

Produção de bioetanol a partir da fermentação de caldo de sorgo sacarino e cana-de-açúcar

Bioethanol production from sweet sorghum broth and sugar cane fermentation

Igor dos Santos Masson^{1*} Gustavo Henrique Gravatim Costa¹ Juliana Pelegrini Roviero¹
Lidyane Aline de Freitas¹ Miguel Angelo Mutton¹ Márcia Justino Rossini Mutton¹

RESUMO

Os biocombustíveis apresentam-se com grande importância para suprir a demanda global de energia. São produzidos a partir de biomassa vegetal, emitem menor quantidade de dióxido de carbono e de partículas poluentes ao ambiente quando utilizados e possuem grande vantagem por serem combustíveis renováveis. Entre as matérias-primas com potencial para produção de etanol, cita-se o sorgo sacarino. Objetivou-se comparar o processamento industrial do genótipo de sorgo sacarino CVSW80007 e da cultivar de cana-de-açúcar 'RB966928' para produção de bioetanol em início de safra. As análises realizadas foram: brix; pH, ART, AR, acidez total, ARRT, glicerol, teor alcoólico, viabilidade celular, viabilidade de brotos e brotamentos. Quanto às características químico-tecnológicas, as matérias-primas apresentaram-se aptas ao processamento industrial, com índices superiores para a cana-de-açúcar. O desenvolvimento das fermentações ocorreu de forma adequada para ambas, sendo que o mosto fermentado (vinho), produzido a partir do mosto de cana-de-açúcar, apresentou maior teor alcoólico e rendimento fermentativo.

Palavras-chave: matéria-prima, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Saccharum* spp., leveduras, biomassa vegetal.

ABSTRACT

Biofuels have great importance to supply the global energy demand. These fuels are produced from plant biomass, emit less carbon dioxide and particulate pollutants to the environment when used and have great advantage of being renewable fuels. Among the raw materials with potential for ethanol production, is cited sweet sorghum. This study aimed to compare industrial processing of genotype sorghum CVSW80007 and the cultivar sugar cane 'RB966928' for bioethanol production in early season. The analyzes performed were: brix, pH, ART, AR, total acidity, ARRT, glycerol, alcohol content, cell viability, shoots viability and buds. Regarding the chemical-technological characteristics, raw mate-

rials were suitable for industrial processing, with higher rates for sugar cane. The development of fermentations occurred appropriately for both, and the fermented must (wine) produced from the must of sugar cane had higher alcohol content and fermentation yield.

Key words: raw material, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, *Saccharum* spp., yeast, biomass.

INTRODUÇÃO

O sistema energético mundial deve ser sustentável, renovável, rentável e seguro. O uso de petróleo representa 37% do consumo da energia mundial (KUNDIYANA, 2006). De sua queima, são emitidos gases, como o dióxido de carbono, que promovem e/ou contribuem de modo significativo para as alterações climáticas globais (GNANSOUNOU & DAURIAT 2005).

A utilização de novas formas de energias que atendam às exigências ambientais e econômicas, assegurando um desenvolvimento energético mundial sustentável, é imprescindível (KUNDIYANA, 2006).

Nesse cenário, observa-se a importância do uso de biocombustíveis para suprir a demanda global de energia. Além de serem produzidos a partir de biomassa vegetal, emitem menores quantidades de dióxido de carbono e de partículas poluentes ao ambiente quando utilizados e possuem grande vantagem por serem combustíveis renováveis.

O Brasil destaca-se como maior produtor mundial de bioetanol a partir da cana-de-açúcar. Entretanto, avaliando-se as perspectivas de expansão

¹Departamento de Tecnologia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), 14884-900, Jaboticabal, SP, Brasil. E-mail: igor_smasson@yahoo.com.br. *Autor para correspondência.

¹Departamento de Produção Vegetal – Fitotecnia, FCAV, UNESP, Jaboticabal, SP, Brasil.

do mercado interno e externo, verifica-se que a produção de 27 bilhões de litros de etanol, na safra de 2013/2014, deverá ser ampliada para 65,3 bilhões de litros na safra de 2020/2021, representando 15% da matriz energética brasileira (CONAB, 2013).

Sob essa óptica, verifica-se a importância do conhecimento e do domínio de matrizes (espécies vegetais) energéticas que apresentem elevada eficiência e rendimento agroindustrial. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos com culturas alternativas, que possam suprir o setor industrial com matérias-primas adequadas, inclusive ampliando o período de processamento industrial, com custos e eficiências compatíveis com o mercado (EMBRAPA, 2012).

O sorgo sacarino é uma cultura que apresenta potencial para utilização, na produção de bioetanol, em complementação com a cana-de-açúcar. Suas principais características residem na eficiência do uso de água, equivalendo a 1/3 da quantidade utilizada pela cana-de-açúcar e 1/2 do milho (REDDY et al., 2005), além do bom desenvolvimento em diferentes climas e solos (DUTRA et al., 2011).

O processamento industrial do sorgo sacarino é realizado de forma similar ao da cana-de-açúcar, sendo necessários pequenos ajustes operacionais, como no processo de extração, moagem e clarificação de caldo. O etanol é produzido por fermentação direta do caldo, utilizando a mesma infraestrutura da indústria canavieira (SRINIVASA RAO et al., 2009).

A presente pesquisa foi desenvolvida objetivando avaliar o comportamento de duas matérias-primas (sorgo sacarino e cana-de-açúcar), colhidas em final de verão (abril) e antecipando o início da safra sobre o desenvolvimento da microbiota fermentativa e o rendimento do processo de produção de etanol.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na área experimental do departamento de produção vegetal da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, na safra de 2011/2012. O plantio do genótipo de sorgo sacarino (CVSW80007) foi realizado com espaçamento combinado de 90 x 70cm entre as linhas, em área total de 1.000m². Aos 15 dias após a semeadura, realizou-se o desbaste, mantendo-se 10 plantas metro⁻¹, resultando num estande final de 120.000 plantas ha⁻¹. Na adubação de plantio, empregaram-se 20+100+100kg ha⁻¹ de N+P₂O₅+K₂O.

Utilizou-se de capinas manuais para evitar plantas daninhas. Para o controle das pragas de solos, aplicaram-se, no sulco de plantio, Tiametoxan+Lambda-Cialotrina na dosagem de 142mL ha⁻¹, através de

pulverização. Para o controle da lagarta de cartucho, 30 e 45 dias após o plantio, realizou-se a pulverização da parte aérea com Tiametoxan+Lambda-Cialotrina, na dosagem de 150mL ha⁻¹. Foi feita adubação de cobertura com 40+10+40kg ha⁻¹ de N+P₂O₅+K₂O, aos 30 dias após a semeadura.

O genótipo de sorgo empregado caracteriza-se por adaptar-se a diferentes períodos de produção, isoladamente ou em conjunto com a cana. Pode ser utilizado na entressafra da cana, em início tardio da moagem de cana e em complemento de matéria-prima. Proporciona excelente relação custo-benefício e melhor adaptabilidade a diversos ambientes. Em ambientes favoráveis, pode ser colhido a partir dos 100 dias após o plantio (CANAVIALIS, 2013).

A cultivar de cana-de-açúcar empregada foi a 'RB966928', multiplicada no município de Jaboticabal-SP. Nessa área, a colheita mecanizada (1º corte) foi realizada sem queima prévia, em abril de 2011, sendo cultivada em espaçamento de 1,5 metros entre linhas, tendo sido adubada com 120-30-120kg ha⁻¹ de N+P₂O₅+K₂O. Para o controle das plantas daninhas, utilizou-se de hexazinona+diuron (230g+1.800g ha⁻¹), não sendo realizado nenhum outro controle fitossanitário. Em abril de 2012 (2º corte), procedeu-se à colheita manual dos colmos para a instalação do ensaio.

Segundo a RIDESA (2010), a RB966928 apresenta produtividade agrícola elevada, teor médio de sacarose, PUI médio e maturação precoce a média. Recomenda-se plantio em ambiente de produção de médio a alto potencial, com colheita no início a meio de safra. A brotação em cana-planta e em soqueiras é muito boa, com alto perfilhamento e com excelente fechamento de entrelinhas.

Para a amostragem, foram coletados, manualmente, 30 colmos de sorgo seguidos na linha, aos 125 dias após a semeadura, dos quais foram retiradas folhas e palha. Este material, juntamente com os colmos de cana, foi encaminhado ao laboratório de açúcar e álcool – FCAV/UNESP, onde se submeteu à extração do caldo, através de moenda.

Avaliou-se a qualidade dos caldos pela determinação das seguintes características químico-tecnológicas: brix (teor de sólidos solúveis) (ICUMSA, 2011); pH por leitura direta em medidor digital, com correção de temperatura; açúcares redutores (AR) (MILLER, 1959) e acidez total (CTC, 2005).

O caldo extraído foi submetido à clarificação por defecação simples, que consiste em um processo para remoção de impurezas, sendo este realizado da seguinte maneira: primeiramente, eleva-se o pH do caldo até 6,0±0,1, através da adição de

hidróxido de cálcio P.A. $0,76\text{mol L}^{-1}$, pois o cálcio adicionado reage com o fósforo presente, formando fosfatos de cálcio, que precipitam e adsorvem outros compostos, como ácidos. Deve-se ressaltar que o aquecimento até o ponto de ebulição acelera a reação entre os compostos, além de desnaturar proteínas e remover gases diluídos no caldo.

A seguir, procedeu-se ao aquecimento desta mistura até $100\text{-}105^\circ\text{C}$, dispondo-se em provetas, permanecendo em repouso por 20 minutos. Após esse período, o caldo foi filtrado em papel de filtro qualitativo de $14\mu\text{m}$, para separação de impurezas sedimentadas do caldo clarificado.

O caldo clarificado foi padronizado para 16 brix, o pH corrigido com ácido sulfúrico até 4,5 ($\pm 0,3$) e a temperatura até 30°C , resultando no mosto. Avaliou-se nos mostos o teor de açúcares redutores totais (ART) (ICUMSA, 2011).

Alíquotas de 250mL de mosto foram inoculadas com as leveduras fermentadoras (estirpe FT858), em concentração de 30g L^{-1} , sendo os frascos mantidos a $30\pm 1^\circ\text{C}$ em estufa do tipo B.O.D. durante toda a fermentação. A condução da fermentação foi realizada pelo processo em bateladas, com a recuperação do fermento por centrifugação.

O processo fermentativo foi monitorado pela redução do brix, com auxílio de densímetro, a cada 4 horas. As fermentações foram divididas em três etapas: pé-de-cuba, início e final. O pé-de-cuba consiste nas leveduras empregadas na fermentação; o início da fermentação foi fixado em 1 hora após inoculação, mosto+leveduras, e o final do processo, estabelecido quando o brix apresentava valores inferiores a 1 ou próximos de zero, em intervalos de 30 minutos. Nessas etapas, foram retiradas alíquotas para a realização das análises microbiológicas.

Foram realizadas contagens de viabilidade celular, viabilidade de brotos e brotamentos através de câmara de Neubauer (LEE et al., 1981). O tempo médio de fermentação neste experimento, em ambas as matérias-primas, cana-de-açúcar e sorgo sacarino, foi de 10 horas.

No mosto fermentado (vinho), foram determinados: açúcares redutores residuais totais (LANE & EYNON, 1934); glicerol (COPERSUCAR,

2001); e teor alcoólico, através de leitura em ebuliômetro. O rendimento fermentativo foi obtido através do cálculo, seguindo a relação álcool produzido (álcool teórico $\times 100$)⁻¹, sendo o álcool teórico calculado, considerando que 100g de ART produz $64,75\text{mL}$ de etanol, com base em equação estequiométrica.

O delineamento experimental na fase agrícola foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos (sorgo sacarino e cana-de-açúcar). No processo fermentativo, empregou-se o inteiramente casualizado num esquema de parcelas subdivididas, com dois tratamentos principais (cana-de-açúcar e sorgo sacarino) e três tratamentos secundários (tempo de amostragem das fermentações no pé-de-cuba, início e final do processo), com quatro repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), teste de comparação de médias (Tukey a 5%), empregando-se o programa AgroEstat (BARBOSA & MALDONADO, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químico-tecnológicas estão apresentados na tabela 1. Os parâmetros brix, pH, AR, ART e acidez diferiram entre os tratamentos cana e sorgo. Ambos apresentavam valores de brix superiores a 15% e pH na faixa de 4,8 a 5,5, valores recomendados para o processamento. Mesmo com diferença estatística, os valores de pH estão conforme o processo fermentativo, pois valores entre 4,5 a 6,5 favorecem o crescimento e desenvolvimento das leveduras (AMORIM, 2005).

Comparando os resultados de brix e pH do caldo extraído da cana-de-açúcar e do sorgo sacarino, verificaram-se resultados ligeiramente superiores na cana.

O sorgo sacarino apresentou teor de açúcares redutores (AR) que pode ser considerado elevado, quando comparado ao valor obtido para a cana. Os resultados obtidos nesta pesquisa são semelhantes aos relatados por TEIXEIRA et al. (1997), que obtiveram valores entre 4,16 e 8,27% de AR em sorgo.

Os açúcares redutores presentes no sorgo, de acordo com EMBRAPA (2012), ocorrem em ampla faixa de variação (1 a 3%), em função do genótipo e da fase de desenvolvimento da planta.

Tabela 1 - Valores médios e resultados da análise de variância para brix, pH, AR (açúcares redutores), ART (açúcares redutores totais) e acidez do caldo extraído de cana-de-açúcar e sorgo sacarino.

| Tratamentos | Brix (%) | pH | AR (%) | ART (%) | Acidez ($\text{g L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$) |
|-------------------|----------|--------|--------|---------|----------------------------------------------------|
| 1. Cana-de-açúcar | 21,20 A | 5,20 A | 0,96 B | 17,30 A | 1,06 B |
| 2. Sorgo sacarino | 19,23 B | 4,86 B | 3,34 A | 15,20 B | 1,71 A |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam valores na coluna.

Estes são utilizados em várias reações metabólicas e também como fonte de energia. Durante os estágios de desenvolvimento de sorgo, há relatos de redução nos teores de açúcares redutores, quando a planta se encontra na fase da maturação fisiológica das sementes (CHANNAPPAGOUDAR et al., 2007).

A cultivar de cana 'RB966928' apresentou valores de 0,96% de açúcares redutores, sendo recomendado valor inferior a 0,8% para o processamento (AMORIM, 2005), indicando que nesta época a cultivar não se encontrava com elevada maturação.

A cana-de-açúcar apresentou teores de açúcares redutores totais (ART) significativamente maiores que os do sorgo sacarino (Tabela 1). Resultados semelhantes aos de sorgo sacarino foram relatados por ALMODARES & HADI (2009), com valores na faixa de 12-17%, sendo que ALMODARES et al. (2008) obtiveram resultados de 4,2 - 15,2% de açúcares redutores totais.

Considerando-se o processamento industrial, sabe-se que os teores de açúcares redutores totais (ART) são determinantes para a obtenção de elevado rendimento e produtividade. Nesse sentido, comparando-se as matérias-primas, observa-se que ambas apresentaram valores de ART do caldo superiores a 15%, considerados dentro de padrões aceitáveis e ideais de processamento industrial da cana-de-açúcar (AMORIM, 2005).

Segundo SCHAFFERT & PARRELLA (2012), para a produção econômica e sustentável de etanol a partir do sorgo sacarino, é necessário, no mínimo, 12,5% de ART, valor este que é utilizado para se estabelecer o PUI (Período Útil de Industrialização). Nesse contexto, observa-se que o genótipo de sorgo (CVSW80007) apresentou-se adequado ao processamento.

Segundo SOUZA (2011), o período de utilização industrial do sorgo sacarino pode variar entre os genótipos, em vista da curva de acumulação dos açúcares, o que pode definir genótipos com maior ou menor potencial de processamento.

Analisando-se os resultados obtidos para a acidez sulfúrica do caldo (Tabela 1), observa-se que o tratamento cana apresentou valor maior que o recomendado. Segundo RIPOLI & RIPOLI (2009), a acidez sulfúrica do caldo é um parâmetro de qualidade da matéria-prima, devendo apresentar valores inferiores a $0,8 \text{ g L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$. Neste caso, valores superiores podem indicar a presença de fatores prejudiciais à qualidade da cana, como agentes contaminantes e/ou deterioração. A acidez do mosto de sorgo encontrada corrobora as informações de BISIO & BULANTI (2012), que indicaram teores de $1,69 \text{ g L}^{-1} \text{ H}_2\text{SO}_4$ de acidez para caldo extraído da variedade M81.

O comportamento fisiológico apresentado pelas leveduras submetidas aos dois substratos indicou maior quantidade de células vivas e brotamentos para o mosto de cana-de-açúcar, enquanto a viabilidade de brotos não apresentou diferença significativa (Tabela 2). Segundo OKOLO et al. (1987), a porcentagem de células e brotos viáveis durante a fermentação é importante para a manutenção da população de leveduras. Assim, seu monitoramento é imprescindível, pois, além de moléculas indesejadas presentes na matéria-prima, compostos tóxicos para as leveduras, que são produzidos durante a fermentação, podem acumular-se no fermento, resultando em redução de viabilidade e eficiência industrial.

Durante as fases da fermentação, observou-se diferença significativa apenas para os índices de brotamentos, que apresentaram incrementos do início para o final do processo, independentemente da matéria-prima utilizada. Considerando-se que as leveduras são reutilizadas em ciclos fermentativos posteriores, é de extrema importância a presença de células e brotos viáveis ao final da fermentação, para que a porcentagem de fermento adequada seja mantida na dorna (AMORIM et al., 1996).

A fermentação realizada resultou em um vinho com teor alcoólico significativamente maior e teor de açúcares redutores residuais significativamente menor no mosto de cana (Tabela 3), evidenciando

Tabela 2 - Valores médios e resultados da análise de variância para viabilidade celular, viabilidade de brotos e brotamentos da levedura no processo fermentativo de cana-de-açúcar e sorgo sacarino.

| Tratamentos | Viabilidade Celular (%) | Viabilidade de Brotos (%) | Brotamentos (%) |
|-------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1. Cana-de-açúcar | 92,36 A | 95,59 A | 14,46 A |
| 2. Sorgo sacarino | 89,48 B | 93,33 A | 6,84 B |
| 1. Pé-de-Cuba | 90,48 a | 92,33 a | 4,38 b |
| 2. Início | 90,91 a | 92,21 a | 3,86 b |
| 3. Final | 91,37 a | 98,85 a | 23,72 a |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas na coluna comparam médias entre as matérias-primas, e letras minúsculas comparam médias de tempo de amostragem no processo fermentativo.

Tabela 3 - Valores médios e resultados da análise de variância para teor alcoólico, glicerol, ARRT (açúcares redutores residuais totais) e rendimento alcoólico do mosto fermentado (vinho) de cana-de-açúcar e sorgo sacarino.

| Tratamento | Teor alcoólico (%) | Glicerol (mg 100mL ⁻¹) | ARRT (%) | Rendimento (%) |
|-------------------|--------------------|------------------------------------|----------|----------------|
| 1. Cana-de-açúcar | 7,32 A | 17,63 A | 0,06 B | 87,51 A |
| 2. Sorgo sacarino | 6,33 B | 18,29 A | 0,09 A | 81,38 B |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey. Letras maiúsculas comparam valores na coluna.

melhor consumo dos açúcares pelas leveduras nessa matéria-prima. RIBEIRO FILHO et al. (2008) observaram 5,9% de etanol a partir do processamento de sorgo, sendo que, para cana-de-açúcar, MENEGUETTI et al. (2010) informaram valores na faixa de 7-10%. Assim, os resultados obtidos são comparáveis aos relatados na literatura.

O glicerol é um composto secundário, que se forma na mesma via do etanol, e é inversamente proporcional à sua produção. Portanto, o ideal de uma fermentação é a menor produção possível de glicerol (AMORIM et al., 1996).

Os valores de glicerol do mosto fermentado (vinho) (Tabela 3) não apresentaram diferenças significativas para as matérias-primas estudadas, com valores considerados normais no processo fermentativo. GARCIA (2009) relata médias de 10,98mg 100mL⁻¹ de glicerol em mosto fermentado (vinho), decorrente de mosto de cana-de-açúcar. Na biossíntese do glicerol, vários fatores influenciam, como a linhagem da levedura utilizada, a temperatura, a concentração do substrato, o estresse osmótico e o pH, na produção pela levedura, no processo fermentativo (AMARAL, 2009; BEROVIC et al., 2006).

As médias observadas para o rendimento fermentativo foram significativamente maiores para a cana-de-açúcar (Tabela 3), da ordem de 7,5% superiores aos do sorgo sacarino. No processo industrial, o rendimento fermentativo adequado atinge de 90 a 92% do rendimento estequiométrico ao decorrer do ano produtivo, mas, em início de safra, obtêm-se menores valores, até que ocorra estabilização da produção, atingindo os melhores rendimentos. O consumo de açúcar destina-se à formação de biomassa celular e de subprodutos (LIMA et al., 2001).

DAVILA-GOMEZ et al. (2011), em estudo de fermentação com caldo de cinco genótipos de sorgo sacarino, obtiveram eficiência fermentativa variando de 79,99 a 89,75%, enquanto RATNAVATHI et al. (2010) obtiveram valores de eficiência fermentativa na faixa de 86,5 a 94,7% para sorgo sacarino, utilizando leveduras *Saccharomyces cerevisiae* CFTR 01. Os resultados obtidos no presente estudo foram semelhantes aos relatados na literatura. Uma vez que diversos

fatores influenciam na eficiência fermentativa, como qualidade da matéria-prima, temperatura, pH, estirpes de leveduras, entre outros, busca-se maior eficiência, a fim de obter melhores resultados industriais.

CONCLUSÃO

O sorgo sacarino (CVSW80007) apresenta teores de brix, pH e ART que, apesar de adequados para o processamento industrial, foram menores que os da cana-de-açúcar (RB966928) colhida em abril. As análises da microbiota fermentativa indicam maiores porcentagens de viabilidade celular e brotamentos nos substratos oriundos da cana-de-açúcar. A fermentação de mosto de cana-de-açúcar apresentou maior teor alcoólico e rendimento.

O sorgo sacarino (CVSW80007), de modo geral, apresentou resultados inferiores aos da cana-de-açúcar (RB966928), porém podem ser considerados potencialmente satisfatórios para processamento em abril, objetivando a produção de bioetanol, possibilitando a redução do período de entressafra canavieira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas de estudos. À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV)/Universidade Estadual Paulista (UNESP) e ao Laboratório de Tecnologia do Açúcar do Álcool por possibilitarem a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALMODARES, A.; HADI, M.R. Production of bioethanol from sweet sorghum: a review. **African Journal of Agricultural Research**, África, v.4, n.9, p.772-780, 2009. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJAR>. Acesso em: 20 out. 2011.
- ALMODARES, A. et al. Stalk yield and carbohydrate composition of sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars and lines at different growth stages. **Malasian Applied Biology Journal**, Bangi, v.37, n.11, p.31-36, 2008.
- AMARAL, F.S. **Influência conjunta do pH, temperatura e concentração de sulfito na fermentação alcoólica de mostos de sacarose**. 2009. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

- AMORIM, H.V. et al. **Processos de produção de álcool–controle e monitoramento**. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996. 93p.
- AMORIM, H.V. de. **Fermentação alcoólica, ciência & tecnologia**. Piracicaba: Fermentec, 2005. 448p.
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JR., W. **AgroEstat - Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônomicos**, Versão 1.1.0.626. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2011.
- BEROVIC, M.; PIVEC, A. et al. Influence of heat shock on glycerol production in alcohol fermentation. **Journal Bioscience and Bioengineering**, Osako, v.103, m.2, p.135-139, 2006.
- BISIO, W.; BULANTI, L. SORGO DULCE industrialización. In: WORKSHOP INTERNACIONAL AGROINDUSTRIAL SOBRE SORGO SACARINO, 2012, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: APLA, 2012. 27p.
- CANAVIALIS. **Híbridos de sorgo sacarino**, 2013. Disponível em: <<http://www.canavialis.com.br/produtos/sorgo-sacarino/hibridos-sorgo-sacarino.aspx>>. Acesso em: 10 jun. 2013.
- CHANNAPPAGODAR, B.B. Assessment of sweet sorghum genotypes for cane yield, juice characters and sugar levels. **Karnataka Journal of Agricultural Sciences**, Bangalore, v.20, n.2, p.294, 2007.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **2º levantamento cana-de-açúcar safra 2013/2014** – Ago/2013. Online. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2013.
- COPERSUCAR. **Manual de controle químico da fabricação de açúcar**. Piracicaba, 2001. 1 CD-ROM.
- CTC. **Manual de métodos de análises para açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, Laboratório de análises, 2005. 1 CD-ROM.
- DAVILA-GOMEZ, F.J. et al. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.33, n.3, p.611-616, 2011.
- DUTRA, E.D. et al. Produção de etanol a partir do mosto do colmo de diferentes cultivares de sorgo sacarino em Pernambuco. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 18., 2011, Caxias do SUL, RS. **Anais...** Caxias do Sul/RS: SINAIFERM, 2011. 6p.
- EMBRAPA. **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol sistema BRS1G – tecnologia qualidade Embrapa**, 2012. Online. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/938275>>. Acesso em: 17 ago. 2013.
- GARCIA, D.B. **Danos causados por Mahanarva Fimbriolata (Stål, 1854) na qualidade da cana e processo fermentativo**. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.
- GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. Ethanol fuel from biomass: a review. **Journal of Scientific and Industrial Research**, Nova Deli, v.64, p.809-821, 2005. Disponível em: <<http://nopr.niscair.res.in/handle/123456789/4983>>. Acesso em: 11 jan. 2013.
- ICUMSA (INTERNATIONAL COMMISSION FOR UNIFORM METHODS OF SUGAR ANALYSIS) 2011. **Method book**. Berlin, Germany: Bartens, 2011. 128p.
- KUNDIYANA, D.K. “**Sorganol®**”: in-field production of ethanol from sweet sorghum. 2006. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Curso de Pós-graduação em Ciências, Universidade Estadual de Oklahoma.
- LANE, J.H.; EYNON, L. **Determination of reducing sugars by Fehling solution with methylene blue indicator**. London: Norman Rodger, 1934. 8p.
- LEE, S.S. et al. Rapid determination of yeast viability. In: BIOTECHNOLOGY BIOENGINEERING SYMPOSIUM, 2981, United States. **Proceedings...** United States: University of Michigan, 1981. N.11, p.641-649.
- LIMA, U.A. et al. **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. V.3, p.1-43.
- MENEGUETTI, C.C. et al. Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 4., 2010, Campo Mourão, PR. **Anais...** Campo Mourão: FECILCAM, 2010. 9p.
- MILLER, G.L. Use of de dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, n.3, p.426-428, 1959.
- OKOLO, B. et al. Toxicity of ethanol, n-butanol and iso-amyl alcohol in *Sacch. cerevisiae* when supplied separately and in mixtures. **Biotechnology Letters**, Kew, v.9, n.6, p.431-434, 1987.
- RATNAVATHI, C.V. et al. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. **Biomass and Bioenergy**, Kidlington, v.34, n.7, p.947-952, 2010.
- REDDY, B.V.S. et al. Sweet sorghum- a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy. **Sorghum Millets Newslett**, Patancheru, India, v.46, p.79-86, 2005.
- RIBEIRO FILHO, N.M. et al. Aproveitamento do caldo do sorgo sacarino para produção de aguardente. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.10, n.1, p.9-16, 2008. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev101/Art1012.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- RIDESA (REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO). Liberação nacional de novas variedades “RB” de cana-de-açúcar. **Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro**. Curitiba, Paraná, 2010. 64f. Disponível em: <<http://pmgca.dbv.cca.ufscar.br/htm/downloads.php>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2.ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2009. 333p.
- SCHAFFERT, R.E.; PARRELLA, R.A.C. Planejamento industrial. In: MAY, A. (Ed.). **Sistema embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-tecnologia qualidade embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. p.85-92.
- SOUZA, V.F. **Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de sorgo sacarino**. 2011. 63f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.
- SRINIVASA RAO, P. et al. **Sweet sorghum for biofuel and strategies for its improvement**. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2009. 80p. (Boletim Técnico, 77).
- TEIXEIRA, C.G. et al. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para a obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.17, n.3, p.221-229, 1997. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scieloOrg/php/articleXML.php?pid=S0101-0611997000300011&lang=en>>. Acesso em: 03 jan. 2013. doi: 10.1590/S0101-20611997000300011.