do colmo além do incremento de grãos na panícula.

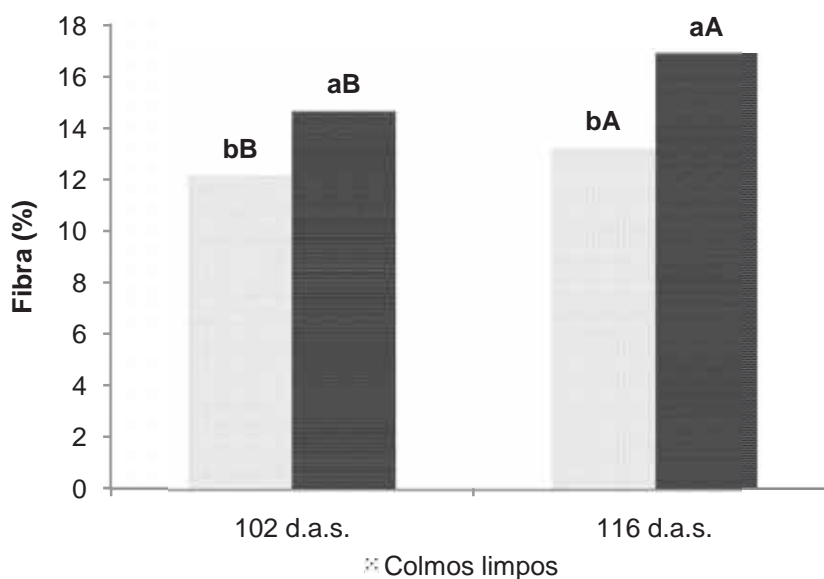


Figura 05. Desdobramento da interação entre épocas (102 e 116 d.a.s.) e sistema de colheita (colmos limpos e integrais), para fibra, em sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013. Letras maiúsculas comparam médias épocas de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre sistemas de colheita.

Quando se avalia o efeito da época de colheita sobre o Brix, observa-se que ocorreu incremento deste parâmetro com a colheita de colmos realizada aos 116 d.a.s. (Tab. 01). O genótipo BRS508 apresentou valores de Brix bem inferiores ao relatado por Embrapa (2012). Os valores médios para este parâmetro foram constantes, com exceção do genótipo CV147 com panícula (Fig. 06). Valores semelhantes foram obtidos por Freita (2013) avaliando os genótipos CVSW80007 e CVWS80147. Rutto et al.; (2013) que avaliando genótipos de sorgo sacarino descreveram valores entre 13,9 e 18,7 Brix.

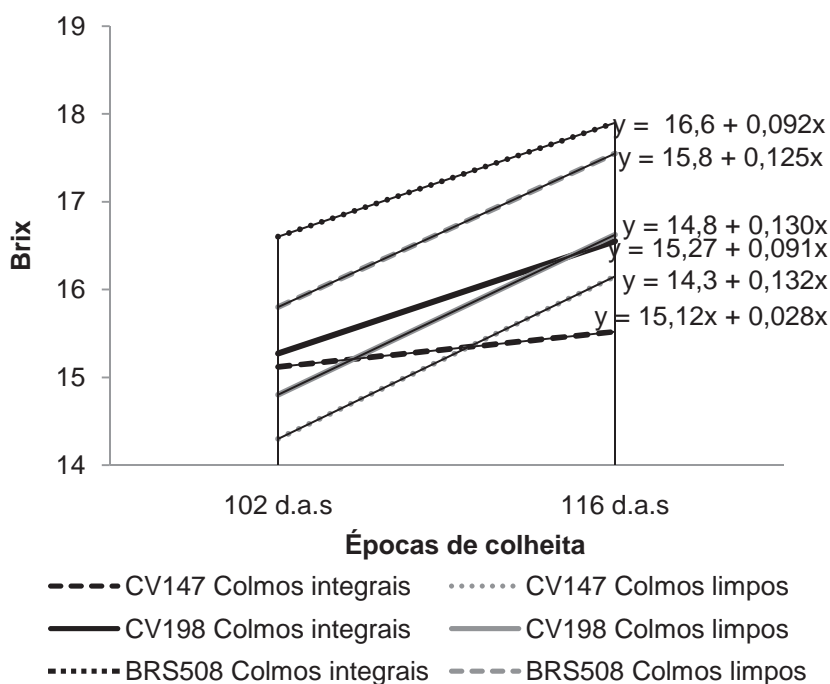


Figura 06. Efeito da época de colheita sobre o Brix, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.

Considerando-se os teores de AR e ART não se verificou interação entre os genótipos e tipo de colheita. Contudo, tais parâmetros foram diretamente influenciados pela época de amostragem. Aos 102 d.a.s., os genótipos colhidos com ou sem panícula, apresentaram elevada concentração de AR e baixos teores de ART. Após 14 dias de cultivo no campo, verificou-se redução dos teores de AR e consequente incremento dos teores de ART (Tab 01). Teixeira (1999) observou que o rendimento em massa verde e o teor de açúcares (ART) nos colmos foram maiores quando as plantas atingiram sua maturidade fisiológica, cerca de 120 dias após o plantio. Neste estudo comportamento similar foi observaram aos 116 d.a.s, utilizando-se os valores médios para este parâmetro observa-se que quando a

planta apresentou maior idade, houve incremento de ART e menores foram os teores de AR (Fig. 07 e 08). Este comportamento pode ser explicado como sendo resultante do processo fisiológico da planta, que converte os monossacarídeos em sacarose, conforme estágio de maturação (Taiz e Zeiger, 2004).

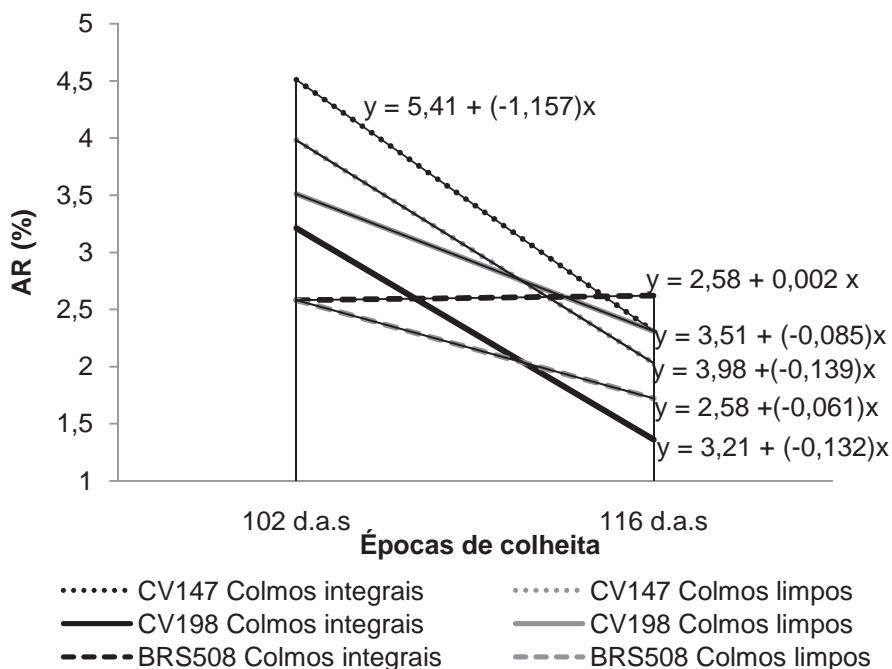


Figura 07. Efeito da época de colheita sobre os valores de AR, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

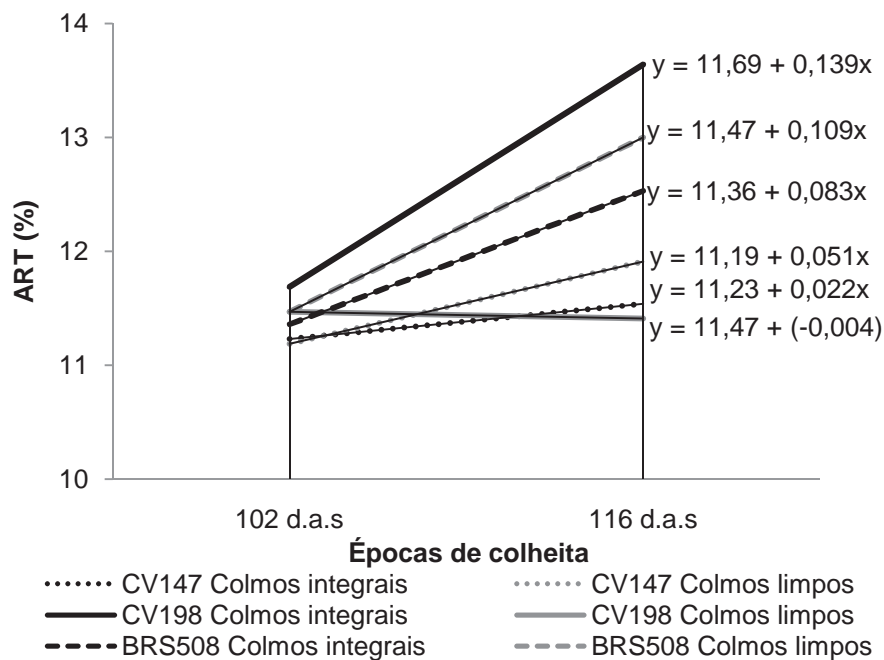


Figura 08. Efeito da época de colheita sobre os valores de ART, do caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

Para o pH, importante parâmetro para caracterizar o grau de maturação do colmo, e conseqüente, qualidade do caldo extraído, não se observou diferença significativa para os genótipos estudados. O sistema de manejo influenciou diretamente sobre este parâmetro, sendo que os maiores valores foram obtidos com colmos com panícula (Tab. 01).

Outra característica importante é que o sorgo sacarino apresenta elevadas concentrações de ácido aconítico cerca de (~0,25% no caldo misto) o que em cana de açúcar se apresenta com teores desprezíveis (EMBRAPA, 2011). RIBEIRO FILHO et al., (2008) caracterizando caldo de sorgo sacarino, obteve valores de pH de 5,46 processando colmos com folhas e para colmo limpo 5,31, valores superiores aos obtidos neste trabalho. Não se observou interação entre genótipos e época de colheita. Os valores médios para este parâmetro sinalizam tendência de redução ao longo dos dias. Valores semelhantes foram obtidos por Giacomini et al., (2013). Somente para o CV147 colhido com panícula observou-se aumento deste parâmetro (Fig. 09).

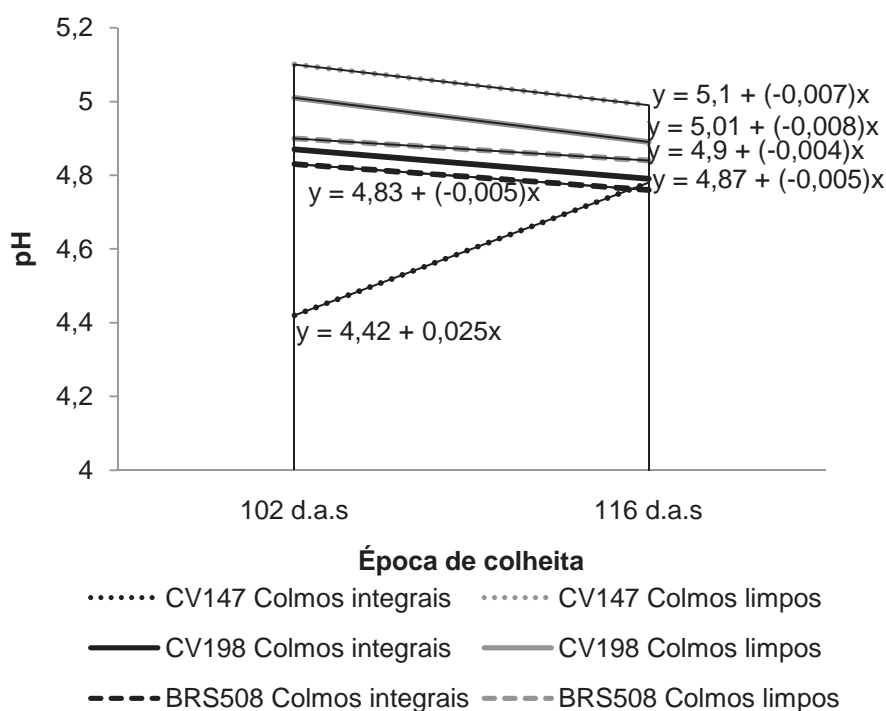


Figura 09. Efeito das épocas de colheita sobre os valores médios de pH, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

Na análise dos teores de ácidos totais presente nos colmos de sorgo sacarino foi observado que estes estão diretamente relacionados ao genótipo processado

(Tab. 01). Neste estudo o BRS508 apresentou 0,24 g.L⁻¹ a mais de ácidos em relação aos demais tratamentos. Freita et al., (2014) avaliando estas biomoléculas em 3 diferentes genótipos de sorgo sacarino, determinou teores entre 1,54 e 1,76 g.L⁻¹, valores estes similares aos obtidos nesta pesquisa.

Considerando-se o processamento de colmos integrais e limpos, observou-se que a adição de folhas e panículas não resultou em acréscimo destes ácidos totais no caldo extraído (Fig.10). Resultados similares foram determinados por Freita et al., (2014), que não obtiveram diferenças nos teores de ácidos de colmos processados com ou sem panícula.

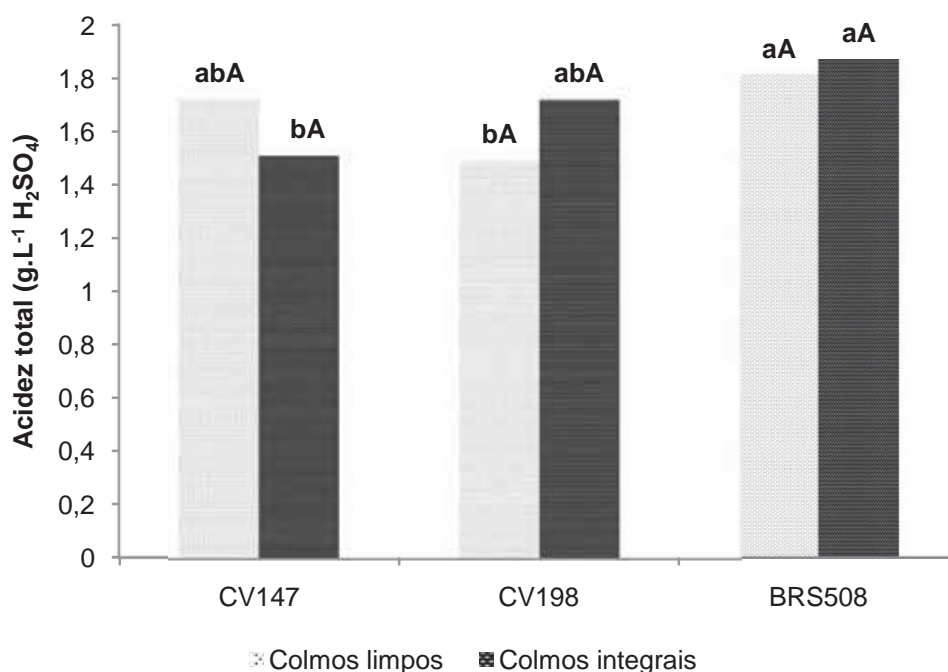


Figura 10. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita (colmos integrais e limpos) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para acidez total, em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013. Letras maiúsculas comparam médias entre genótipos. Letras minúsculas comparam médias entre sistemas de colheita.

Neste contexto, deve destacar ainda que o maior tempo de cultivo do sorgo promoveu aumento de ácidos no caldo (Fig.11). Provavelmente, a planta sintetizou tais moléculas devido a fatores ambientais, que levam a condição de estresse. Há também uma correlação positiva com conteúdo de ácido no sorgo e a temperatura média diária, e negativa com a precipitação pluviométrica (DEMARCHI; BOIN; BRAUN, 1995). Mendez (1993) relata aumento de glicosídeos cianogênicos quando a planta está na fase de crescimento, especialmente quando rebrota rapidamente

após ter o crescimento prejudicado. Condição semelhante se observa durante períodos de seca ou depois de geadas.

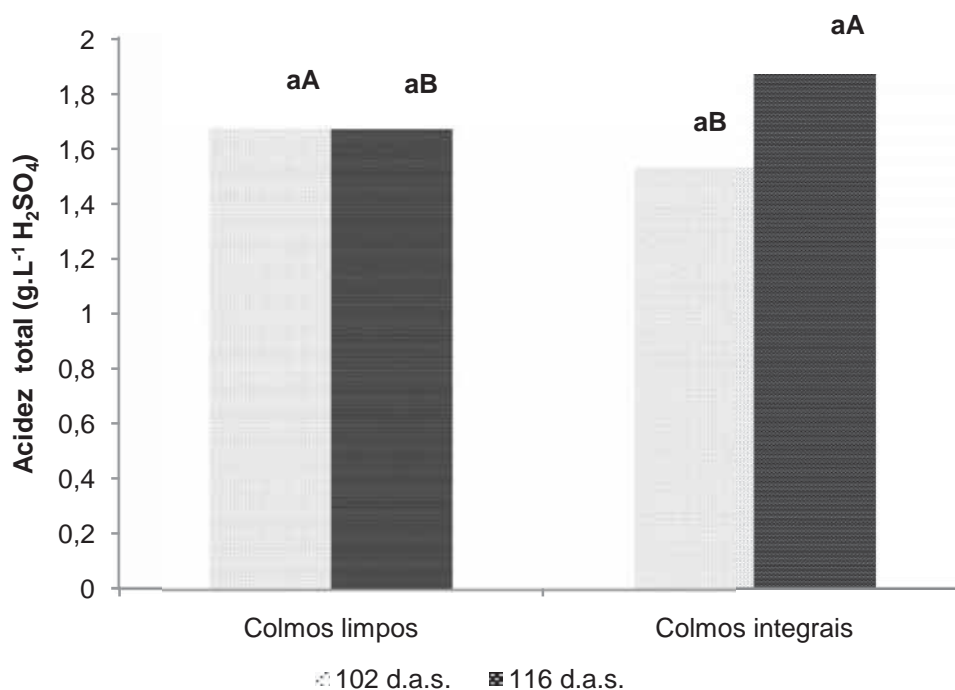


Figura 11. Desdobramento da interação entre sistemas (colmos integrais e colmos limpos) e épocas de colheita (102 e 116 d.a.s.) para acidez total em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013. Letras maiúsculas comparam médias entre sistemas de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre épocas de colheita.

Avaliando-se a interação entre os teores de fenóis observou-se que não houve diferença entre os genótipos e sistemas de colheita (Tab. 01). A determinação dos compostos fenólicos é de grande importância uma vez que são resultantes do metabolismo secundário das plantas. Dentre eles destacam-se os taninos, cujos teores variam com o genótipo (QUEIROZ et al., 2012. Dicko et al. (2006) citam que o conteúdo de compostos fenólicos, em sorgo esta intimamente ligado a genética e as condições ambientais em que são cultivados.

As concentrações de compostos fenólicos totais presentes no caldo foram influenciadas pela época de colheita, sendo maiores aos 116 d.a.s (Tab. 01). Demarchi; Boin e Braun (1995) verificaram que a concentração de fenol sofre influência do estágio de desenvolvimento e das condições climáticas. Monômeros de tanino são continuamente sintetizados nos frutos e folhas e são polimerizados em órgãos mais velhos. Os taninos e seus monômeros, substâncias adstringentes presentes nos vegetais, são atribuídas à indisponibilidade da fração protéica por

insolubilização, depressão de consumo voluntário e inibição do crescimento bacteriano quando da sua utilização para produção de silagem.

Situação semelhante foi relatada por Ravaneli et al., (2011), durante o processo fermentativo para produção de etanol utilizando caldo de cana, matérias-primas com teores de fenóis superiores a 500 mg.L^{-1} , reduziram a viabilidade das leveduras, diminuindo significativamente o teor de etanol produzido.

Observou-se interação entre os genótipos e épocas de colheita. O CV147 foi o genótipo que apresentou concentrações mais elevadas deste composto (Fig.12). Neste sentido a segunda época de colheita apresentou-se desfavorável ao processamento industrial.

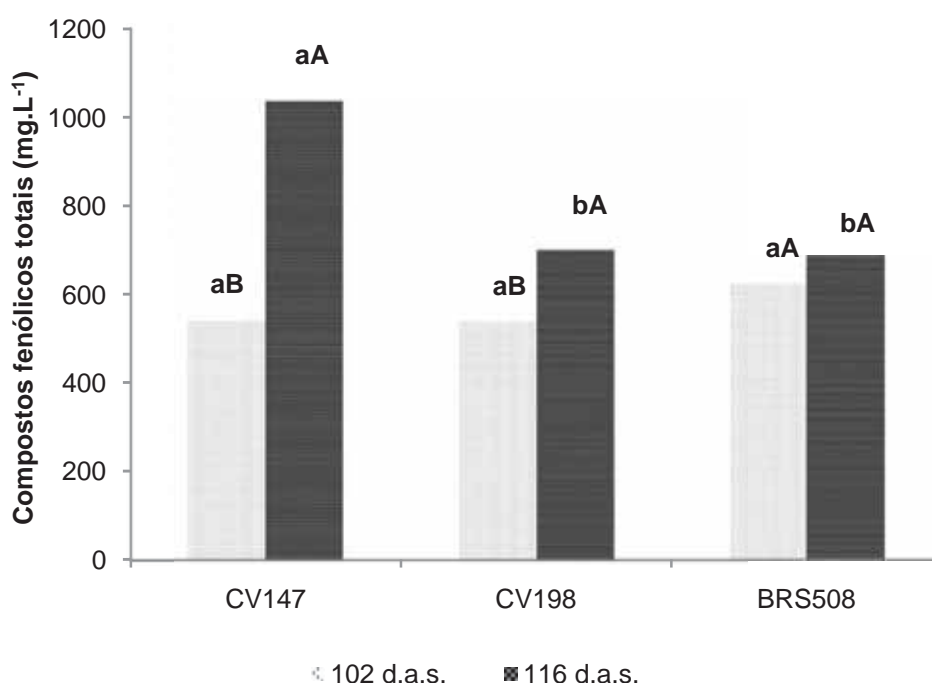


Figura 12. Desdobramento da interação entre épocas de colheita (102 e 116 d.a.s.) e genótipos (CV147, CV198 e BRS508), para compostos fenólicos, em caldo de sorgo sacarino. Jaboticabal-SP/2013. Letras maiúsculas comparam médias entre genótipos. Letras minúsculas comparam médias entre épocas de colheita.

Observou-se na (Fig.13), tendência de incremento nos teores de fenol da primeira para segunda época de colheita. Este comportamento da cultura pode ser resultante do metabolismo fisiológico da planta em resposta às condições ambientais. Durante a primeira época de colheita, aos 102 d.a.s (média de 16 mm), a precipitação de chuva foi maior do que na segunda época aos 116 d.a.s (média de 4mm) (Anexo 01). Observa-se que os meses de abril e maio foram os que

apresentaram os menores índices de precipitação com temperaturas baixas (entre 22 e 25°C) (Anexo 01 e 02).

Outro fator estressante para a cultura foiaos102 d.a.s com o início do tombamento gradativo ao longo do período experimental, para os três genótipos. Esta ocorrência pode ter contribuído para o incremento nos teores de fenol. Sob condições de estresse a cultura em plena atividade metabólica pode ter destinado parte dos fotossintatos para a produção destas biomoléculas de defesa (DEMARCHI; BOIN; BRAUN (1995).

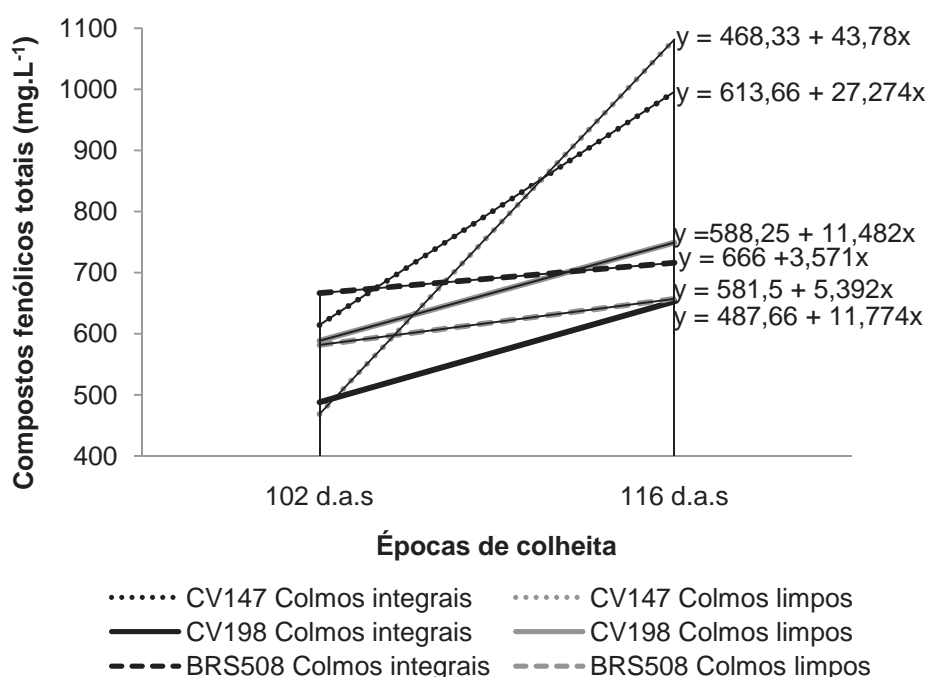


Figura 13. Épocas de colheita e processamento dos colmos sobre o parâmetro compostos fenólicos, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

Analisando-se os teores de amido observa-se que foram similares para os três genótipos, não havendo diferenças significativas para sistemas de manejo dos colmos e épocas de colheita (Tab. 01). Resultados semelhantes (500 mg.L⁻¹) foram relatados por Nascimento (2012). Utilizando-se os dados médios para os teores de amido, ainda que não constatado na análise estatística, observa-se uma tendência de aumento ao longo das épocas de colheita (Fig.14). De acordo com Guiying et al.; (2000), os níveis de amido na planta são influenciados pelo estágio de desenvolvimento e características do genótipo estudado, sendo que quanto maior o nível de maturação maior a quantidade de amido armazenado no grão.

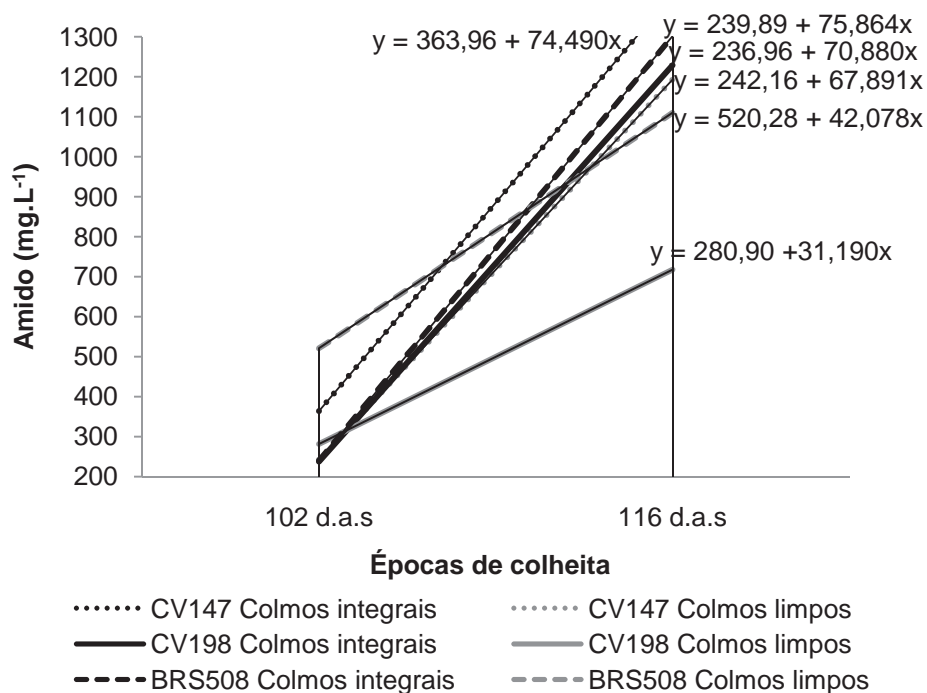


Figura 14. Teores de amido ao longo das épocas de colheita, em caldo de sorgo sacarino para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula, aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.

Tais resultados evidenciam que a panícula apesar de conter teores consideráveis de amido, não contribuiu para o aumento deste no mosto, pela dificuldade de extração através do sistema empregado para extração do caldo dos colmos atualmente empregados nas usinas. Neste trabalho a utilização de prensa hidráulica mesmo com preparo prévio dos colmos em picadores e desfibradores não possibilitou o rompimento total dos grãos de modo significativo que permitisse a disponibilização do amido. O amido do sorgo é formado e armazenado em cápsulas de matrizes protéicas, assim para disponibilização seria necessário à utilização de um sistema que permitisse a trituração do grão e o rompimento da cutícula que o envolve (ICRISAT, 2009).

Os grãos de sorgo têm composição química muito semelhante ao do milho. Entretanto, de acordo com Swatson et al., (1994) a composição química é muito variável, por este fator algumas variedades apresentam maior resistência à trituração. Esta diversificação de composição também pode ser resultante das condições ambientais em que foi produzido. Os genótipos de sorgo atualmente apresentam teores de proteínas superiores ao do milho, assim para disponibilizar o amido do grão, uma alternativa é a exposição prévia destes ao vapor. Este processo

possibilita o rompimento da matriz protéica que envolve os grânulos, tornando-os mais suscetível ao ataque da enzima alfa-amilase (SERNA-SALDIVAR et al., 2009).

5.2 Caracterização do caldo clarificado de sorgo sacarino submetido a tratamento com alfa amilase

O caldo foi submetido ao processo de clarificação e posterior adição de alfa amilase com o objetivo de reduzir a viscosidade do material e avaliar se há incremento de açúcares ao mosto. Observa-se que o processo de clarificação contribuiu de maneira positiva para melhorar a qualidade do mosto com neutralização de ácidos orgânicos e conseqüente redução da acidez e do pH, além da redução nos teores de fenol (Tab. 03 e 04). Neste sentido deve-se ressaltar que uma das etapas mais importantes no processo industrial de produção de etanol a partir de sorgo sacarino é o tratamento de caldo, que possibilita a eliminação do máximo de impurezas que vieram com a matéria-prima.

Segundo Embrapa (2012b), o sorgo sacarino apresenta baixos teores de fósforo e nitrogênio, assim seria necessário um aumento na dosagem de PO_4^{4-} durante a etapa de tratamento do caldo. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que os três genótipos apresentaram teores de fósforo dentro dos limites estabelecidos por COPERSUCAR (1978) de P_2O_5 entre 250 e 300 $mg.L^{-1}$ (Qua. 06). Quando o caldo extraído apresenta deficiência de fosfato este pode ser adicionado através da fosfatação. Adota-se como referência que este deve apresentar 0,03% de fosfatos para adequada clarificação (COPERSUCAR, 1978).

Quadro 06. Valores médios de fósforo para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula. Jaboticabal-SP/2013.

Genótipos	Teores médios de fósforo ($mg.L^{-1}$) Colmos integrais	Teores médios de fósforo ($mg.L^{-1}$) Colmos limpos	Incremento de fósforo	
			($mg.L^{-1}$)	(%)
CV147	366	664	328	89,62
CV198	234	437	203	86,75
BRS508	392	465	73	18,62

Outro fator importante é que o processamento de colmos com panícula resultou em aumento dos teores de fósforo em mais de 80% para os genótipos

CV147 e CV198 (Qua. 06). O fósforo presente no caldo além de contribuir para o processo de clarificação do caldo contribui também para o processo de fermentação alcoólica. Para obtenção de uma boa fermentação o mosto deve apresentar entre 50 a 100 mg.L⁻¹ de concentração deste nutriente, pois participa dos processos de transferência de energia na célula de levedura, sendo um elemento indispensável para absorção de açúcares e sua posterior conversão em etanol (AMORIM, 1982).

Observou-se que a aplicação de alfa amilase resultou em acréscimo de Brix para os genótipos CV147 e CV198, para o BRS508, não se observou influência do tratamento enzimático (Tab. 02).

Tabela 02. Efeito do processo de clarificação nos teores de Brix e ATR, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

	Brix			ART (%)		
	CV147	CV198	BRS508	CV147	CV198	BRS508
Colheita (A)	0,01ns	0,55ns	1,37ns	0,02ns	1,67ns	0,06ns
Comos limpos	15,5A	16,3A	17,0A	11,32A	12,08A	11,96A
Colmos integrais	15,5A	16,2A	16,7A	11,28A	11,47A	12,01A
DMS	1,94A	0,62A	1,14A	0,64A	1,49A	0,54A
CV	13,64	4,17	7,34	6,17	13,85	4,92
Tratamento (B)	11,79**	5,71*	0,72ns	0,92ns	2,09ns	0,55ns
Caldo Original	15,2B	15,8B	16,9A	11,47A	12,05A	12,09A
Sem alfa amilase	15,3B	16,1AB	16,8A	11,17A	11,42A	11,81A
Com alfa amilase	15,9A	16,9A	17,0A	11,26A	11,84A	12,07A
DMS	0,39	0,90	0,65	0,59	0,83	0,79
CV	2,68	5,91	4,11	5,59	7,52	7,08
Épocas (C)	9,34**	16,66**	28,94**	0,25ns	1,18ns	4,55*
102 d.a.s.	15,0B	15,5B	16,1B	11,20A	11,62A	11,69B
116 d.a.s.	15,9A	17,0A	17,8A	11,40A	11,92A	12,29A
DMS	0,62	0,72	0,65	0,80	0,57	0,59
CV	6,69	7,36	6,38	11,77	8,07	8,15
Teste F Blocos	0,97ns	6,07ns	3,18ns	1,87ns	1,05ns	4,36ns
Inter. AxB	0,17ns	0,07ns	0,26ns	1,46ns	1,80ns	0,25ns
Inter. AxC	5,57*	2,08ns	0,04ns	0,11ns	0,01ns	0,17ns
Inter. BxC	1,62ns	0,06ns	0,04ns	0,17ns	1,40ns	2,14ns
Inter. AxBxC	0,01**	1,78ns	0,18ns	0,11ns	3,25ns	0,78ns

*significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

Para ART não houve alteração significativa de valores após a adição de alfa amilase. O aumento dos valores do Brix no do caldo tratado, pode ser justificado

devido à hidrólise das moléculas de amido, em açúcares que são solúveis em água, contribuindo para aumentar o Brix, que quantifica todos os sólidos solúveis açúcares e não açúcares presentes em solução. Entretanto, estes açúcares não contribuíram para o incremento de ART quantificado através da técnica (Lane e Eynon, 1934) utilizada neste trabalho. Esta possibilita a quantificação somente dos açúcares redutores na forma de glicose e frutose (Tab. 02).

Para o genótipo CV147, observou-se interação entre o sistema de colheita e as épocas de colheita. Da análise da Fig. 15, observa-se que aos 116 d.a.s os teores de Brix foram maiores para o sistema de colheita com panícula e tratados com alfa amilase.

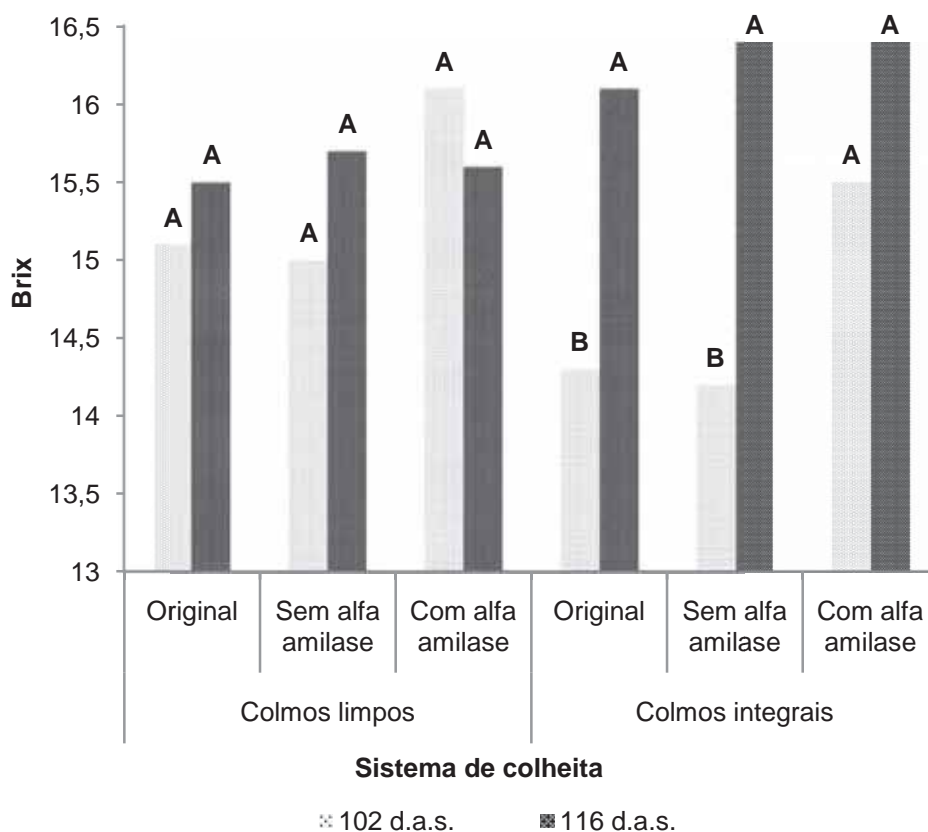


Figura 15. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo CV147, considerando-se o Brix do caldo clarificado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

Avaliando-se o efeito do tratamento enzimático sobre os valores de pH, constatou-se que o processo de clarificação, promoveu aumento deste parâmetro com conseqüente redução da acidez para os genótipos CV198 e BRS508 (Tab. 03).

Comparando-se os valores obtidos para acidez dos caldos original e tratados (com e sem alfa amilase) pode se constatar comportamento já esperado, uma vez que a redução destes parâmetros é resultante da aplicação de leite de cal ao caldo até pH 7,0.

Tradicionalmente, o tratamento do caldo para produção de etanol é feito em pH 6,0, para evitar a remoção de nutrientes, porém neste estudo, por necessidade de adequação do pH para aplicação da alfa amilase durante a etapa de clarificação do caldo, esta foi realizada a pH 7,0. Esta adequação pode ter contribuído para melhor qualidade do mosto.

Tabela 03. Efeito do processo de clarificação nos teores de pH e Acidez, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/ 2013.

	pH			Acidez total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)		
	CV147	CV198	BRS508	CV147	CV198	BRS508
Colheita (A)	4,00 ns	0,21 ns	0,91 ns	0,40ns	0,80ns	0,01ns
Colmos limpos	5,37A	5,52A	5,53A	1,59A	1,45A	1,59A
Colmos integrais	5,57A	5,54A	5,51A	1,55A	1,56A	1,59A
DMS	0,32	0,13	0,06	0,18	0,39	0,08
CV	6,54	2,75	1,20	12,71	28,27	5,91
Tratamento (B)	180,52**	379,20 **	180,97 **	0,42ns	9,13**	22,89**
Caldo Original	4,82 C	4,89 C	4,83 C	1,61A	1,60A	1,84A
Sem alfa amilase	5,90 A	5,92 A	6,04 A	1,56A	1,46B	1,52B
Com alfa amilase	5,69 B	5,78 B	5,70 B	1,56A	1,44B	1,40B
DMS	0,15	0,10	0,17	0,24	0,11	0,17
CV	3,10	2,08	3,34	16,24	7,94	11,88
Épocas (C)	3,42 ns	0,10 ns	5,81 *	1,42ns	0,39ns	4,07ns
102d.a.s.	5,41 A	5,53 A	5,45 B	1,62A	1,52A	1,65A
116d.a.s	5,53 A	5,54 A	5,59 A	1,52A	1,48A	1,53A
DMS	0,13	0,061	0,12	0,16	0,10	0,12
CV	4,00	1,85	3,70	16,94	11,97	12,65
Teste F Blocos	0,54 ns	1,68 ns	6,19 ns	4,85ns	1,41ns	21,04*
Inter. AxB	6,02 *	2,34 ns	0,81 ns	1,41ns	3,07ns	0,56ns
Inter. AxC	1,04 ns	1,12 ns	0,84 ns	0,20ns	0,03ns	2,66ns
Inter. BxC	1,71 ns	5,02 *	4,23 *	0,04ns	13,46**	11,79**
Inter. AxBxC	1,94 ns	0,28 ns	0,86 ns	5,47*	0,85	0,01ns

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

A realização do processo de clarificação do caldo foi determinante para que se pudesse avaliar o tratamento enzimático. Neste contexto, quando-se analisou o comportamento do pH para os genótipos estudados nos tratamentos com ou sem enzima, verificou-se incremento significativo dos valores (Figs.16,17 e 18). Sugerindo que a clarificação do caldo melhorou a qualidade do caldo, possibilitando ação mais efetiva das enzimas.

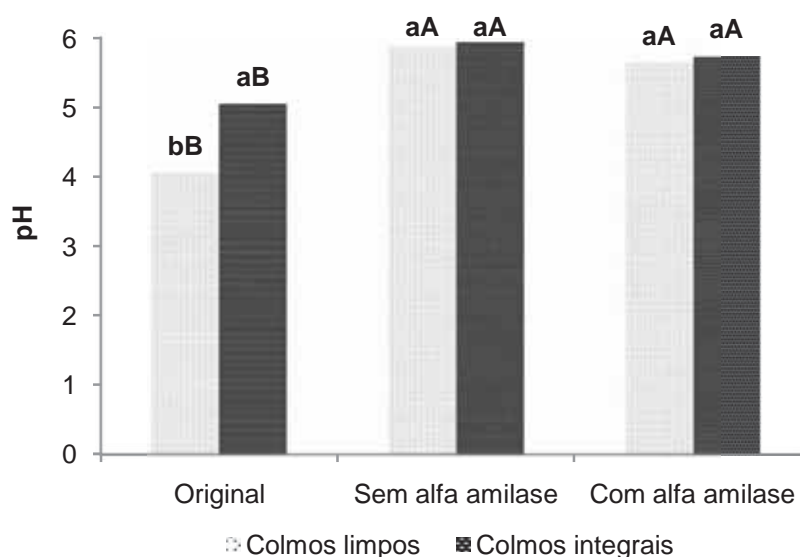


Figura 16. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e sistema de colheita para o genótipo CV147 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o sistema de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre tratamento enzimático.

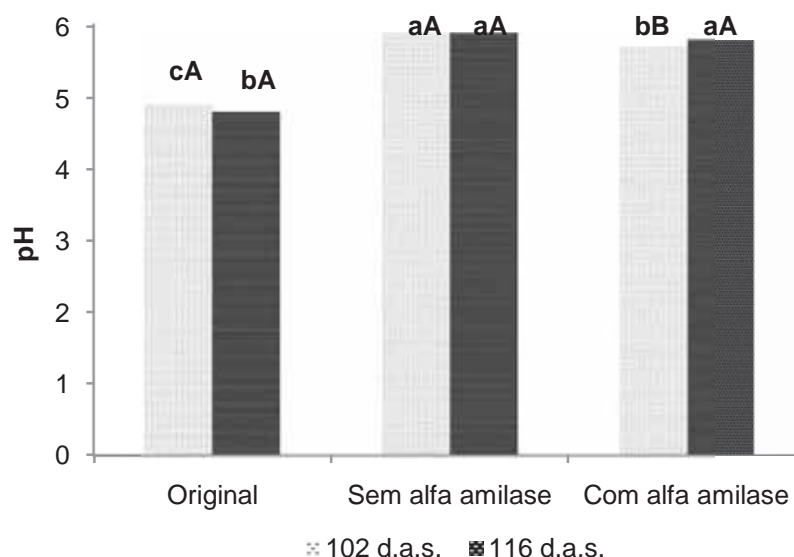


Figura 17. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e sistema de colheita para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o sistema de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre tratamento enzimático.

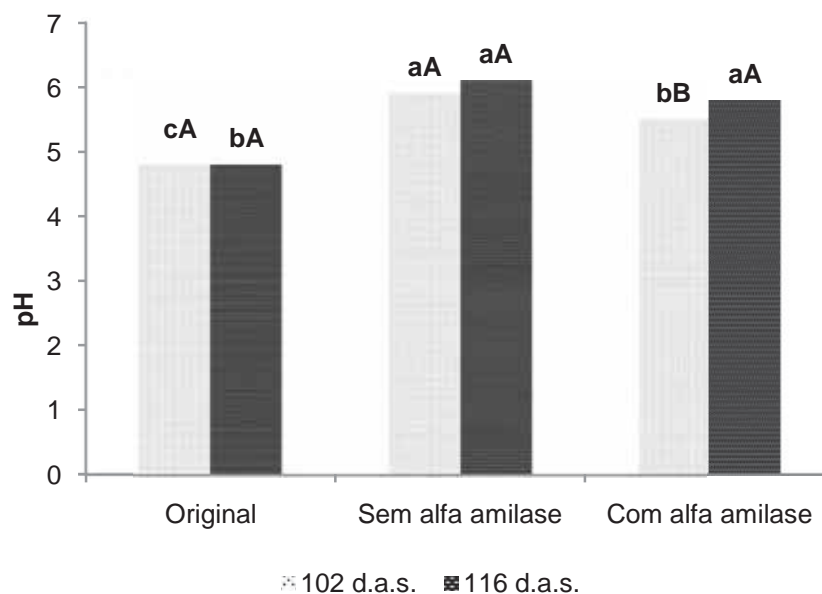


Figura 18. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo BRS508 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o sistema de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre tratamento enzimático.

Quanto à acidez observou-se redução significativa para este parâmetro (Tab. 03), uma vez que o tratamento de caldo com hidróxido de cálcio 6^oBé, promove a remoção de ácidos através de adsorção/arraste pelos fosfatos de cálcio formados no meio (ALBUQUERQUE, 2011). De acordo com Dorta et al. (2006) elevadas quantidades desses compostos, impactam negativamente na fisiologia da levedura em fermentação, reduzindo a quantidade de células vivas. Teores de 4% de ácidos orgânicos na fermentação foram suficientes para reduzir a viabilidade de células de levedura em até 80%(MAIORELLA et al.,1983).

Os resultados obtidos para acidez total do caldo clarificado (Tabela 03) apresentaram efeito significativo para o tratamento com alfa amilase. Verificou-se interação entre que o sistema de colheita, tratamento enzimático e épocas de colheita (Figs. 19, 20 e 21).

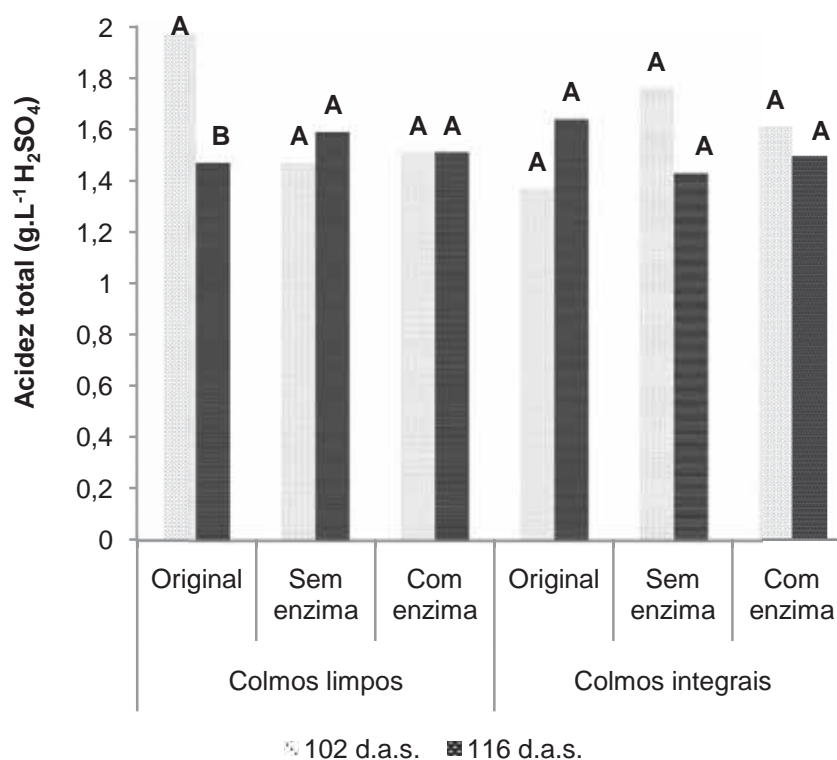


Figura 19. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV147 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

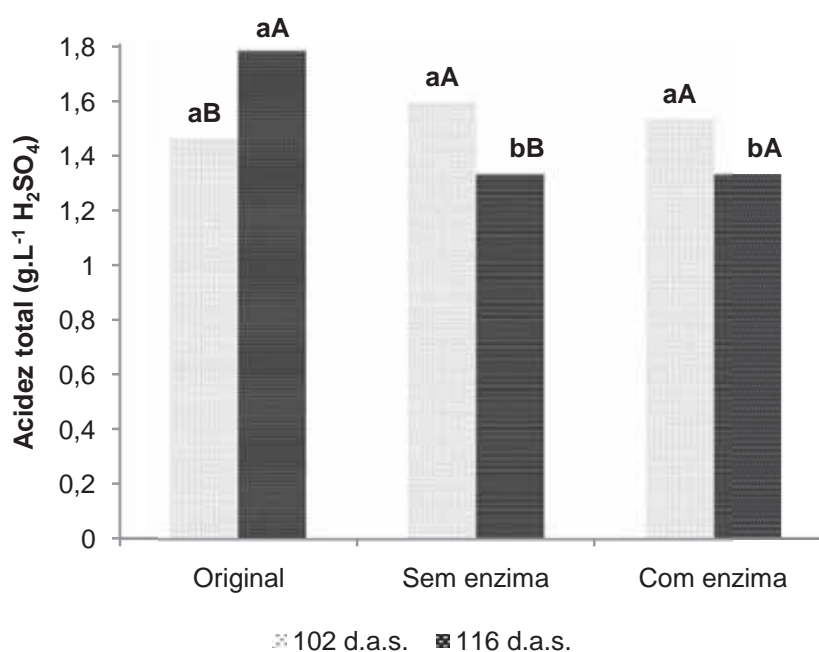


Figura 20. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o tratamento enzimático. Letras minúsculas comparam médias entre as épocas de colheita.

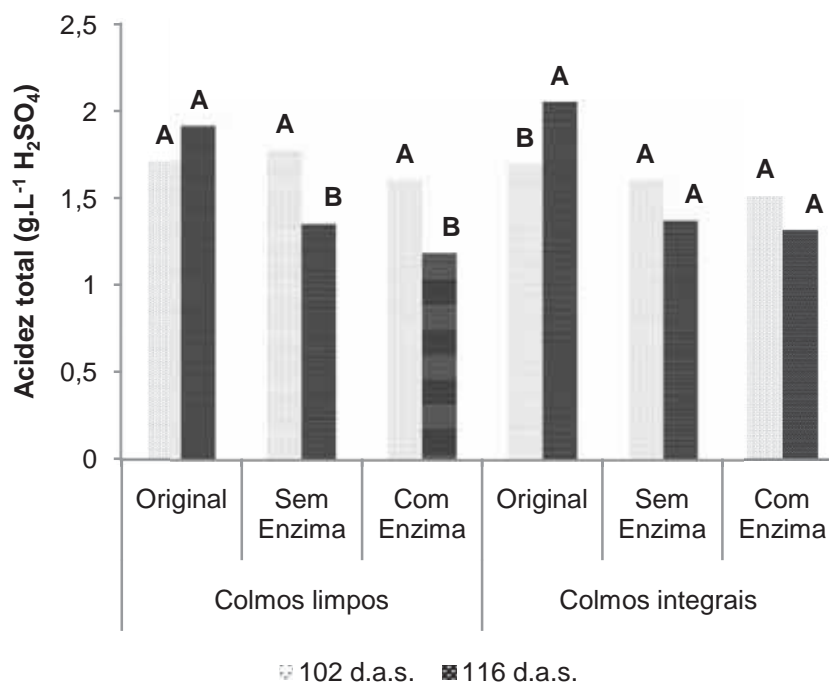


Figura 21. Desdobramento da interação do sistema de colheita e do tratamento enzimático com alfa amilase para o genótipo CV198 de sorgo sacarino, em caldo clarificado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

Observou-se ainda redução significativa nos teores de fenóis quando comparado aos valores do caldo original (Tab.04). Estes benefícios também foram citados por Awika; Rooney e Waniska (2004), destacando ainda que a redução da viscosidade do caldo, acidez e de compostos fenólicos melhoram a qualidade do mosto uma vez que estes compostos podem afetar diretamente o processo fermentativo, inibindo a atividade da levedura (RAVANELI et al., 2011). Fato semelhante pode ser observado neste estudo.

Diante dos resultados acima se verifica a importância do processo de tratamento de caldo quando do emprego do sorgo sacarino como matéria-prima, para melhorar a qualidade do mosto, e consequente 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.

Tabela 04. Efeito do processo de clarificação nos teores de Fenol e Amido, submetidos ou não ao tratamento com alfa amilase, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2014.

	Compostos fenólicos totais (mg.L ⁻¹)			Amido (mg.L ⁻¹)		
	CV147	CV198	BRS508	CV147	CV198	BRS508
Colheita (A)	60,57**	335,26**	0,33ns	0,98ns	0,52ns	17,15*
Colmos limpos	676A	409B	508A	539,64A	580,32A	723,17A
Colmos integrais	477B	573A	493A	455,70A	517,33A	437,47B
DMS	81,21	28,44	79,26	269,72	277,91	219,46
CV	15,33	6,30	17,22	59,00	55,13	41,17
Tratamento (B)	33,70**	8,46**	17,79**	3,18ns	3,31ns	2,93ns
Caldo Original	789A	619A	655A	801,40A	616,18A	792,88A
Sem alfa amilase	507B	435B	458B	572,72A	907,93A	702,34A
Com alfa amilase	432B	421B	389B	118,89B	122,36B	245,73B
DMS	122,20	143,41	123,22	440,76	312,16	369,53
CV	22,48	30,94	26,10	93,97	60,35	67,56
Épocas (C)	47,04**	0,54ns	0,93ns	8,82**	22,99**	8,95**
102 d.a.s.	438B	476A	525A	304,74B	401,43B	446,43B
116 d.a.s.	715A	506A	476A	690,60A	696,22A	714,20A
DMS	84,91	86,18	105,34	219,17	212,73	184,16
CV	24,29	28,91	34,69	72,64	63,94	52,35
Teste F Blocos	11,11*	64,94**	3,67ns	3,18ns	3,31ns	2,93ns
Inter. AxB	5,72*	0,93ns	2,06ns	0,98ns	0,52ns	17,15*
Inter. AxC	3,38ns	1,28ns	0,01ns	0,03ns	0,05ns	10,48**
Inter. BxC	7,65**	4,06*	1,35ns	9,66**	4,59*	0,26ns
Inter. AxBxC	5,60*	1,85ns	1,92ns	0,32ns	1,62ns	11,01**

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

Estudando-se o sistema de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo CV147, verifica-se que houve interação, indicando que estes parâmetros interferem sobre a qualidade do mosto. Tem-se que este genótipo foi o que apresentou os maiores teores de fenol, independente da aplicação de alfa amilase (Fig. 22).

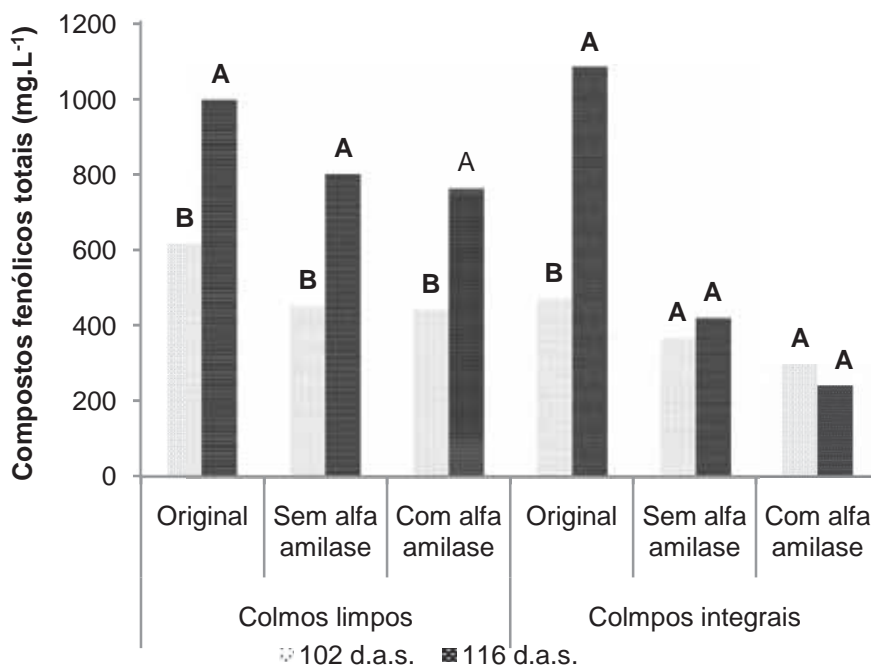


Figura 22. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo CV147, considerando-se os compostos fenólicos totais do caldo clarificado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

Para o genótipo CV198, observou-se interação entre o tratamento enzimático e época de colheita. Maiores valores de compostos fenólicos totais foram observados aos 116 d.a.s. O tratamento enzimático reduziu a presença destes compostos para este genótipo (Fig. 23).

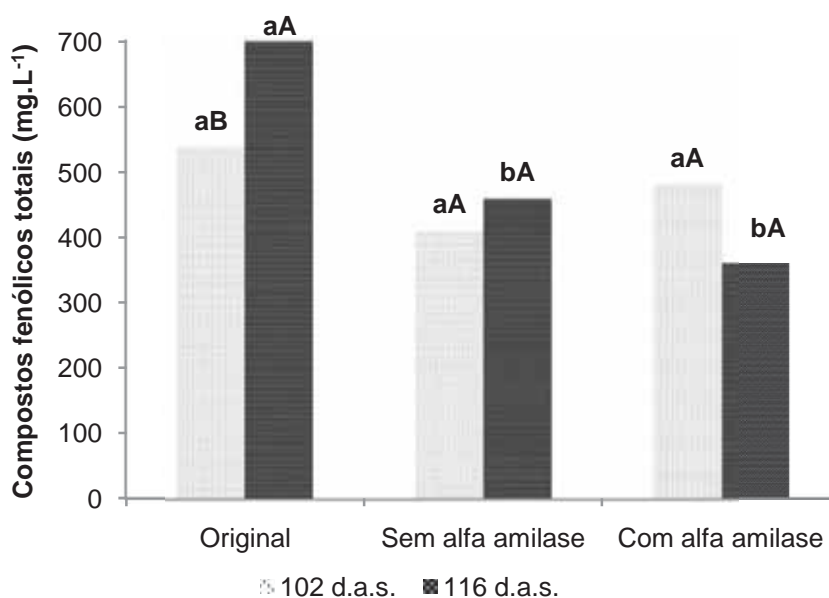


Figura 23. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para compostos fenólicos totais em caldo clarificado para o genótipo CV198 em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre épocas de colheita. Letras minúsculas comparam médias entre tratamento enzimático.

Os resultados obtidos para os teores de amido no caldo clarificado estão apresentados na (Tab. 04). Da sua análise verifica-se que o comportamento dos três genótipos foi semelhante, quando tratados com a enzima alfa amilase com redução drástica dos teores de amido.

Para o CV147 e o BRS508 a colheita dos colmos limpos resultou em aumento do teor de amido no caldo clarificado, quando comparado aos tratamentos com colmos integrais. Considerando-se a ação da enzima sobre estas biomoléculas, verificou-se que dos 102 para os 116 d.a.s. houve acréscimo amido nos três tratamentos. Quando se utilizou a enzima alfa-amilase, para o caldo clarificado nestas duas épocas verificou-se que os teores desta biomolécula reduziram significativamente para cerca de 245,73 mg.L⁻¹ para o BRS508, e de 118mg.L⁻¹ e 120 mg.L⁻¹ para os genótipos CV147 e CV198 respectivamente (Tab. 04).

A redução dos teores de amido é desejável uma vez que quando presente no mosto contribui para aumentar a viscosidade no caldo, acarretando queda do rendimento da fermentação alcoólica (STUPIELLO, 2010). As panículas granadas do sorgo sacarino são ricas em amido e requerem ajustes para a operação de colheita. De acordo com a estrutura da planta, caso a eliminação das panículas não ocorra de modo efetivo e não se consiga separar a massa de grãos da massa de colmos, seriam necessários ajustes nos processos industriais para redução dos compostos indesejáveis presentes na panícula entre eles o amido e o fenol.

Para os genótipos CV147 e CV198 observou-se interação entre épocas e tratamento enzimático (Fig. 24 e 25). A segunda época foi a que apresentou os maiores valores de amido, entretanto independente da época de colheita para os dois genótipos houve redução significativa dos teores desta biomolécula quando submetidos ao processo de clarificação com alfa amilase.

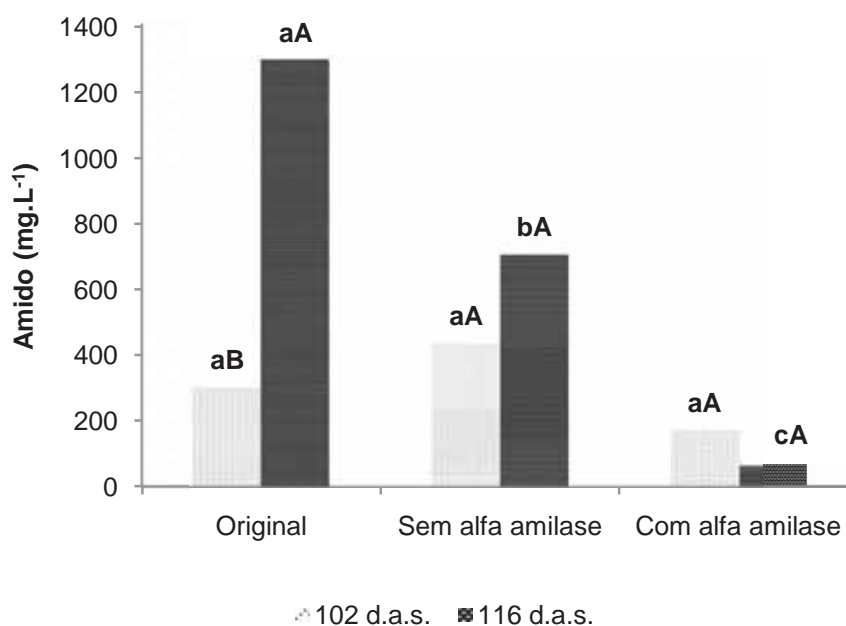


Figura 24. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para amido em caldo clarificado para o genótipo CV147 em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o tratamento enzimático. Letras minúsculas comparam médias entre as épocas de colheita.

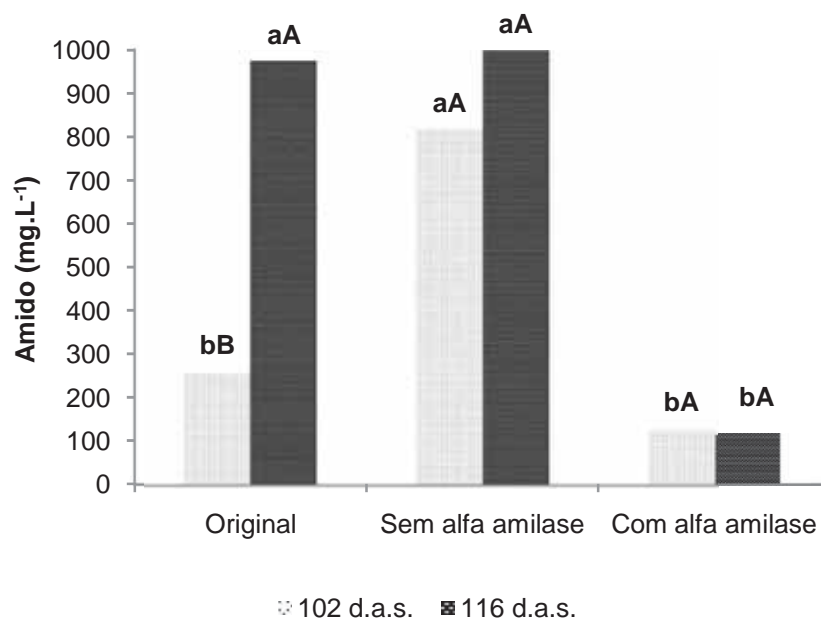


Figura 25. Desdobramento da interação do tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para amido em caldo clarificado para o genótipo CV198 em caldo clarificado. Letras maiúsculas comparam médias entre o tratamento enzimático. Letras minúsculas comparam médias entre as épocas de colheita.

Para o genótipo BRS508, observou-se que o sistema de colheita, o tratamento enzimático e a época de colheita, influenciaram na qualidade do caldo clarificado deste genótipo. Os maiores valores de amido foram obtidos aos 116 d.a.s com incremento de 268 mg.L⁻¹ de amido, pois a medida que a planta atinge a maturação fisiológica os açúcares presentes no colmo são translocados e armazenados na panícula na forma de amido. O tratamento enzimático contribuiu para redução dos teores de amido. Durante o processamento de colmos inteiros esperava-se aumento nos teores de amido, entretanto verificou-se que a presença de panícula reduziu os teores de amido. Evidenciando que o sistema empregado para processamento do colmo de sorgo não foi eficiente para extração do amido dos grãos (Fig. 26).

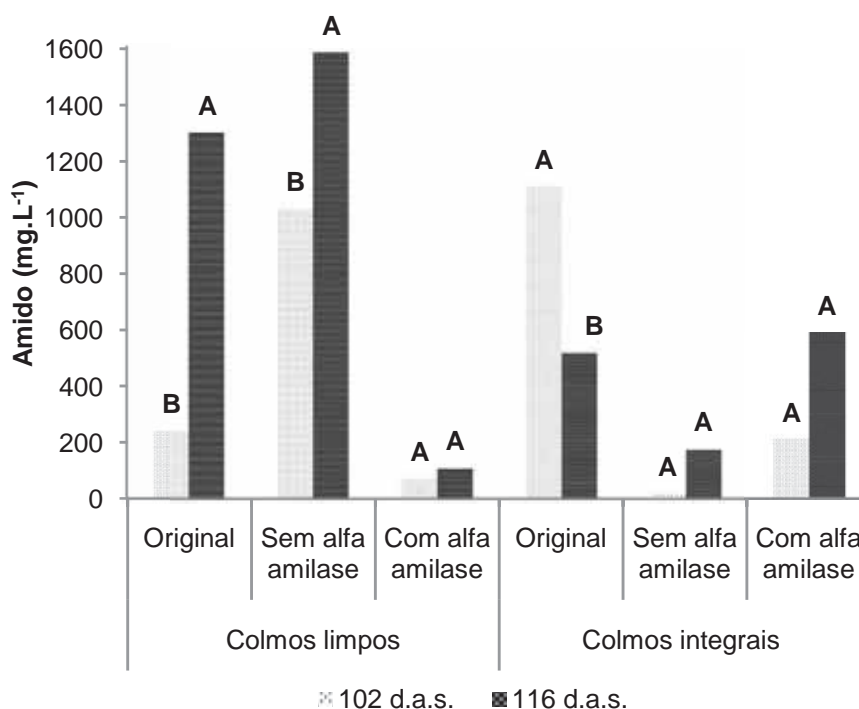


Figura 26. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita, tratamento enzimático com alfa amilase e épocas de colheita para o genótipo BRS508, considerando-se o amido do caldo clarificado. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

O mosto destinado a fermentação apresentou valores da ordem de 15,1 a 15,8°Brix, valores próximos a 12% de ART, 4,4 de pH e acidez entre 1,42 e 1,57g.L⁻¹ H₂SO₄, fenol entre 492 e 147 mg.L⁻¹ estando plenamente adequados de acordo com Amorim (2005) e amido com teores entre 699 a 249 mg.L⁻¹ (Anexo 04).

5.3 Processo fermentativo

Das análises realizadas durante o processo fermentativo observou-se que vários fatores influenciam sobre as características finais e qualidade tecnológica do vinho. No presente estudo observou-se que os genótipos apresentaram comportamento similar na viabilidade do inóculo, a inicial e a final do processo fermentativo (Fig. 27A). Esta característica é importante uma vez que no processo fermentativo é necessário o crescimento em massa da levedura para que a viabilidade celular se mantenha alta e haja o reciclo das células (STELCKELBERG, 2001). Diferente do observado por Zhan et al. (2006) que avaliaram oito variedades de sorgo de sacarino em duas localidades, utilizando leveduras *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 24860), observaram interações entre o genótipo e local, que tiveram efeito significativo nos rendimentos de etanol com variações de até 5%.

Observou-se que a viabilidade do inóculo foi da ordem de 80%, valores estes superiores aos obtidos por Freita (2013) que avaliando a fermentação de sorgo sacarino com os genótipos CVSW80007, CVWS80147 e BRS610 observou viabilidade celular da ordem de 79, 76 e 80% respectivamente para PE-2. E Masson (2013) que obteve valores de viabilidade celular do inóculo da ordem de 74%.

Avaliando-se o comportamento da viabilidade das células de leveduras para os diferentes genótipos, sistema de colheita verificou-se que ao longo do tempo houve redução dos valores da ordem de 5%, o que é esperado em função da esgotabilidade dos meios (AMORIM; OLIVEIRA, 1982).

Quando-se analisou o tratamento enzimático (Fig. 27B), observou-se ao final do processo redução da viabilidade de células, próximo de 6%, enquanto que para o tratamento sem enzimas a redução foi da ordem de 2%.

A colheita realizada aos 116 d.a.s resultou em menor viabilidade de células, ao final do processo fermentativo, embora esta não tenha apresentado diferenças significativas (Fig. 27C). Este comportamento pode ser resultante da qualidade da matéria-prima que apresentou maiores valores de compostos fenólicos nesta época, estes compostos afetam negativamente a viabilidade das leveduras (FUGITA, 2010).

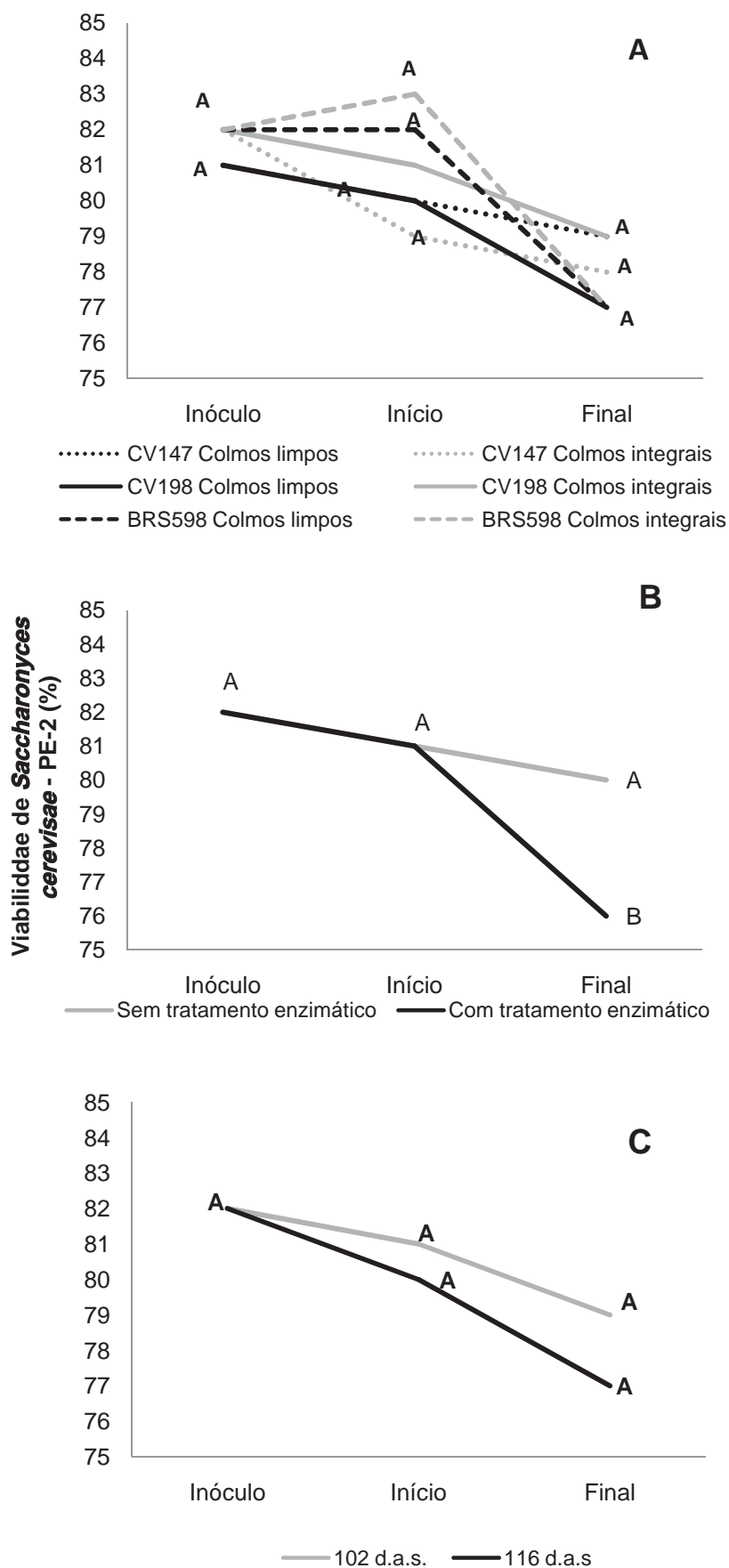


Figura 27. Efeito do genótipo e sistema de colheita (A), Tratamento enzimático (B) e época de colheita (C) sobre a viabilidade celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2).

Analisando-se a viabilidade de brotos, verificou-se que a taxa de brotamento aumentou para todos os genótipos no inoculo e início. Segundo Nagodawithana et al. (1974), citado por Mutton (1998), com a intensificação da fermentação, ocorreu a elevação da temperatura, levando ao aumento da atividade metabólica das leveduras, e conseqüente aumento do brotamento.

A presença ou não de panícula afetou a viabilidade final do genótipo CV147 este genótipo também foi o que apresentou maiores teores de compostos fenólicos. Sabe-se que a presença de compostos fenólicos e de produtos metabólicos exerce influência negativa sobre a viabilidade celular, variando conforme as condições do meio. Diversos autores, já citaram a correlação positiva entre o aumento de fenóis e da acidez do meio e a redução da viabilidade celular da levedura (AMORIM; OLIVEIRA, 1982; ALTERTHUM et al., 1984; ALCARDE; WALDER; HORII, 2003; FUGITA, 2010)

Para o CV198 na presença ou ausência de panícula ocorreu redução da viabilidade de brotos. Este comportamento não era esperado uma vez que de acordo com Walker (1998) citado por Fugita (2010), ao final da fermentação quando o mosto apresenta baixas concentrações de açúcares, este fato favorece a respiração celular da levedura fazendo com que haja um aumento do número de células. Quando se avalia o genótipo BRS508 a viabilidade final aumentou tanto com colmos limpos quanto para colmos com panícula (Fig. 28A).

O tratamento enzimático (alfa amilase e amiloglucosidase) não afetou a viabilidade dos brotos (Fig. 28B). Para época de colheita não foi observado diferença significativa entre as duas épocas, porém nota-se leve tendência de redução da viabilidade, fato semelhante também foi observado para época de colheita (Fig. 28C)

Ferreira (2014) obteve redução da viabilidade de brotos aos 116. d.a.s para levedura *Saccharomyces cerevisiae* PE-2. O mesmo efeito foi relatado por Freita (2013), ambos justificaram esses resultados devido à qualidade da matéria-prima que, apresentou redução da qualidade neste período.

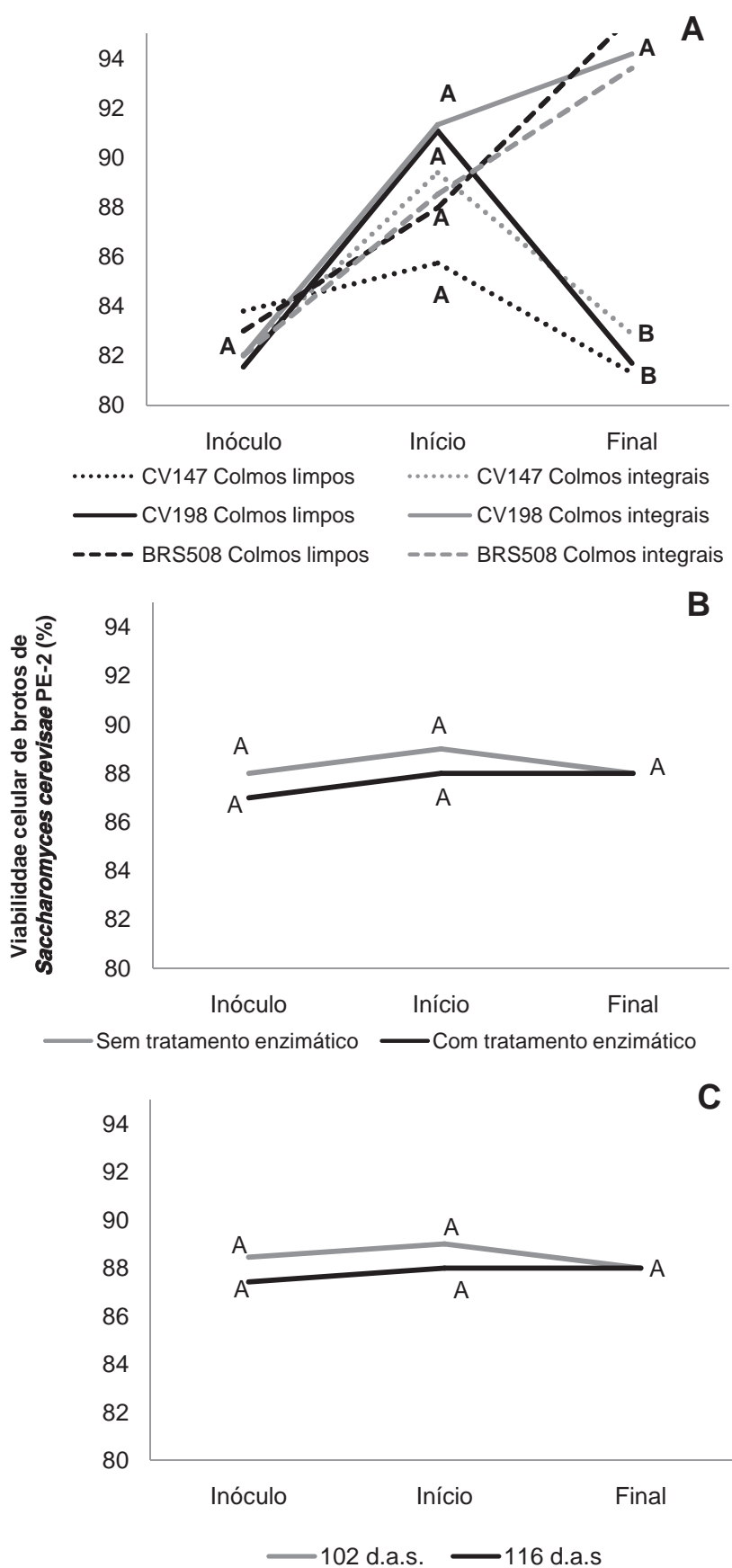


Figura 28. Efeito do genótipo e sistema de colheita (A), Tratamento enzimático (B) e época de colheita (C) sobre a viabilidade de broto da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2).

5.4 Características do vinho e eficiência fermentativa

Na Tabela 05, estão apresentados os valores médios obtidos para Brix, ARRT, pH, acidez, glicerol e teor alcoólico do vinho e eficiência fermentativa. Observa-se que nenhum dos parâmetros avaliados foram afetados para os genótipos avaliados.

Tabela 05. Composição do vinho, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino submetido ou não a tratamento enzimático, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

	Brix	ARRT (%)	pH	Acidez total (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Glicerol (%)	Teor Alcoólico (%)	Eficiência fermentativa (%)
Genótipo (A)							
CV147 Colmos limpos	2,6A	0,35A	4,0A	1,93A	1,84A	6,7A	85A
CV147 Colmos integrais	2,7A	0,29A	4,1A	1,96A	1,82A	6,7A	85A
CV198 Colmos limpos	2,7A	0,33A	3,7A	2,11A	1,56A	6,9A	86A
CV198 Colmos integrais	3,1A	0,35A	3,9A	2,04A	1,58A	7,0A	86A
BRS508 Colmos limpos	2,8A	0,30A	3,9A	1,98A	1,79A	7,1A	85A
BRS508 Colmos integrais	3,0A	0,32A	4,0A	2,01A	1,60A	6,7A	82A
Teste F (A)	1,79ns	0,40ns	1,16ns	0,94ns	1,63ns	2,76ns	0,81ns
DMS	0,59	0,18	0,53	0,30	0,48	0,5	8,46
CV	18,27	47,91	11,67	13,04	24,62	6,74	8,65
Tratamento (B)							
Sem enzima	3,0A	0,35A	4,0A	1,98A	1,73A	6,9A	84A
Com enzimas	2,6B	0,30B	3,9A	2,03A	1,67A	6,8A	85A
Teste F (B)	35,64**	6,97*	2,34ns	2,32ns	0,35ns	1,46ns	0,86ns
DMS	0,12	0,03	0,09	0,07	0,21	0,16	2,07
CV	10,29	27,62	5,62	9,07	29,61	5,59	5,67
Épocas (C)							
102 d.a.s.	2,7A	0,35A	4,0A	2,23A	2,07A	7,0A	89A
116 d.a.s.	2,9A	0,30B	3,9A	1,78B	1,33B	6,7B	80B
Teste F (C)	3,23ns	5,13*	0,25ns	39,91**	44,15**	8,65**	46,25**
DMS	0,23	0,05	0,20	0,14	0,22	0,24	2,73
CV	20,21	37,69	12,57	17,32	32,08	8,60	7,73
Teste F Blocos	5,65**	3,62*	9,75**	1,77ns	0,22ns	3,73*	4,31*
Inter. AxB	0,92ns	0,81ns	0,49ns	3,25*	0,99ns	2,91*	3,14*
Inter. AxC	2,21ns	0,90ns	1,01ns	1,09ns	0,87ns	0,27ns	4,92**
Inter. BxC	0,59ns	1,06ns	1,21ns	0,07ns	0,01ns	0,59ns	1,45ns
Inter. AxBxC	0,08ns	0,36ns	0,10ns	0,23ns	0,42ns	0,88ns	1,65ns

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 = p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.

Avaliando-se a ação do tratamento enzimático sobre as características tecnológicas do vinho, verificou-se que somente para o Brix e o ARRT houve diferenças significativas, indicando que a aplicação das enzimas alfa amilase e beta aminoglicosidase resultaram no decréscimo significativo de 0,4% e 0,05% de Brix e ARRT respectivamente (Tab. 05). Deve-se ressaltar que mesmo com o tratamento enzimático não houve consumo total de açúcar pela levedura para produção de etanol. Provavelmente, estes compostos são sólidos solúveis infermentescíveis (dextrinas) pela *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2).

Comparando-se os vinhos obtidos em diferentes épocas de colheita, verificou-se que aos 116 d.a.s houve menores valores de ARRT, glicerol, acidez total e teor alcoólico. Para a eficiência fermentativa dos três genótipos estudados aos 116 d.a.s foi a época com menor eficiência fermentativa valores próximos a 80%. Este fato pode ser decorrente da maior quantidade de fenóis no caldo na segunda época que pode ter inibido a atividade da levedura. O que pode ser evidenciado com a queda da viabilidade celular e de brotos na segunda época de colheita (Fig. 27A e 28A). Aos 102 d.a.s observaram-se índices de eficiência fermentativa próximos a 89% (Tab. 05), este valor é similar aos obtidos por Ratnavathi et al.; (2010) e Tahmina e Capareda (2011), que fermentando mosto de sorgo sacarino obtiveram eficiências próximas de 90%.

A presença de panículas, assim como o tratamento enzimático, promoveu acréscimo deste parâmetro para os genótipos CV147 e BRS508, diferentemente do CV198 que, quando foi submetido a tratamento com amilase e glucosidase, resultou em menores índices de eficiência fermentativa (Fig.29).

Observou-se interação entre o genótipo, tratamento enzimático e tipo de colheita, o genótipo CV147 foi o que apresentou maior eficiência fermentativa, a presença de panícula não afetou a eficiência fermentativa e o tratamento enzimático contribuiu para o seu aumento. Para os genótipos CV198 a presença de panícula e o tratamento com enzima resultou em menor eficiência fermentativa. O BRS508 foi o genótipo que apresentou menor eficiência fermentativa(Fig.29).

Considerando-se o sistema de colheita com e sem panículas, verificou-se que para os 3 genótipos o processamento de colmos limpos resultou em melhores valores de eficiência fermentativa nas duas épocas avaliadas, com exceção do genótipo CV147. De modo geral, o rendimento para o tratamento com folhas foi de aproximadamente 11-17% menor que para colmos integrais, ressalta-se que este

tratamento foi o que apresentou a maior concentração de fenol (Fig.29). Tais resultados são superiores aos determinados por Freita et al., (2014), que avaliando o processamento de sorgo sacarino com e sem panícula obteve valores de perda de eficiência quando do processamento com folhas de até 10,75%.

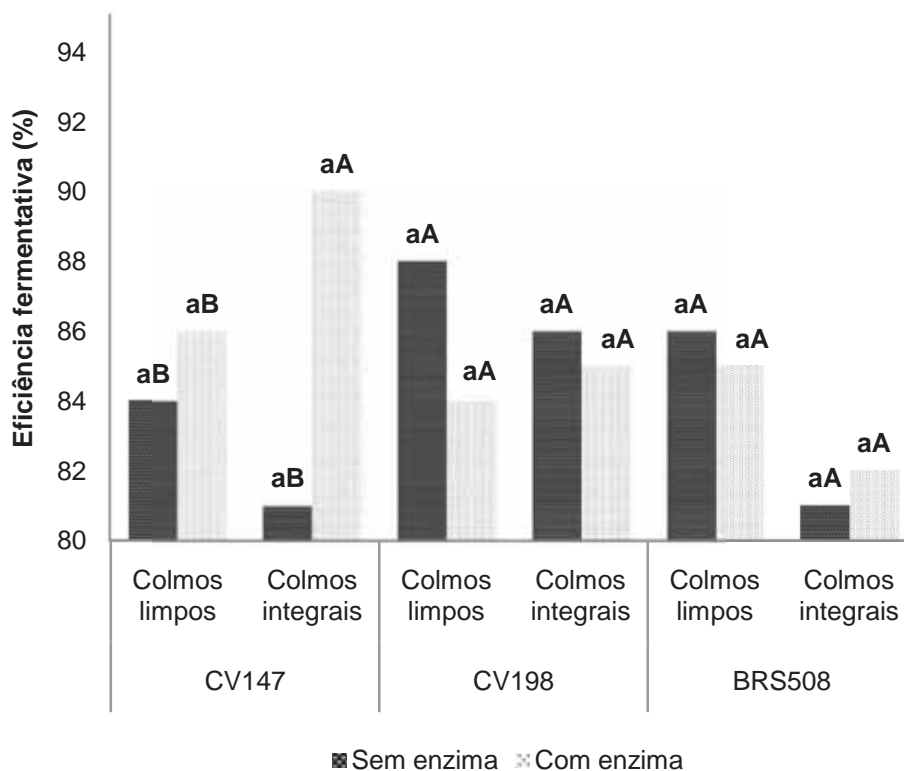


Figura 29. . Desdobramento da interação entre sistemas de colheita e tratamento enzimático (alfa amilase e amiloglucosidase) para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino considerando-se Eficiência Fermentativa. Jaboticabal-SP/2013. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

Para época de colheita observou-se interação entre os genótipos, sendo que aos 116 d.a.s observaram-se os menores índices de eficiência fermentativa, a presença de panícula independente do genótipo influenciou negativamente (Fig.30).

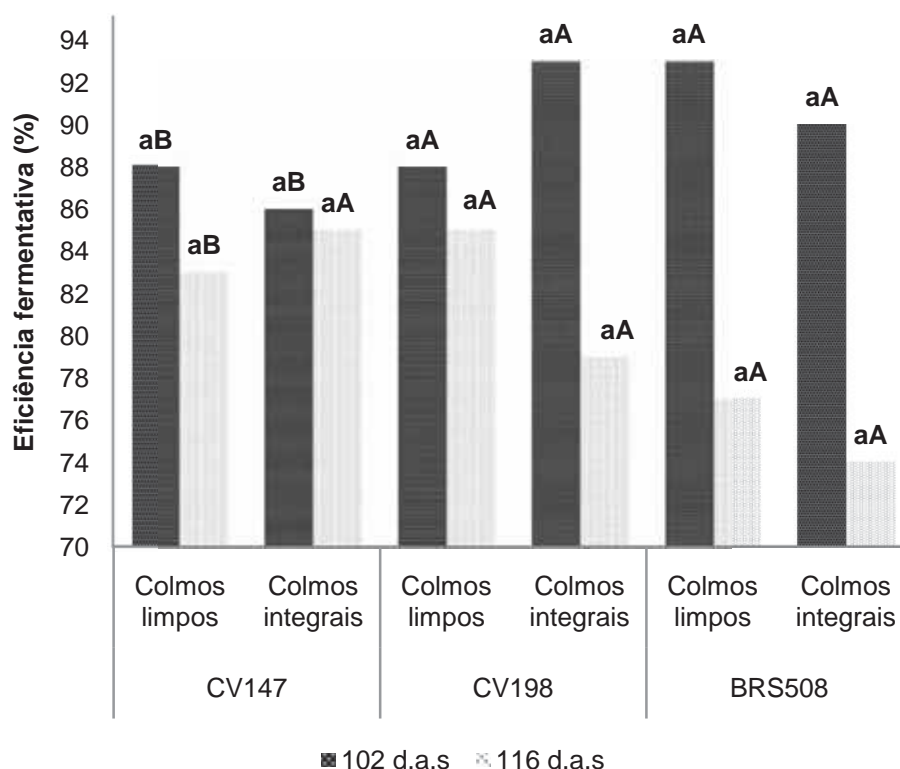


Figura 30. Desdobramento da interação entre sistemas de colheita e épocas de colheita para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino considerando-se Eficiência Fermentativa. Jaboticabal-SP/2013. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o Teste de Tukey (5%).

Na Tabela 04, observou-se que não houve diferença para os teores de etanol comparando-se genótipos e sistemas de colheita. Conforme, esperado aos 116 d.a.s foi à época, foi o que apresentou os menores teores de etanol e a menor eficiência fermentativa.

Na Figura 31, estão apresentados os valores médios obtidos por genótipo para a quantidade de litros de etanol produzido por tonelada de sorgo sacarino processado com e sem panícula, e submetidos a tratamento enzimático, em duas épocas de amostragem. Observa-se que a realização de tratamento enzimático promoveu maior produção de etanol somente para o genótipo BRS508 quando processado sem panícula, nas duas épocas de colheita. Este fenômeno pode estar associado aos maiores teores de amido deste genótipo no mosto (Anexo 04), além do fato deste genótipo ter apresentado os maiores valores de Brix e ART (Tab.01). Desta maneira, quando se aplicou a enzima amiloglicosidase antes da realização do processo fermentativo, houve maior hidrólise desta molécula, disponibilizando mais açúcares para a levedura fermentar, promovendo maiores teores de etanol por tonelada.

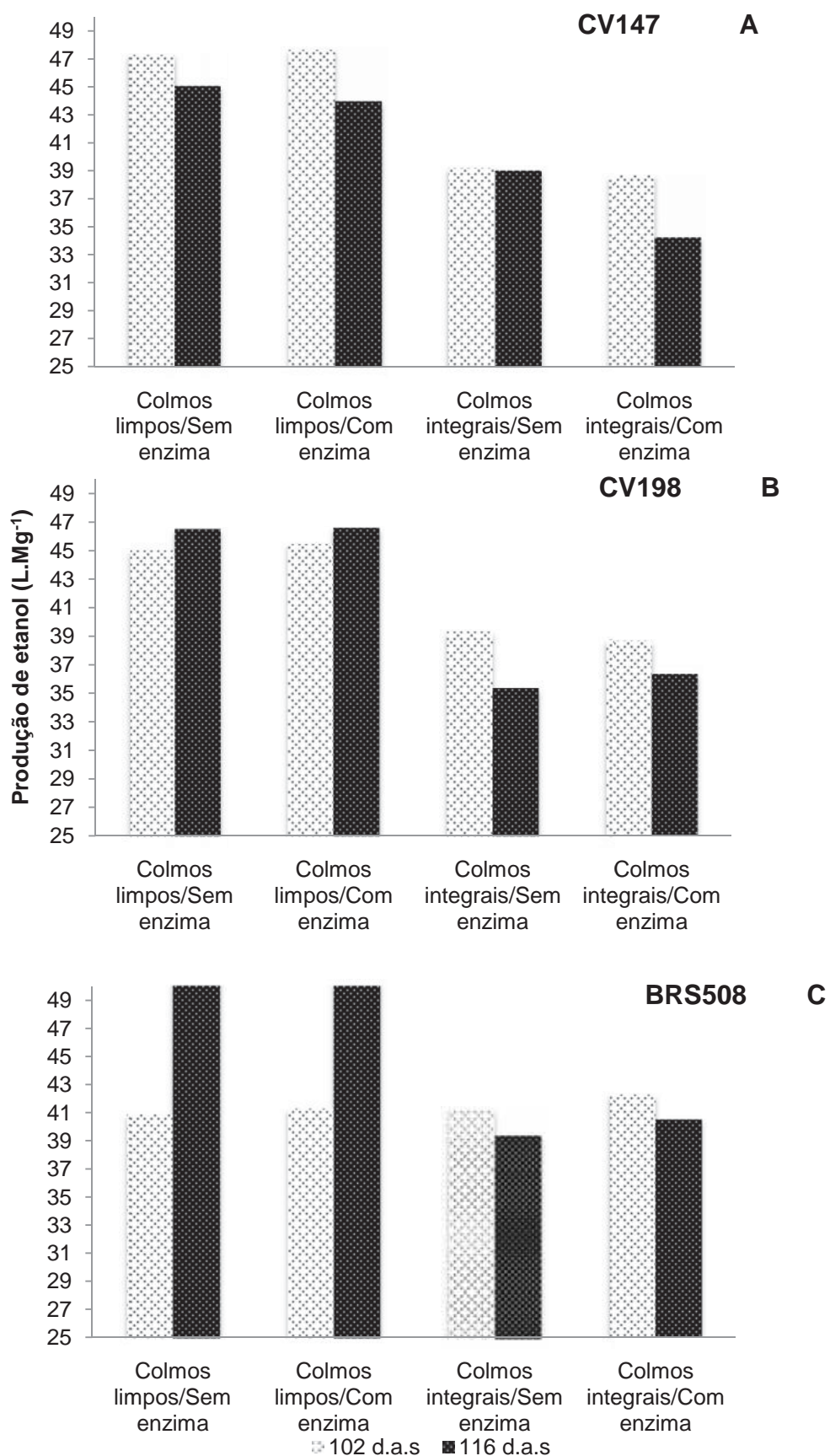


Figura 31. Produção de etanol (L.Mg⁻¹), para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

Observou-se que o BRS508 foi o genótipo que apresentou maior produtividade de etanol em litros por tonelada de sorgo processado, principalmente aos 116 d.a.s, sem panícula. Para o CV147 e CV198 aos 102 d.a.s, obteve-se os maiores rendimentos de etanol, 45 e 47L.Mg⁻¹ respectivamente, quando processados sem panícula. A presença de panícula reduziu a produtividade para os três genótipos avaliados. A redução de produtividade em etanol/tonelada resultante do processamento de colmos integrais (com folhas e panícula), já foi relatada por Ferreira (2014) e Freita (2013).

Considerando-se a produção de etanol, verificou-se que os rendimentos determinados neste trabalho são similares aos obtidos por Masson (2013) e Ferreira (2014), que determinaram valores entre 40 e 53L.Mg⁻¹, para fermentação de caldo de sorgo sacarino. Neste sentido, EMBRAPA (2012) e CanaVialis (2012), citam que esta matéria-prima apresenta potencial de produção de 35 a 40L.Mg⁻¹.

Em média o processamento de colmos com panícula reduziu a produtividade de etanol em 10L para cada tonelada processada, para o BRS508 e CV198, e de 7L para o CV147. Esta redução na produtividade pode ser resultante do bagaço deste material apresentar maiores teores de fibra, que pode ter impedido ou dificultando a extração do caldo, reduzindo a quantidade de litros de caldo extraído para os três genótipos nas duas épocas avaliadas (Fig.32). Este comportamento também foi observado por Almodares e Hadi (2009), que determinaram que maiores teores de fibra na matéria-prima reduzissem a quantidade de açúcares extraídos.

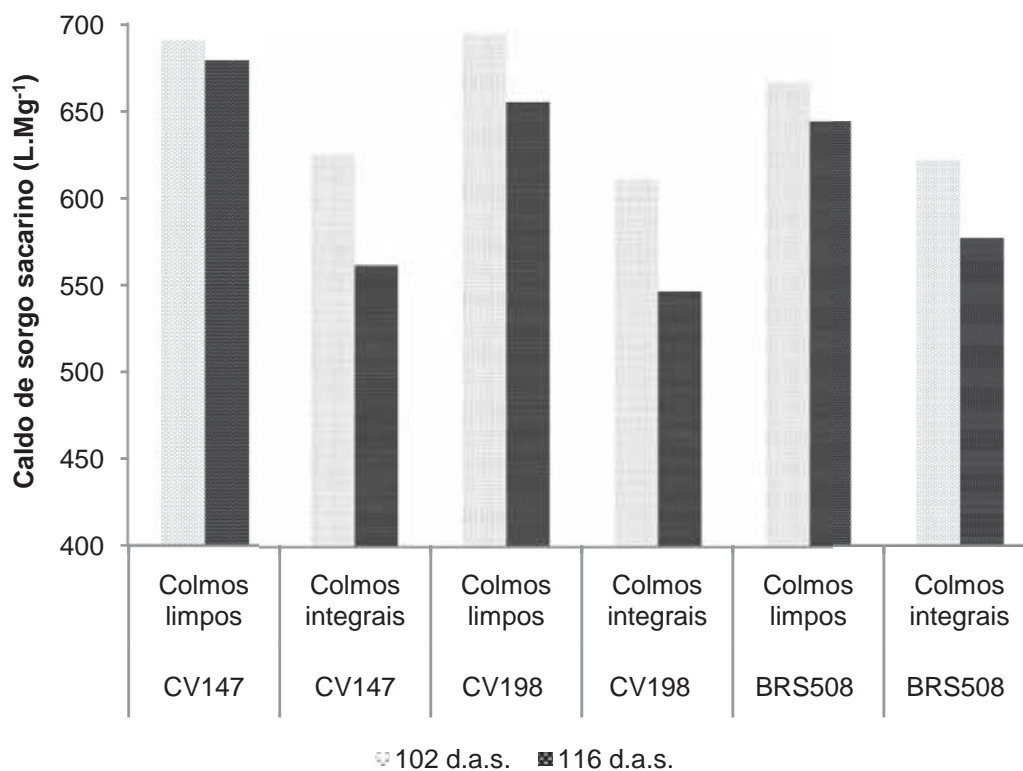


Figura 32. Litros de caldo por Tonelada de colmo processado para os genótipos CV147, CV198 e BRS508 de sorgo sacarino, colhidos com e sem panícula aos 102 d.a.s e 116 d.a.s. Jaboticabal-SP/2013.

6. CONCLUSÕES

- 1- Os três genótipos de sorgo sacarino CV147, CV198 e BRS508, apresentam características tecnológicas do caldo extraído similares para Brix, pH, AR, ART, acidez total, fenol e amido.
- 2- O melhor período para industrialização é aos 102 d.a.s.
- 3- A permanência da cultura de sorgo no campo resultou em maior concentração e da acidez total do caldo extraído.
- 4- O processamento de colmos integrais (com panícula) resulta em incremento da quantidade de bagaço, menor extração de caldo e menor produção de etanol por tonelada de sorgo processado.
- 5- A colheita de colmos integrais não aumenta de maneira significativa os teores de amido que foram da ordem de 700mg.L^{-1} , não contribuiu para incremento no rendimento de etanol.
- 6- A utilização de enzimas amilolíticas possibilita a obtenção de vinhos com menores teores de ARRT e Brix, sem afetar a eficiência fermentativa.
- 7- O genótipo BRS508 foi o que apresentou maior produção de etanol (L.Mg^{-1}) em comparação aos CV147 e CV198.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sorgo sacarino apresenta alto potencial como alternativa para produção de etanol, especialmente para ser utilizado na entressafra da cana. Uma vez que utiliza a infraestrutura e logística instalada no setor agrícola e na indústria. Entretanto, alguns gargalos ainda devem ser superados. O processamento desta matéria-prima para produção de etanol requer várias adaptações, sendo construída por açúcares diretamente fermentescíveis (glicose, frutose e sacarose) nos colmos e material amiláceo (panícula). O sistema tradicional empregado para extrair o caldo dos colmos é ineficiente para disponibilizar o amido deste material, e não permite disponibilizá-lo para ser utilizado no processo produtivo de etanol. Neste sentido, estudos devem ser realizados para avaliar um sistema de colheita e processamento de colmos que possibilite o aproveitamento deste açúcar, além da microbiota fermentadora que melhor se adaptem a este novo material.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, A. R.; WALDER, J. M. M.; HORII, J. Fermentation of irradiated sugar cane must. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 677-681, 2003.
- 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.**, v. 4, n. 9, v. 772-780, 2009.
- ALTERTHUM, F.; CRUZ, M. R. M.; VAIRO, M. L. R.; GAMBASSI, D. M. Efeito dos microrganismos contaminantes da fermentação alcoólica nas microdestilarias. **STAB. Açúcar Álcool e Subproduto**, v.3, n.1, p.42-49, 1984.
- AMORIM, H. V.; **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**.Piracicaba: Fermentec, 2005. 448 p.
- AMORIM, H. V; OLIVEIRA, A. J. Infecção na fermentação: como evitá-la. **Álcool e Açúcar**, v.2, n.5, p.12-18,1982.
- ANDRZEJEWSKI, B.; EGGLESTON, G.; LINGLE, S.; and 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**, Amsterdam, v. 44, p.77-87, 2013.
- AWIKA, J. M.; ROONEY, L. W.; WANISKA, R. D. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties.**Food Chemistry**, London; v. 90, n.1-2, p.293-301, 2004.
- AZEVEDO, M. S.; SANTOS, R. V. O; MAGALHÃES, T. V. Produção de etanol no Brasil. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, p. 151-154, 2012.
- BAYSAL, Z.; UYAR, F.; DOGRU, M.; ALKAN, H. Production of extracellular alkaline a amylase by solid state fermentation with a newly isolated *Bacillus sp.* **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v.38, n.2, p.184-190, 2008.
- BLADE ENERGY CROPS. Managing high biomass Sorghum: as a dedicated. **Energy Crop. California**, 2010. 23 p.
- BNDES; CGEE; FAO; CEPAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar Energia para o desenvolvimento Sustentável**. 2008. Disponível em:< <http://www.cgee.org.br/publicacoes/bietanol.php>>. Acesso em: 10 de out. de 2011.
- BORGES, I. D.; MENDES, A. A.; VIANA, E. J.; GUSMÃO, C. A. G.; RODRIGUES, H. F. F.; CARLOS, L. A. **Caracterização do caldo extraído dos colmos da cultivar 61 de sorgo sacarino BRS 506 (Sorghum bicolor L.)**. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, 28, Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo. p. 1010-1017, 2010.

BOYER, C. D.; LIU, K. C. Starch and watersoluble polysaccharides from sugary endosperm of sorghum. **Phytochemistry**, v. 22, p.2513-2515, 1983.

Bryan, W. L. **Solid state fermentation of sugars in sweet sorghum**. *Enzyme Microb. Technol.* V.12, p. 437-442, 1990.

CANAVIALIS. 2012. Disponível em: < <http://www.canavialis.com.br/produtos/sorgo-sacarino/index.aspx>> Acesso em 09 de abril de 2015.

CEMIG. **Companhia Energética de Minas Gerais**. 2012. Belo Horizonte: Cemig, 2012. 369: ilust. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Documents/Alternativas%20Energ%C3%A9ticas%20-%20Uma%20Visao%20Cemig.pdf> Acesso em 19 de jan. de 2014.

CEPEDA, E.; HERMOSA, M.; BALLESTEROS, A. Optimization of maltodextrin hydrolysis by glucoamylase in a batch reactor. **Biotechnology and Bioengineering**, v.76, p.70-76, 2001.

CERES. **Sorgo Sacarino tem vantagens que o diferenciam da cana de açúcar**. 2010. Disponível em: < <http://www.ceres.net/ceressementes/Etanol/Etanol-Vantagens.html>. Acesso em 10 de jan. de 2014.

CHAVAN, S. M.; KUMAR A.; JADHAV, S. J. Rapid quantitative analysis of starch in sugarcane juice. **International Sugar Journal**, v. 93, n.107, p. 56-59, 1991.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. – v. 1 – Brasília: Conab, 2013 - v.1. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em 10 de abr. de 2015.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo - **CONSECANA Manual de Instruções**. 5º ed. Piracicaba-SP, Consecana-SP. 112p, 2006.

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

COPERSUCAR. **Estudo sobre a implantação no Brasil de um sistema de pagamento de cana de açúcar e a qualidade**. São Paulo, 1978. 99 p.

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

CRABB, W. D.; MITCHINSON, C. Enzymes involved in the processing of starch to sugars. **Tibtech**, v.15, p.349-352, 1997.

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

DAMASCENO, C. M. B.; SOUSA, S. M.; NODA, R. W.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHAES, J. V. A importância da lignina para a produção de etanol de segunda geração. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2010. 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 108).

DEMARCHI, J. J. A. A.; BOIN, C.; BRAUN, G. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) para a produção de silagens de alta qualidade. **Zootecnia**, v. 33, n.3, p.111-136, 1995.

DICKO M. H.; GRUPPEN H.; TRAORE A. S.; VORAGEN A. G. J.; VAN BERKEL, W. J. H. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. **Biotechnology and Molecular Biology Review**, Victoria Island, v. 1, p. 21-38, 2006.

DINIZ, G. M. M. **Produção de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*): aspectos gerais**. Dissertação (Mestrado em Melhoramentos Genético de Plantas) – Recife – PE, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – UFRPE, 97p, 2010.

DORTA, C; OLIVA-NETO, P; ABREU-NETO, M. S; NICOLAU JUNIOR, N; NAGASHIMA, A. I. Synergism among lactic acid, sulfite, pH and ethanol in alcoholic fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* (PE-2 and M-26). **World Journal of Microbiology Biotechnology**, v. 22, p. 177–182, 2006.

DUODU, K. G.; TAYLOR, J. R. N.; BELTON, P. S.; HAMAKER, B. R. Factors affecting sorghum protein digestibility. **J. Cereal Sci.**, v. 38, p.117–131, 2003.

DURÃES. F. O. M. Agroenergia em revista Sorgo sacarino: tecnologia agrônômica e industrial para alimentos e energia. Sorgo sacarino: desenvolvimento de tecnologia agrônômica. **Agroenergia em revista**. Brasília: Embrapa, 3. ed. p. 7, 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.

Embrapa Milho e Sorgo. **BRS508. O sorgo sacarino com alto teor de açúcar no caldo**. 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68399/1/brs-508.pdf>>. Acesso em: 08 de mai. de 2014 a.

EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivares de sorgo para o mercado brasileiro na safra 2011/2012**. André May ... [et al.,]. -- Sete Lagoas, MG 2011.28 p. -- (Documentos /Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 117) b.

EMYGDIO, B. M. Produção de etanol a partir do sorgo sacarino. 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/20104/sorgo/index.htm>>. Acesso em 10 jan. 2014.

EMYGDIO B. M.; AFONSO, A. P. S; OLIVEIRA, A. C. B.; PARRELLA, R.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas. Embrapa Clima Temperado.** Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2011, 22 p.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal. Latitude: 21°14'05" S; Longitude: 48°17'09" W; Altitude: 615,01 m.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar.** Piracicaba-SP, 2000, 193p.

FERREIRA, A. S. **Influência do desponte de panículas de sorgo sacarino sobre a qualidade da matéria-prima e produção de bioetanol,** 2014. 58f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2014.

FOLIN, O, CIOCALTEU, V. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. **The journal of biological chemistry**, Bethesda, v. 73, p. 627-650, 1927.

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

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do sorgo. Jaboticabal:** Funep, 2009.

FREEMAN, J. E.; WATSON, S. A. Influence of sorghum endosperm pigments on starch quality. **Cereal Sci.**, v.16, p.378, 1971.

FREITA, A. L, COSTA, G. H. G., MASSON, I. S, FERREIRA, O. E.; MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Chemico-technological parameters and maturation curves of sweet sorghum genotypes for bioethanol production. **African Journal of Agricultural Research**, v.9, n.50, p.3638-3644, 2014.

FREITA, L. A. **Avaliação tecnológica e microbiológica da fermentação etanólica de caldo de sorgo sacarino.** 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2013.

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.

GALDINO, I. K. C. P. O; SILVA, H.; SILVA, F. L. H. Influência da adição de nutrientes na fermentação alcoólica do caldo de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.Moench) para produção de álcool etílico. **Biofar.** v. 09, n. 04, 2013

GANGADHARAN, D.; SIVARAMAKRISHNAN, S.; NAMPOOTHIRI, K. M.; SUKUMARAN, R. K.; PANDEY, A. Response surface methodology for the optimization of alpha amylase production by *Bacillus amyloliquefaciens*. **Bioresource Technology**, v.99, n.11, p.4597–4602, 2008.

GIACOMINI, I.; PEDROZA, M. M.; SIQUEIRA, F. L. T.; MELLO, S. Q. S.; CERQUEIRA, F. B.; SALLA, L. Uso potencial de sorgo sacarino para a produção de etanol no estado do Tocantins. **Revista Agrogeo ambiental**, Pouso Alegre: IFSULDEMINAS, v. 5, n. 3, 73-81, 2013.

GONÇALVES, L. C.; RODRIGUES, N. M.; NOGUEIRA, F. S.; BORGES, A. L. C. C.; ZAGO, C. P. Silagem de sorgo de porte baixo com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo. III – Quebra de compostos nitrogenados. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 51, n. 6, p. 571-576, 1999.

GUIYING, L.; WEIBIN, G.; HICKS, A.; CHAPMAN, K. R. Training manual for sweet shorgum regional office for Asia and the Pacific. Beijing; **Chinese Academic Sciences**, 2000.

GUPTA, R.; MOHAPATRA, H. ; GOSWAMI, V. K. ; CHAUHAN, B. **Microbial α -Amylases: a Biotechnological Perspective**. Process Biochemistry. p. 1-18. 2003.

HANSEN, M. R., BLENNOW, A., PEDERSEN, S., NORGAARD, L.; ENGELSEN, S. B. Gel texture and chain structure of amyloamylase-modified starches compared to gelatin. **Food Hydrocolloids**, v.22, n.8, p.1551-1566, 2008.

HARGER, C.; SPRADA, D. ; HIRATSUKA, E. **Amilase Fúngica**. In: Bioquímica das Fermentações, 56 p. 1982.

ICRISAT. **International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics**. 2009. Disponível em: <<http://www.icrisat.org/media/2004/media13.htm>>. Acesso em: mai. 2012.

JANSMAN, A. J. M. Tannins in feedstuffs for simple-stomached animals. **Nutrition Research Reviews**, n.6, p.209-236, 1993.

KASEMSUWAN, T.; JANE, J.; SHNABLE, P.; STINARD, P.; ROBERTSON, P. Characterization of the dominant mutant amylase-extender (Ac1-5180) maize starch. **Cereal Chemistry**, v.72, p.457- 463, 1995.

KENNEDY, J. F.; CABALDA, V. M.; WHITE, C. A. Enzymatic starch utilization and genetic engineering. **Trends in Biotechnology**, v.6, p.184-189, 1988.

KUNDIYANA, D. K. **“Sorganol®”: In-field production of ethanol from sweet sorghum**. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Estadual de Oklahoma, Oklahoma, 2006.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Cultivo do Sorgo: Clima. Embrapa Milho e Sorgo.** Sistemas de Produção, Versão Eletrônica - 4^a edição Set./2008. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/clima.htm. Acesso em 05 maio de 2013a.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Cultivo do Sorgo.** Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica Versão Eletrônica 4^a edição Set./2008. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_4_ed/clima.htm> Acesso e, 10 de abril de 2015b.

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.; WANG, H. Y. Rapid determination of yeast viability. In: **Biotechnology Bioengineering Symposium.** University of Michigan, United States. n.11, p.641-649.1981.

LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. In: LIMA, U. A. (Coord.) **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos.** São Paulo: Edgar Blucher, p.1 43. (Biotecnologia Industrial; v.3). 2001.

LNF. LNF Latino Americana. **Leveduras selecionadas.** 2013. Disponível em: <http://www.lnf.com.br/leveduras.html>. Acesso em: 01 jan. 2014.

MACKENZIEA, D. A.; JEENES, D. J.; GOU, X.; ARCHER, D. B. Molecular basis of glucoamylase over production by a mutagenised industrial strain of *Aspergillus niger*. **Enzyme and Microbial Technology**, v.26, p.193-200, 2000.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta de sorgo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46p. (Embrapa Milho e Sorgo - Circular Técnica, 3).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo.** Sete Lagoas: Embrapa, 2003. (Comunicado técnico, 87).

MAGALHÃES, R. T.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S.; FONSECA, J. F. Produção e composição bromatológica de vinte e cinco genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Arq.Bras.Med. Vet Zoo**, v, 62, p.747-751, 2010.

MAIORELLA, B.; BLANCH, H. W.; WILKE, C. R. By-product inhibition effects on ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. **Biotechnology and Bioengineering**, v.23, n.1, p.103-121, 1983.

MASSON, I. S. **Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar.** 2013. 49f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2013.

MAY, A.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; SILVA, A. F.; PEREIRA FILHO, I. A. Manejo e tratos culturais In: MAY, A.; DURÃES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 22-31, 2012.

MAY, A.; MENDES, S. M.; SILVA, D. D.; PARRELLA, R. A. C.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; PACHECO, T. F.; AQUINO, L. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; KARAM, D.; PARRELLA, N. N. L. D.; SCHAFFERT, R. E.. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (Circular Técnica, 186).

MENDEZ, M. D. C. Intoxicação por plantas cianogênicas, p. 279-284 In: RIET-CORREA, F., MENDEZ, M. D. C & SCHILD, A. L. **Intoxicação por plantas e micotoxicoses em animais domésticos**. Editorial Agropecuária Hemisfério sul do Brasil, Pelotas-RS, Brasil. 1993.

MENEZES, T. J. B. **Etanol, o combustível do Brasil**. São Paulo: Editora Agrônômica Ceres Ltda., p.141-178, 1980.

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

MONTANARI, R.; SOUZA, G. S. A.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JR. J.; SIQUEIRA, D. S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivario grams to plan soil sampling in sugarcane fields. *Precision Agriculture*, v. 35, n.5, p. 1-11, 2012.

MURRAY, S. C.; SHARM, A.; ROONEY, W. L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Genetic Improvement of Sorghum as a Biofuel Feedstock: I. QTL for Stem Sugar and Grain Nonstructural Carbohydrates. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 2165-2179, 2008.

MUTTON M. A.; FREITA, L. A.; MASSON, I. S.; ROVIERO, J. P.; STRACIERI, J.; PARRA, S. C. MARQUES. **Produção de biomassa e acúmulo de sólidos solúveis em três genótipos de sorgo sacarino**, 2013. Disponível em: <http://www.infobibos.com/agroenergia/cd/Resumos/ResumoAgroenergia_2013_044.pdf>. Acesso em 10 de abr. de 2015.

MUTTON, M. J. R. **Avaliação da fermentação etanólica do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) tratada com maturadores químicos**. 1998. 178 f. Tese (Livre-Docência), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 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:10 dez. 2014.

NASCIMENTO, D. Dublê da cana. *Idea News: Cana e indústria*. Ano.11, n. 136, 2012.

NUANPENG, S.; LAOPAIBOON, L.; SRINOPHAKUN, P.; KLANRIT, P.; JAISIL, P. and LAOPAIBOON, P. (2011). Ethanol production from sweet sorghum juice under very high gravity conditions: Batch, repeated-batch and scale up fermentation. **Electronic Journal of Biotechnology**, vol. 14, n. 1.

NUNES, C. D. M.; EMYGDIO, B. M.; EICHOLZ, E. D. **Avaliação de doenças em híbridos de sorgo granífero na safra 2013/2014. Disponível em:** <www.milho e sorgo.setrem.com.br/assets/uploads/.../6e0f3-Trab-granifero1.doc>. Acesso em 10 de abr. de 2015.

OLIVETTI, M. P. A.; CAMARGO, A. M. M. P. Aspectos econômicos e desenvolvimento da cultura de sorgo. **Informações econômicas**, São Paulo, v.7, n.1, 1997.

OWUAMA, C. I.; OKAFOR, N. Studies on mashing methods for beer brewing with sorghum. MIRCEN. **Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**, v.3, p.243-253, 1987.

PACHECO, T. **Índices tecnológicos industriais para produção de etanol de sorgo sacarino.** “Seminário temático agroindustrial de produção de sorgo sacarino para o bioetanol”. Embrapa Agroenergia. 2012.

PARRELLA, R. A. C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28) a.

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, 2010. Goiânia b.

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

PEIXOTO, S. C., JORGE, J. A., TERENCE, H. F., DE LOURDES, M., POLIZELI, T. M. *Rhizopus microsporus var. rhizopodiformis*: a thermotolerant fungus with potential for production of thermostable amylases. **Int. Microbiol.** v.6, p.269–273, 2003.

PIMENTA, G. G; OLIVEIRA, L. R. R. **Produção de etanol.** Faculdade de tecnologia de Montes Claros – FACIT. Minas Gerais, 2010.

QUEIROZ, V. A. V, MORAES, E. A.; SCHAFFERT, R. E.; MOREIRA, A. V, RIBEIRO, S.; MACHADO, R.; MARTINO, H. S. D. **Potencial funcional e tecnologia de processamento do sorgo [*sorghum bicolor (L.) moench*], para alimentação humana.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2012; v.10, n.3, p.180-195.

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

RAVANELI, G. C.; GARCIA, D. B.; MADALENO, L. L.; MUTTON, M.A, STUPIELLO, J. P.; MUTTON, M. J. R. Spittlebug impacts on sugarcane quality and ethanol production. **Pesq.agropec. bras.** [online]., v. 46, n. 2, p.120-129, 2011.

REDDY, B. V. S., RAMESH, S., REDDY, P. S., RAMAIAH, B., SALIMATH, P. M. & KACHAPUR, R. **Sweet sorghum – a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy**. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), 2005.

REEDY, B.V.S; REDDY, P. S. Sweet Sorghum: Characteristics and Potential. International Sorghum and Millets. **Newsletter. Índia**, v.44, p.26-28, 2003.

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

RIBAS, P. M . **Cultivo de sorgo: Importância econômica**.Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 3ª edição Set./2007. Disponível em: http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/importancia.htm. Acesso em: 10 de jan.de 2013.

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. **R. Bras. de Prod. Agroindus.** v.1, p.9- 16, 2008.

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

ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Sorghum. In: Lorenz, K.J., Kulp, K. (Eds.), **Handbook of Cereal Science and Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 247, 1991.

ROSSELL, C. E. V. Tecnologia Agroindustrial de Sorgo Sacarino. **Seminário Temático de Sorgo Sacarino**. EMBRAPA Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, 20 e 21 Setembro, 2011.

ROSTAGNO, H. S. Utilização do sorgo nas rações de aves e suínos. **Informe Agropecuário**, v.12, n.144, p.18-27, 1986.

RUTTO, L. K.; XU, Y.; BRANDT, M.; REN, S.; KERING, M. K. Juice, ethanol, and grain yield potential of five sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) cultivars. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v.3, p. 113-118, 2013.

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 bioethanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa. Sete Lagoas, Embrapa milho e sorgo, p.85-92, 2012.

SCHMIDELL, W.; LIMA, A. U.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biotechnologia Industrial**. São Paulo: E. Blücher, 2001. v. 2, 254 p.

SERNA-SALDIVAR, S. O.; PEREZ-CARRILLO.; E., CHUCK-HERNANDEZ, C. Elsevier. **Journal of Cereal Science.**, Vol. 50, p. 131–137, 2009.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, 2009. Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v.81, p.219-231, 2003.

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, P. M.; MAGALHÃES, P. O. Application of microbial amylase in industry – a review. **Brazilian journal of microbiology**, São Paulo, v.41, n.4, p. 850-861, 2010.

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

STUPIELLO, J. P. **O uso de processos enzimáticos**. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba, v. 29, n.1, p. 07, 2010.

SUBRAMANIAN, V.; HOSENEY, R. C.; BRAMELCOX, P. Factors affecting the color and appearance of sorghum starch. **Cereal Chemistry**, v.71, p.275-278, 1994.

SWANSTON, J. S.; RAO, N. S.; SUBRAMANIAN, V.; TAYLOR, K. The influence of some aspects of grain quality on malting potential in sorghum. **Journal of Cereal Science**, v.19, p.91-97, 1994.

TABOSA, J. N. R.; ODEMAR V.; NASCIMENTO, M. M. A. L.; SILVA J. M. P.; FILHO, F. G.; BRITO, J. G. S.; RODRIGUES, A. R. M. B., JOSÉ A. S. **O Sorgo Sacarino no Semi-Árido Brasileiro: elevada Produção de Biomassa e Rendimento de Caldo**. Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia- GO, 2010.

TAHMINA I.; CAPAREDA, S. Fermentation kinetic sand ethanol production from different sweet sorghum varieties. **Int J Agric&BiolEng**, v.4.n.3,p.33-40, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

TANIMOTO, T. The press method of cane analysis. **Hawaiian Planter's Record, Honolulu**, v. 57, n.2, p. 133-150, 1964.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINI, J. G.; NICOLELLA, G.; ZARON, M. H. Influência da época de corte sobre o teor de açúcares de colmos de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1601-1606, 1999.

UNICA. **Números finais da safra 2014/2015 e iniciais da nova safra 2015/2016. 2015**. Disponível em <<http://www.unica.com.br/noticia/27460993920325965467/numeros-finais-da-safra-2014-por-cento2F2015-e-iniciais-da-nova-safra-2015-por-cento2F2016/2015>>. Acesso em 10 abr. de 2015.

URIBE, R. A. M.; TICIANELI, LUCIAN C.S. Influência do estande na produtividade de sorgo sacarino. **Diálogos & Ciência**, v.34, p.10-12, 2014.

VALSECHI, O. **Aguardente de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1960.

WANG, Q.; WANG, X.; WANG, X.; MA, H. Glucoamylase production from food waste by *Aspergillus niger* under submerged fermentation. **Process Biochemistry**, v.43, n.3, p.280-286, 2008.

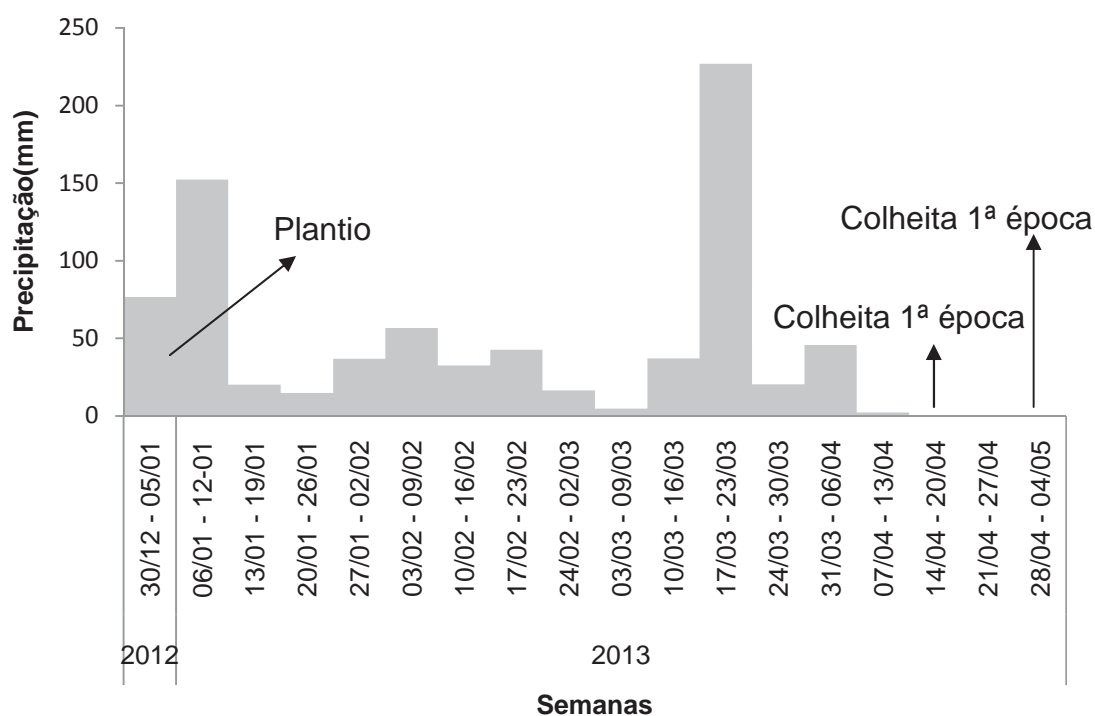
WANG, Y. J.; WHITE, P.; POLLAK, L.; JANE, J. Amylopectin and intermediate materials in starch from mutant genotypes of the Oh43 inbred line. **Cereal Chemistry**, v.70, p.521-525, 1993.

WU, X.; ZHAO, R.; BEAN, S. R.; SEIB, P. A.; MCLAREN, J. S.; MADL, R. L.; TUINSTRA, M.; LENZ, M. C.; WANG, D. Factors impacting ethanol production from grain sorghum in the dry-grind process. **Cereal Chemistry**, v.84, p.130–136, 2007.

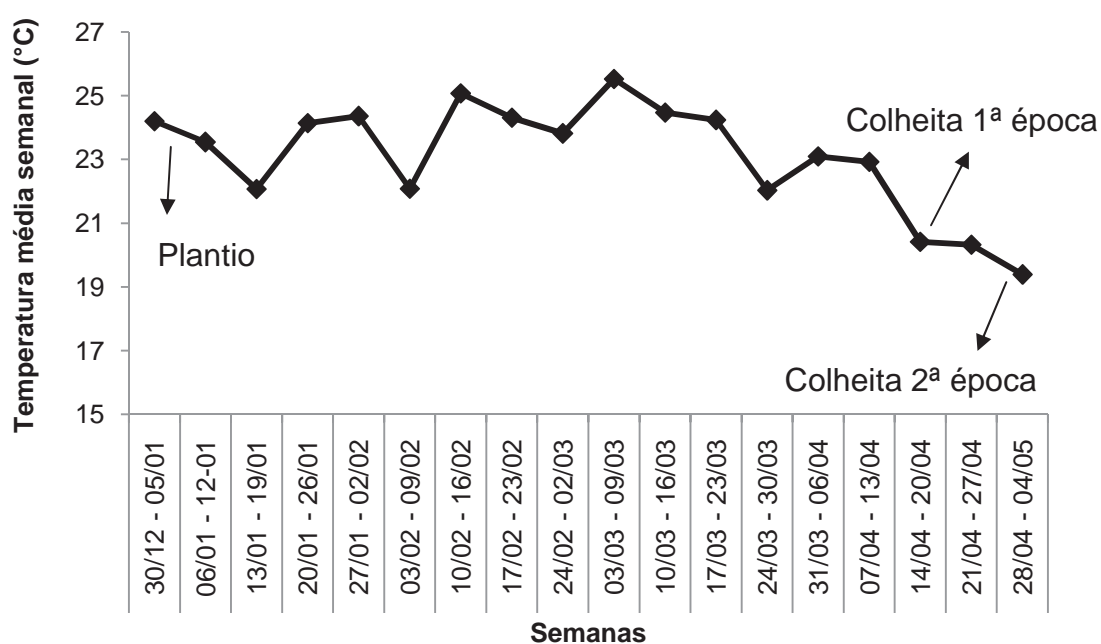
YOKOIA, F. **Problemas com contaminantes na fermentação alcoólica**. STAB, Piracicaba 1, n.1, :38-39. 1991.

ZHAN, X., WANG, D., BEAN, S.R., MO, X., SUN, X.S. Y BOYLE D. Ethanol production from supercritical–fluid–extrusion cooked sorghum. **Industrial Crops Products**, 23, 304–310, 2006.

ANEXOS



Anexo 01. Precipitação pluviométrica semanal (mm), durante o período de cultivo do sorgo sacarino. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal – SP (2012/2013).



Anexo 02. Temperatura média semanal (°C), durante o período de cultivo do sorgo sacarino. Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal-SP (2012/2013).

Anexo 03. Balanço Hídrico Climatológico Mensal para Jaboticabal-SP, durante o período de cultivo do sorgo sacarino (Ano de 2013).

Mês	ETP	P	ARM	ETR	DEF	EXC
	Mm					
Janeiro	120	384	100	120	0	264
Fevereiro	109	145	100	109	0	36
Março	110	142	100	110	0	31
Abril	81	66	87	80	1	0
Maio	69	93	100	69	0	11

*Balanço hídrico climatológico de Jaboticabal no ano de 2013 (CAD = 100 mm). CAD-Capacidade de armazenamento de água no solo; ETP- Evapotranspiração potencial; P-Precipitação; ARM-Armacenamento; ETR- Evapotranspiração Real; DEF-Deficiência; EXC-Excedente.

Fonte: Estação Agroclimatológica Departamento de Ciências Exatas da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal-SP.

Anexo 04. Caracterização do mosto padronizado para fermentação de sorgo sacarino, para os genótipos CV147, CV198 e BRS508, colhidos com e sem panícula. Jaboticabal-SP/ Safra 2013-2014.

	Brix	ART (%)	pH	Acidez (g.L ⁻¹ H ₂ SO ₄)	Amido (mg/L ⁻¹)	Compostos Fenólicos Totais (%)
Genótipo (G)	5,25**	0,85ns	1,58ns	0,60ns	4,51*	6,49**
CV147 Sem Panícula	15,1B	12,23A	4,4A	1,52A	366AB	492A
CV147 Com Panícula	15,1B	12,73A	4,4A	1,57A	297B	290B
CV198 Sem Panícula	15,8A	12,99A	4,4A	1,42A	503AB	262B
CV198 Com Panícula	15,6AB	14,62A	4,4A	1,47A	526AB	384AB
BRS508 Sem Panícula	15,6AB	14,40A	4,4A	1,47A	699A	336B
BRS508 Com Panícula	15,8A	12,57	4,4A	1,45A	248B	319B
DMS	0,62	6,36	0,14	0,31	363,66	147,55
CV	3,50	41,28	2,82	18,46	27,32	36,97

**significativo ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01); *significativo ao nível de 5% de probabilidade (0,01=<p<0,05); ns não significativo (p>=0,05). Letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey. D.M.S = desvio mínimo significativo. C.V = coeficiente de variação.