



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

CONCENTRAÇÃO DOS TEORES DE FÓSFORO NO CALDO DE SORGO SACARINO DURANTE O PERÍODO DE MATURAÇÃO

BRAGA^{*1}, T.G.; FERNANDES², G.; CARDOSO³, V.L. ; RESENDE³, M.M.

¹Aluno da FEQ/UFU ²Doutoranda da FEQ/UFU ³Professor da FEQ/UFU
Faculdade de Engenharia Química - Universidade Federal de Uberlândia
Av. João Naves de Ávila 2121, Bloco 1K – Campus Santa Mônica – Uberlândia – MG
email: vicelma@feq.ufu.br

RESUMO - Com a industrialização e o crescimento da economia os problemas ambientais tomaram maiores proporções, principalmente devido às emissões de gases pela queima de combustíveis fósseis, essenciais à vida humana. Frente a isso, tomam vigor pesquisas por meios alternativos de energia, dentre eles os biocombustíveis. O sorgo sacarino é uma cultura de destaque para a produção de bioetanol, pois possui teores de açúcares totais nos colmos semelhantes aos da cana-de-açúcar. Alguns nutrientes exercem papel determinante no processo fermentativo, sendo o fósforo um deles. Este nutriente participa do processo de absorção de carboidrato e conversão deste em etanol, sendo sua concentração um bom parâmetro de análise do rendimento do processo fermentativo. Para todas as variedades estudadas, a concentração de fósforo no caldo diminuiu durante o período avaliado. Maiores teores foram obtidos para a cultivar BR508 com teor máximo de fósforo de 56 ppm, com 77 dias após o plantio, e ao final do ciclo, com 147 dias, obteve-se 32 ppm. Todas as variedades apresentaram teores de fósforo em seu caldo inferior aos teores encontrados em caldo de cana.

Palavras chave: biocombustível, etanol, sorgo sacarino

INTRODUÇÃO

Na atualidade, a sustentabilidade é um desafio para a indústria e a agricultura. Neste aspecto, deve-se fomentar a produção de artigos biodegradáveis, vindos de fontes renováveis e limpas.

Os biocombustíveis surgem como uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis, que são responsáveis por pelo menos 90% das emissões de gases de efeito estufa pois no processo de combustão incompleta há o desprendimento de CO₂.

O etanol é o principal biocombustível

produzido no Brasil, com pesquisas datadas deste de 1927. É um composto orgânico (C₂H₅OH) e tem grande potencial de suprir a carência de uma nova matriz energética.

Em comparativo aos combustíveis fósseis, o etanol se destaca pois, é feito com materiais renováveis. Vários tipos de biomassa podem ser utilizados como matéria-prima ao etanol, e a diversificação no uso desta é benéfica pois, aproveita a biodiversidade brasileira e evita a devastação de reservas naturais para a evolução da área agrícola.

Políticas energéticas brasileiras, tais como o Programa Nacional do Alcool

*Bolsista CNPq

(Proálcool), incentivam tanto o consumo de etanol como a produção do mesmo no país, utilizando como matéria prima a cana de açúcar (Teixeira *et al.*, 1997).

Buscando aproveitar a grande biodiversidade brasileira, bem como o clima tropical propício a plantações de gramíneas, pesquisas vem sendo desenvolvidas em busca de novas matérias- primas para a produção de etanol.

Sorgo sacarino

Dentre as diversas matérias-primas renováveis disponíveis para produção de etanol, especial destaque vem sendo dado ao sorgo sacarino.

O sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se mostra como recurso potencial para a obtenção de bioetanol, pois análises retratam que os teores de açúcares redutores totais nos colmos é semelhante ao apresentado nos colmos da cana, o que é quantificado em 33 a 40% (Teixeira *et al.*, 1997). Além disso, a gramínea apresenta ciclo de produção curto e por isso, pode ser utilizada na entressafra da cana-de-açúcar. Um comparativo em relação a cana-de-açúcar é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Comparativo entre sorgo sacarino e cana de açúcar (Teixeira *et al.*, 1997)

Características	Sorgo Sacarino	Cana de açúcar
Ciclo vegetativo	120 a 130 dias	12 a 18 meses
Rendimento (t/ha)	48,0	65,0
Umidade (%)	67,9	68,7
Açúcares redutores (%)	5,6	3,0
Açúcares red. totais (ART/t)	96,3	105,0
Álcool a 100° GL (L/t)	62,4	67,9

Nas figuras 1, 2 e 3, podemos verificar o crescimento e o rápido ciclo de produção do sorgo sacarino cultivado no Campus do IFTM – Ituiutaba.

Segundo pesquisas, é esperada produtividade entre 60 e 80 t/ha, 12% de teor de açúcar, entre 11 e 15% de fibra, nos mais de 12.000 hectares já plantados no Brasil. A produtividade da cana-de-açúcar é

quantificada em 90 t/ha, 13% de açúcar e 12% de fibras (Klink, 2010). As diferenças entre os números mostram o grande potencial do sorgo sacarino para a produção de etanol associado a cana-de-açúcar.



Figura 1 : Sorgo sacarino com 45 dias cultivado no IFTM – Ituiutaba.



Figura 2 : Sorgo sacarino com 85 dias cultivado no IFTM – Ituiutaba

Esse cereal é próprio para o cultivo em solos pobres e áridos característicos dos climas tropicais, sendo resistente a estiagem ou a instabilidades climáticas, sendo assim uma gramínea facilmente adaptável a diferentes regiões (Camacho *et al.*, 2002). Adicionalmente ao uso na produção de etanol, essa planta também é capaz de fornecer quantidade de bagaço suficiente para geração de vapor para a operação industrial e pode ser utilizado para a alimentação humana bem como para o pastoreio, por gerar grãos ricos em amido (Oliveira, 1986).

Na primeira experiência do sorgo sacarino para a produção de etanol, realizada na usina Cerradinho, em Catanduva (SP), foram obtidos, em média, 1,5 mil litros de etanol por hectare plantado. Mas segundo



Figura 3 : Sorgo sacarino com 120 dias cultivado no IFTM - Ituiutaba

pesquisas de laboratório realizadas pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas – MG) o aproveitamento pode ser elevado a 4 mil litros de etanol por hectare plantado. O aproveitamento dos grãos pode ser destinado a produção de etanol em processo semelhante à utilizada empregando-se como matéria-prima o milho (Barcelos *et al.*, 2011).

Além do uso em destilarias no período da entressafra, o sorgo também pode ser aproveitado nas pequenas e médias propriedades rurais propiciando a rotação de culturas e a produção do próprio combustível utilizado pelos agricultores. Em países como Índia, China, Austrália e África do Sul, o sorgo sacarino já é utilizado como matéria-prima para a produção de etanol (Barcelos, 2012).

Segundo Cesar *et al.* (1987) a composição do caldo da cana-de-açúcar é um dos fatores que afetam as diversas operações unitárias de um processo industrial, em especial a purificação do caldo, e no caso da destilaria, a fermentação alcoólica. Esta análise é realizada em vista de separar a melhor matéria-prima para o processo, para que se obtenha maior rendimento.

Dentre as análises físico-químicas, a análise quantitativa da concentração de fósforo tem elevada importância, uma vez que influencia o rendimento do produto final.

Fósforo

Dentre as variáveis do processo fermentativo do caldo de sorgo sacarino, as concentrações apresentadas dos micro e macronutrientes (N, P, K, Mg, Fe, Zn) influenciam na multiplicação, crescimento

celular, eficiência e rendimento do processo e na qualidade do produto final. (Santos, 2008)

Na cana-de-açúcar, embora esteja em menores quantidades nos colmos (13 kg.ha^{-1}) que o nitrogênio (93 kg.ha^{-1}) e o potássio (98 kg.ha^{-1}), é um elemento de elevada importância, uma vez que se combina em compostos tais como o fosfato inorgânico, presente no cloroplasto, responsável pelo funcionamento da células, e os açúcares fosforilados como a triose, pentose e heptose, importantes no metabolismo celular.

O fósforo presente no caldo de cana-de-açúcar tem importância no processo de clarificação para a produção de açúcar, bem como na fermentação alcoólica (Martins, 2004), podendo se apresentar tanto na forma orgânica quanto mineral, sendo a maior parte solúvel (60 – 80%) (Sharma *et al.*, 1981). O nível de fósforo orgânico depende principalmente do grau de maturação da colheita, sendo seu maior teor no período de crescimento fisiológico.

No processo de clarificação, segundo Meade (1963), quanto maior for a quantidade de fosfato no caldo, melhor será a estabilidade de cor durante o armazenamento, o que gera uma maior eficiência no processo de refino do açúcar. Além disso, quanto maior for a retirada do mesmo durante o processo, mais elevada será a qualidade do produto final (Delgado *et al.*, 1973).

De acordo com Amorim (1985), o fósforo (P) absorvido pela levedura tem sua principal função relacionada com a transferência de energia na célula de levedura. Este elemento é considerado indispensável à absorção do carboidrato e sua posterior conversão em etanol. Para uma boa fermentação, com alto rendimento de transformação de açúcares redutores totais em álcool, o mosto destinado à fermentação deve apresentar entre 50 a 100 ppm de concentração de fósforo.

Para o caldo de sorgo sacarino, trabalhos similares aos efetuados em caldo de cana não foram encontrados na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Como matéria-prima para o presente projeto, foram utilizadas as cultivares BR 506,

BR507, BR508 e BR511 de sorgo sacarino, plantadas em janeiro de 2012, na área de pesquisa do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Ituiutaba, situado na cidade de Ituiutaba – MG. As sementes destas variedades foram cedidas pela Embrapa milho e sorgo situada em Sete Lagoas, MG.

Foram realizadas colheitas manuais semanais no trimestre de Abril a Junho de 2012. A extração do caldo foi realizada em sistema de moenda simples de cana de açúcar, tendo sido desconsideradas as folhas e panículas e utilizado o colmo inteiro (não houve separação entre parte inferior do colmo, meio e parte superior). O produto foi congelado a -4°C .

As análises de fósforo do caldo do sorgo sacarino foram executadas com aparelhagem laboratorial da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. A metodologia empregada para a análise, foi a de colorimetria metavanadato de amônio, descrita por Malavolta e Vitti (1997), sendo necessária a realização prévia da digestão nitro-perclórica das amostras, e a leitura em espectrofotômetro a comprimento de onda de 420nm

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da quantidade de fósforo encontrados nos caldos das diferentes variedades de sorgo sacarino durante o período de maturação podem ser visualizados na Figura 4.

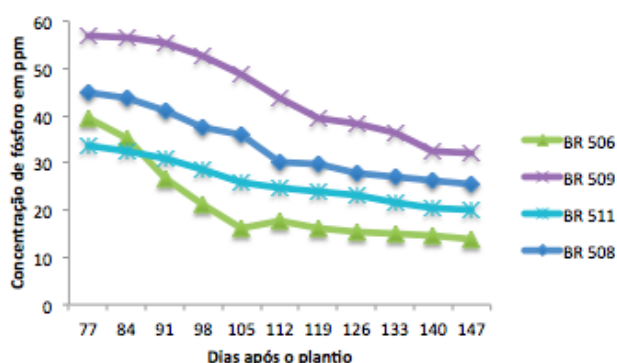


Figura 4: Concentração de fósforo no caldo de sorgo sacarino em função dos dias após o plantio

Neste trabalho podemos verificar que as variedades de sorgo sacarino BR 506, BR

508, BR 509 e BR511 apresentam teores de fósforo decrescente ao longo do período de maturação e estão de acordo com o resultado obtido por Laopaiboon *et al.*, (2009). Os valores encontrados também são inferiores aos encontrados por diversos autores em caldo de cana. Han *et al.* (2011) em seus estudos observou que o acúmulo de fósforo no caldo de sorgo sacarino diminui ao longo do período de maturação. Este comportamento também pode ser visualizado neste trabalho. No final do período de crescimento e início da fase de maturação os teores de fósforo foram em média 43,66 ppm. Já no final da fase de maturação o teor de fósforo foi de 22,75 ppm.

A absorção de nutrientes pelas plantas, como a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino, é limitada por diversos fatores. De acordo com estudos realizados por Franco *et al.* (2008), as variedades, o clima, o ciclo da cultura, o tipo de solo e a quantidade de fertilizantes aplicados são fatores importantes que influenciam na composição mineral da planta (Franco *et al.*, 2008).

Segundo Sedyama *et al.* (2009) estudos que avaliam o total de nutrientes removidos por hectare na colheita das culturas têm sido uma estratégia para determinar a quantidade necessária de fertilizantes a serem fornecidos nos ciclos subsequentes. Contudo, são limitadas as informações de pesquisa que avaliam as exigências nutricionais durante o desenvolvimento da cultura nas regiões produtoras, bem como o conhecimento do balanço nutricional nos canaviais (Souza *et al.*, 2009).

Deste modo, pesquisas que visem a quantificação e a alocação de nutrientes nos compartimentos da parte aérea do sorgo sacarino, se fazem necessárias e fornecerão informações sobre a ciclagem de nutrientes, servindo como suporte para a agroindústria sucroalcooleira, que poderá introduzir novos métodos e formas de adubação mais eficazes, com menos desperdício e economicamente mais viáveis (Coleti *et al.*, 2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H.V. Nutrição mineral da levedura, aspectos teóricos e práticos. In: Semana

- de fermentação alcoólica “Jaime Rocha de Almeida”, Piracicaba, Anais. Piracicaba: ESALQ, 1985. p.144 – 148, 1985.
- BARCELOS, C.A. Aproveitamento das frações sacarínea, amilácea e lignocelulósica do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para a produção de bioetanol. Tese de doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, pg 98. Rio de Janeiro, 2012.
- BARCELOS, C.A.; MAEDA, R.N.; BETANCUR, G.J.V.; PEREIRA JR, N. Ethanol production from sorghum grains: evaluation of the enzymatic hydrolysis and hydrolysate fermentability. In: **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.28, n.4, p. 507-604, 2011.
- CAMACHO, R.; MALAVOLTA, E.; GUEIREIO, A.J.; CAMACHO, T. Vegetative growth of grain sorghum in response to phosphorus nutrition. In: **Scientia Agricola**, v.59, n.4, p. 771-776, 2002.
- CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A.; CAMARGO.A.P.; BISSOLI, B.M.Z e SILVE, F.C. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana planta), visando o processo industrial. In: **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, v.5, n. 5/6, p.32-38, 1987.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R. Remoção de macronutrientes pela cana planta e cana soca, em argissolos, variedades RB83486 e SP81- 3250. In: **Revista STAB**, v. 24, n. 05, p. 32-36, 2006.
- DELGADO, A.A.; FERREIRA, L.J.; BARBIN, D.O comportamento de três variedades de cana-de-açúcar na clarificação, do caldo em função de teores variáveis de fósforo. In: **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro – RJ, 1973.
- FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. In: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2763-277, 2008.
- HAN, L.P.; STEINBERGER, Y.; ZHAO, Y.L.; XIE, G.H. Accumulation and partitioning of nitrogen, phosphorus and potassium in different varieties of sweet sorghum. In: **Field crops research**, 2011.
- KLINK, U. 2010. Melhoramento genético do sorgo para a produção de etanol. Pelotas - RS, 2010.
- LAOPAIBOON, L.; NUANPENG, S.; SRINOPHAKUN, P.; KLANRIT, P.; LAOPAIBOON, P. Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: effects of carbon and nitrogen supplementations. In: **Bioresource technology**, 2009.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C. Avaliação do estado nutricional das plantas. p. 231-245, 1997.
- MARTINS, N.G.S. Os fosfatos na cana-de-açúcar. Tese (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) Universidade de São Paulo (USP). Piracicaba – SP, 2004.
- MEADE, G. P. Cane sugar handbook. In: **WILEY, J. Composition of cane juice**. New York. p.23-26, 1963.
- OLIVEIRA, F.M Consumo humano do sorgo na propriedade agrícola. In: **Informe agropecuário**, n.144, p. 11-13, 1986.
- ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELO JÚNIOR, E. Influência da adubação NPK nas qualidades tecnológicas da cana-planta, variedade CB 41-76. In: **Brasil Açucareiro**, v.96, n.3, p.37-44, 1980.
- PEREIRA, J.R; FARIA, C.M.B; MORGADO, L.B. Efeito de níveis e do resíduo de fósforo sobre a produtividade de cana-de-açúcar em vertissolo. In: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.1, p, 43-48, janeiro 1995.
- SANTOS, A.M. Estudo da influência da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada. Tese de mestrado – Universidade Federal de Alagoas, pg 11-12. Maceió – Alagoas, 2008.
- SEDIYAMA, M.A.N.; SANTOS, M.R.; SALAGADO, L.T.; PUAIIATTI, M.; VIDIGAL, S.M., 2009. Produtividade e exportação de nutrientes por rizomas de taro cultivado com resíduos orgânicos. In: **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 04, n. 04, p. 421-425

- SHARMA, S.C; JOHARY, .C; RAO, G.S.C.
Cane juice phosphate and clarification. In:
International Sugar Journal High Wycombe, p. 3-5, 1981.
- SOUZA, Z. M.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G.
T. Geoestatística e atributos do solo em
áreas cultivadas com cana-de-açúcar. In:
Ciência Rural, v. 40, n. 01, p. 48-56,
2009.
- TEIXEIRA, C.G.; JARDINE, J.G. e
BEISMAN, D.A. Ciência Tecnologia dos
Alimentos, v.17, n.3, p. 248-251, 1997.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapemig e o CNPq pelo apoio financeiro.