

Otimização de produção do caldo clarificado em uma usina de produção de etanol

Optimization of the production of clarified juice in ethanol production mill

A. C. G. F. Júnior¹; V. H. S. Ramos²; E. Jesus³; J. A. Pacífico³

¹*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil*

²*Programa Especial de Inclusão em Iniciação Científica, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil*

³*Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil*
vituQI@gmail.com

(Recebido em 27 de outubro de 2012; aceito em 09 de março de 2013)

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um modelo visando à determinação das quantidades ótimas de produtos em uma indústria de produção de etanol. O modelo foi implementado utilizando o GAMS (*General Algebraic Modeling System*) e contemplando equações de balanço de massa do processo de produção do etanol envolvendo as etapas da moenda, tratamento do caldo e filtração. Foi estudada a relação entre as diversas variáveis do modelo e observado a composição da cana e do bagaço, sendo que para 150.000 kg h⁻¹ de cana foi obtido de caldo clarificado 141.558 kg h⁻¹.

Palavras-chave: Otimização; caldo clarificado; moagem; clarificação; filtração; etanol

This study aimed to develop a model at determining the optimal quantities of products in mill ethanol production. The model was implemented using GAMS (General Algebraic Modeling System) and contemplating mass balance equations of the ethanol production process involving the steps of milling, treatment and filtration of the broth. It was studied the relationship between the variables of the model and the observed composition of sugarcane and bagasse, and to 150.000 kg h⁻¹ was obtained from cane juice clarified 141.558 kg h⁻¹.

Keywords: Optimization; juice clarified; milling; clarification; filtration; ethanol

1. INTRODUÇÃO

É notável a importância da agricultura para a economia do Brasil, uma vez que esta é responsável por mais de um terço das exportações totais [1]. Entre as produções da agricultura brasileira, a cana-de-açúcar tem uma grande importância. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar e tal produtividade no país tem relação direta com o setor industrial [2].

A importância econômica da indústria alcooleira no Brasil está intimamente ligada à indústria açucareira, pois o álcool é praticamente um subproduto desta. As duas indústrias, desde o descobrimento do país, desenvolveram-se juntas. Foram as primeiras indústrias manufatureiras implantadas no país [3].

A indústria sucroalcooleira tem suas atividades divididas em três grandes áreas, são elas: agrícola, industrial e comercial. A área agrícola é a fornecedora da matéria-prima a ser transformada, no caso a cana-de-açúcar. A área industrial que é a área responsável pela transformação da matéria-prima em seus subprodutos, no caso o açúcar e o álcool. E por fim, a área comercial responsável pela oferta das mercadorias ao comércio.

A indústria de álcool desenvolveu-se na Europa em meados do século 19, no último quarto desse século iniciou-se a produção de etanol no Brasil, com as sobras de melaço da indústria de açúcar, ampliando sua capacidade produtiva [4]. O segmento agroindustrial denominado sucroalcooleiro engloba as unidades que produzem açúcar e álcool

simultaneamente (usinas com destilarias anexas) e as que produzem apenas álcool, as denominadas destilarias autônomas.

O etanol pode ser obtido por três vias: via destilatória, via sintética e via fermentativa [3]. Neste trabalho será retratada a produção do etanol por via fermentativa da cana-de-açúcar onde o princípio é a transformação dos açúcares contidos no caldo em etanol e dióxido de carbono.

O processo fermentativo é o mais viável economicamente para produção de etanol em decorrência da grande variedade de matérias-primas naturais (açucaradas, amiláceas ou lignocelulósicas) que podem, direta ou indiretamente, servir de substrato para a fermentação alcoólica [5].

O modelo implementado utilizou a linguagem própria do software GAMS (*General Algebraic Modeling System*). O solver usado foi o CPLEX (IBM ILOG CPLEX Optimization Studio). As restrições presentes no modelo envolveram as equações de balanço massa da moenda, tratamento e filtração do caldo, tendo como função objetivo a maximização da vazão (kg h^{-1}) do caldo misto filtrado.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento do trabalho foi realizada visita técnica a uma usina sucroalcooleira, onde dados foram coletados e utilizados no modelo proposto.

2.1 Operações unitárias na produção do etanol

A produção de etanol a partir da cana de açúcar é dividida em várias etapas, são elas:

Recepção

Na recepção a cana é pesada, em seguida é retirada uma amostra para verificação do teor de açúcar [6].

Limpeza da cana

Etapa onde a cana é lavada para diminuir a quantidade de impurezas.

Preparo para a moagem

Etapa onde a cana é picada para facilitar a moagem.

Moagem

A extração do caldo da cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço), sendo feito, fundamentalmente, por meio de dois processos: moagem ou difusão. Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana desfibrada e adição de água. Na difusão, a separação é feita pelo deslocamento da cana desintegrada por um fluxo contracorrente de água [6].

Tratamento do caldo

Para remover as impurezas grossas, o caldo é inicialmente peneirado, e em seguida tratado com agentes químicos, para coagular parte da matéria coloidal (ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas, corantes), precipitar certas impurezas (silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, Ca, Mg, K, Na) e modificar o pH [6].

Existem cinco métodos utilizados no processo de clarificação do caldo de cana: a) por caleação ou calagem (uso de cal virgem) utilizada para limpar e clarificar o caldo; b) por sulfitação (uso de anidrido sulfuroso) que auxilia na redução do pH, diminuição da viscosidade do caldo, formação de complexos com açúcares redutores, preservação do caldo contra alguns microrganismos e prevenção do amarelamento do açúcar; c) por fosfatação (uso de ácido fosfórico) que auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo; d) carbonatação (uso de anidrido carbônico), a qual complementa a clarificação e e) com uso de óxido de magnésio que remove impurezas sem afetar o teor de sacarose.

Após essa fase de tratamento o caldo pode ser resfriado até aproximadamente 30°C e seguir diretamente para o preparo para fermentação, mas como o maior objetivo das usinas e a produção de açúcar, o método de produção escolhido para este trabalho é o do reaproveitamento do melaço extraído na centrifugação.

Evaporação do Caldo

A evaporação do caldo é feita para que a concentração do xarope fique entre 60 e 70° brix, sendo recomendado 65° brix (valor do teor de sólidos solúveis contidos no caldo). A quantidade de água removida na evaporação é cerca de 80% em peso do caldo ou aproximadamente 70 – 80% do peso da cana [6].

Cozimento

O xarope resultante dos evaporadores passa então para os cozedores. Cada vaso recebe uma carga de vapor, através de um distribuidores, levando o xarope até a supersaturação. O caldo supersaturado toma consistência de mel, onde se formam cristais de açúcar, que após crescimento adequado é descarregado nos cristalizadores, onde se completa a cristalização do açúcar [6].

Cristalização

Nos cristalizadores os cristais entram em contato, aumentando o seu volume. Dependendo da vazão de xarope podem-se usar cristalizadores em paralelo. Após a cristalização a massa cozida é centrifugada [6].

Centrifugação

O objetivo da centrifugação consiste basicamente na separação do melaço que envolve os cristais de açúcar. Sob a força centrífuga o melaço sai através das perfurações e segue à fermentação [6].

Preparo do Mosto

O melaço separado pelo processo de centrifugação é diluído em água ou com caldo, para ficar em uma concentração de 180 a 220° brix, originando o mosto cujo pH deve ficar em 4,5 e 5,0. O brix ideal do mosto depende do tipo de levedura utilizada e do processo de condução da fermentação. Quando o mosto é diluído a fermentação é mais fácil, rápida e completa, porém necessita de mais vapor e água. A multiplicação do mosto é favorecida pela transferência de oxigênio. Quando se trabalha com um mosto muito concentrado, a fermentação é mais lenta e incompleta, ou seja, fica com açúcar residual alto, tendo dessa forma menor rendimento, além de exigir maior limpeza nos aparelhos [6].

O mosto também pode ser aquecido para se eliminar alguns microrganismos contaminantes a uma temperatura de até 105° C, depois desse aquecimento o caldo bruto tem suas impurezas removidas por decantação e, posteriormente, resfriado até a temperatura de 30° C [6].

Fermentação

O mosto já preparado é enviado para as dornas de fermentação, onde são adicionados microorganismos, geralmente levedos da família *Saccharomyces cerevisiae*, são esses microorganismos que irão transformar o mosto em gás carbônico e álcool. As leveduras desempenham melhor sua atividade à temperatura de 32 a 34° C [6].

A fermentação alcoólica é composta por 3 fases: fermentação preliminar, fermentação principal e fermentação complementar [6].

Fermentação Preliminar: Esta fase tem início, quando o fermento é adicionado e termina quando o desprendimento de gás carbônico CO₂ se torna evidente. Nesta fase, apesar do fermento estar consumindo sacarose do mosto, praticamente não há produção de álcool, por isso, essa fase deve ser realizada a mais rápida possível.

Fermentação Principal: Esta fase inicia quando começa a ocorrer o desprendimento do gás carbônico CO₂. Este desprendimento vai aumentando progressivamente e rapidamente, causando turbulência, havendo assim um aumento de 20% do volume e da temperatura que deve ser controlada através de trocador de calor. Nesta fase, a formação de álcool é máxima e rápida, diminuindo o brix do mosto até o ponto da fermentação complementar.

Fermentação Complementar: Esta fase tem início, quando ocorre a diminuição do desprendimento do gás carbônico e da temperatura do mosto. Nesta fase é feito o controle do brix, até que ele chegue a um ponto favorável para destilação, cerca de 30 à 80° brix.

Depois de completada a fermentação espera-se a decantação natural das células de levedura que são tratadas para serem reutilizadas em próximas fermentações. Esse processo também pode ser feito por centrifugação.

Destilação

O vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10 °GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Dentro dos líquidos, além do álcool, encontra-se a água com teores de 89% a 93%, glicerol, alcoóis homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético entre outros, em quantidades bem menores. Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides entre outros, e os gasosos, principalmente pelo CO₂ e SO₂ [6].

O álcool presente no vinho é recuperado por destilação. Nesse processo são utilizadas as diferenças de ponto de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, separando-as. A operação é realizada com auxílio de sete colunas distribuídas em quatro troncos.

O álcool hidratado resultante da destilação é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor da ordem de 96°GL, podendo ser comercializado desta forma ou passar por desidratação.

Armazenagem

Tanto o álcool hidratado, como o álcool anidro são resfriados na saída das colunas, e são enviados para o tanque de medição e posteriormente bombeados para os tanques de armazenamento, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

2.2 FORMULAÇÃO DO MODELO VIA PROGRAMAÇÃO

Ferreira Júnior [7] implementou modelo no GAMS da produção de caldo misto (equações 7 a 19), com objetivo de maximizar a quantidade de caldo misto. Assim o projeto ora desenvolvido irá inserir no modelo uma nova operação que é o tratamento do caldo, a ser explicada posteriormente. A Figura 1 esquematiza a produção do caldo misto, etapa da moenda detalhada.

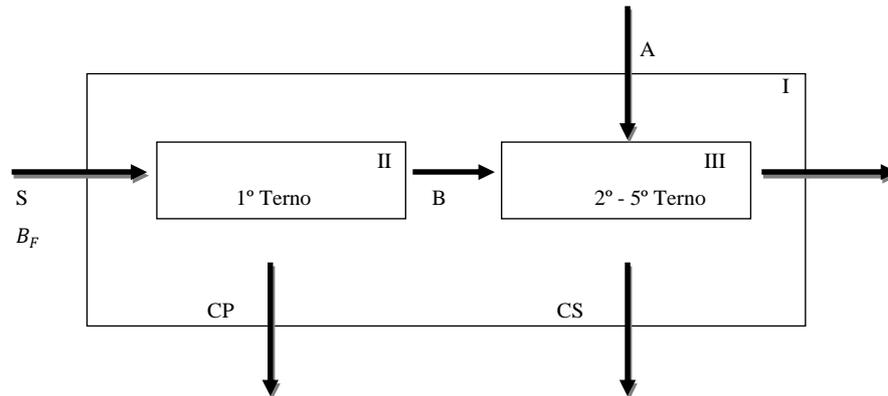


Figura 1 – Explicação do funcionamento da moagem [7].

$$C_M = C_P + C_S \quad (1)$$

A Equação 1 representa a formação do Caldo Misto (C_M), obtido pela mistura entre o caldo primário (C_P) e o caldo secundário (C_S).

$$S + A = C_P + C_S + B_F \quad (2)$$

As restrições do modelo foram estabelecidas a partir da aplicação dos balanços de massas do sistema de moenda. Foram considerados três envoltórios como mostrado na Figura 1.

A Equação 2 representa balanço material global no envoltório I da Figura 1, onde S representa a vazão mássica de cana na entrada do processo ($t.h^{-1}$); C_P representa a vazão quantidade o caldo primário ($t.h^{-1}$); A representa a quantidade a água de embebição ($t.h^{-1}$); C_S representa a quantidade caldo secundário ($t.h^{-1}$) e B_F é o bagaço final ($t.h^{-1}$).

$$S = C_P + B \quad (3)$$

A Equação 3 representa o balanço material global no envoltório II da Figura 1, onde a cana de entrada é igual a soma entre o caldo primário e o bagaço de saída do primeiro terno (B).

$$S \times F_S = B \times F_B \quad (4)$$

A Equação 4 foi montada aplicando-se o balanço material no envoltório II para o percentual de fibra (F_S), onde a multiplicação entre a cana de entrada e o seu percentual de fibra, é igual multiplicação entre o bagaço de saída do primeiro terno e o seu percentual de fibra (F_B).

$$S \times U_S = [(B \times U_B) + (C_P \times U_{CP})] \quad (5)$$

A equação 5 foi obtida a partir da aplicação do balanço de massa no envoltório II para o percentual de umidade, sendo que a cana de entrada multiplicada pelo seu percentual de umidade (U_S), é igual a multiplicação entre o bagaço de saída do primeiro terno e seu percentual de umidade (U_B), somado com a multiplicação do caldo primário e seu percentual de umidade (U_{CP}).

$$S \times X_S = [(B \times X_B) + (C_P \times X_{CP})] \quad (6)$$

A equação 6 expõe o resultado da aplicação do balanço material no envoltório II para o componente brix.

$$A + B = C_S + B_F \quad (7)$$

A Equação 7 é obtida através do balanço material parcial no envoltório III

$$B \times F_B = B_F \times F_{BF} \quad (8)$$

Aplicando-se o balanço de massa no envoltório III para o percentual de fibra, obtém-se a Equação 8.

$$[(B \times U_B) + (A \times U_A)] = [(C_S \times U_{CS}) + (B_F \times U_{BF})] \quad (9)$$

A Equação 9 representa o resultado da aplicação do balanço de massa no envoltório III para o percentual de umidade, onde U_A é a umidade da água de embebição (%), U_{CS} é a umidade do caldo secundário (%) e U_{BF} é a umidade do bagaço final (%).

$$B \times X_B = [(C_S \times X_{CS}) + (B_F \times X_{BF})] \quad (10)$$

A Equação 10 mostra a aplicação do balanço de massa para o componente brix, onde a multiplicação entre o bagaço de saída de primeiro terno e seu brix, é igual a soma entre a multiplicação do caldo secundário e seu brix (X_{CS} cuja unidade é %), e a multiplicação entre o bagaço final e seu brix (X_{BF} cuja unidade é %).

$$F_B + U_B + X_B = 1 \quad (11)$$

Sabendo que o bagaço é composto por fibra, umidade e brix, pode-se assumir que a soma entre os componentes é igual a um, como representa a Equação 11.

$$X_{CS} + U_{CS} = 1 \quad (12)$$

$$X_{CS} + U_{CP} = 1 \quad (13)$$

Considerando que o caldo (tanto primário quanto secundário) é composto por brix e fibra, pode-se afirmar que a soma entre estes componentes é igual a 1, como mostra as equações 12 e 13.

$$C_P \times X_{CP} + C_S \times X_{CS} = C_M \times X_{CM} \quad (14)$$

Com os valores do brix do caldo primário e secundário e suas respectivas vazões, foi possível afirmar que o brix do caldo misto é decorrente da mistura das diversas vazões (Equação 14).

O tratamento do caldo é a etapa em que acontece a remoção das impurezas grossas. O processo de clarificação tem como prioridade remover suspensos, partículas coloidais, proteínas, polissacarídeos e materiais inorgânicos elevando o pH do caldo para minimizar a inversão da sacarose durante o processamento. A clarificação altera a capacidade de filtração do suco, coeficiente de transferência de calor dos evaporadores, cristalização da sacarose, qualidade e quantidade do açúcar bruto produzido. Ela afeta a cor, a morfologia e conteúdo cristalinos, cinzas e polissacarídeos contidos no açúcar bruto [8].

Após o processo de clarificação (Figura 2), a cal virgem (utilizada no tratamento do caldo) que reagiu com os compostos do caldo misto precipita e, após a sedimentação, o caldo *clarificado* e *lodo* são separados.

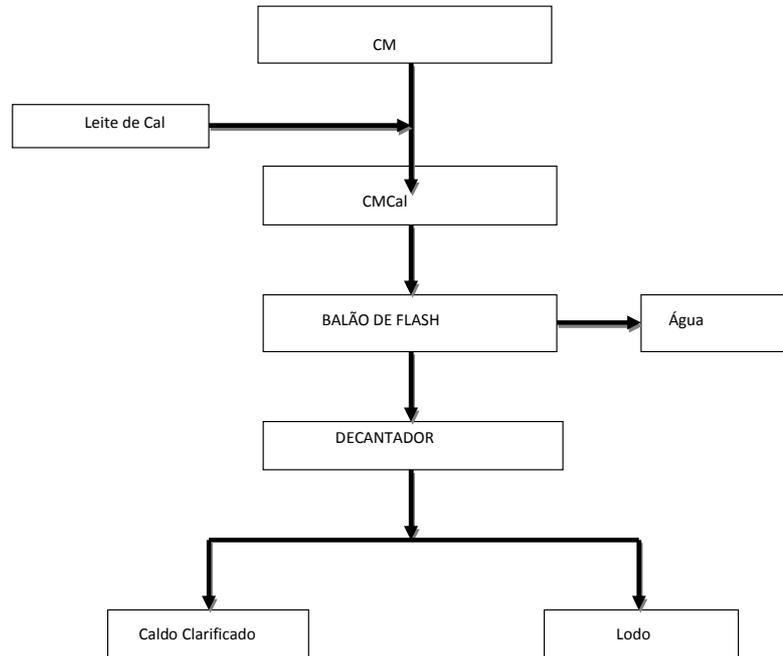


Figura 2 – Balanço de massa do método de clarificação do caldo

A partir da Figura 2, foi feito o balanço de massa global do tratamento (clareamento) do caldo misto, obtendo assim as equações 15 a 19.

$$C_M + Cal = CMcal \quad (15)$$

$$C_M \times X_{CM} = C_{MCAL} \times X_{CMCAL} \quad (16)$$

A Equação 15 mostra o balanço material da mistura a ser concentrada no balão de flash. A Equação 16 mostra a relação para calcular a concentração da mistura após a adição de cal. Onde C_M é o caldo misto; Cal é a quantidade de leite de cal adicionada; $CMcal$ é a vazão do caldo misto e o leite de cal; X_{CMcal} é o brix da mistura do caldo misto e o leite de cal.

$$C_M - AE = M \quad (17)$$

A Equação 17 mostra o balanço mássico após a concentração do caldo no balão de flash, onde AE é a água de embebição; M é a quantidade de mistura a ser decantada, resultante do balão de flash.

$$M = CL + Lodo \quad (18)$$

$$M \times X_{CL} = C_{MCAL} \times X_{CMCAL} \quad (19)$$

A Equação 18 mostra a relação da massa após a decantação. A Equação 19 exhibe a relação entre as concentrações da C_{MCAL} e do CL antes e depois da concentração no balão de flash. Onde X_M é o brix da mistura resultante no balão de flash; CL é o caldo clarificado.

$$Bg = 0,006 \times S \quad (20)$$

Após a decantação, onde há a separação do caldo clarificado e do lodo, o caldo clarificado segue para a concentração do caldo, passa por um pré-evaporador e ao perder água aumenta o brix do caldo, a partir desse ponto o caldo clarificado passa a ser chamado de mosto. Já o lodo passa por um setor de filtração (Figura 3), onde é adicionado bagacilho, bagaço fino que serve como coadjuvante da filtração, a quantidade de bagacilho a ser adicionado para a filtração, no geral, está entre 4 a 12 kg de bagacilho por tonelada de cana, baseado nos dados da usina de Campo Lindo a quantidade média de bagacilho utilizado é de 6 quilos por tonelada de cana. Assim, foi proposta a Equação 20.

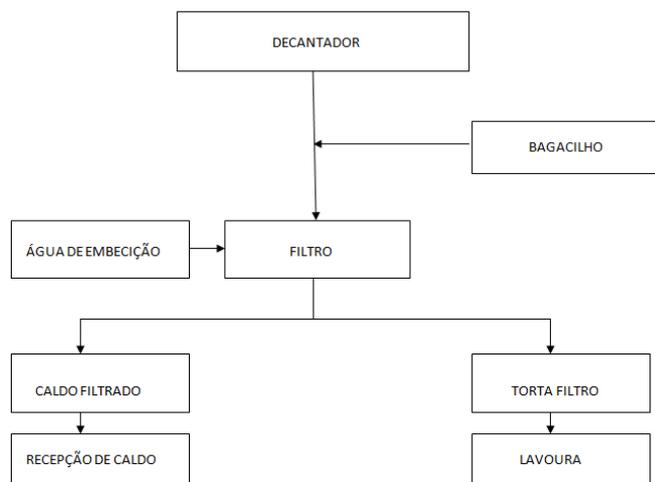


Figura 3 – Balanço do setor de filtração do lodo

$$C_F = 0,0969 \times C_M \quad (21)$$

A Equação 21 mostra a razão média entre o caldo filtrado e o caldo misto. Onde Bg é a quantidade de bagacilho adicionada; C_F é o caldo filtrado.

$$Lodo + Bg + Em = C_F + T_F \quad (22)$$

A Equação 22 mostra a relação dos componentes da filtração em que a soma do lodo, do bagacilho (Bg) e da água de embebição (Em) é igual à soma da vazão de caldo filtrado e da vazão de torta filtro (T_F).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na solução do modelo foram utilizados dados que foram coletados por Ferreira Júnior (2011). Utilizou-se na solução do modelo a linguagem de programação do software GAMS(*General Algebraic Modeling System*). O modelo consistiu de 25 restrições e 21 variáveis, objetivando a maximização do caldo clarificado (C_F). A Tabela 1 mostra os dados de entrada do modelo.

Tabela 1- Dados usados na resolução do modelo

Dados de entrada do modelo	Valores	Unidades
S	150.000,0	kg h ⁻¹
X _S	15,86	° Bx
F _s	12,25	%
U _S	71,90	%
X _{BF}	4,00	° Bx
F _{BF}	46,00	%
U _{BF}	50,00	%
U _B	53,00	%
A	45.000,0	L
U _A	100,00	%
Em	8,74	t h ⁻¹

Fonte: Ferreira Júnior (2011)

Para uma vazão de cana igual a 150.000 kg h⁻¹ de cana-de-açúcar foi obtido 141.558,0 kg h⁻¹ de caldo clarificado, o que equivale a 94,0% em relação à vazão de cana. O tempo de processamento do modelo foi 0,047 segundos.

Tabela 2- Variáveis a serem obtidas com o modelo de otimização na produção de caldo misto.

Variáveis	Valores	Unidades
B	61,70	kg h ⁻¹
F _B	29,80	%
X _B	17,20	° Bx
C _P	88.343,00	kg h ⁻¹
X _{CP}	14,90	°Bx
U _{CP}	85,10	%
C _S	66.712,0	kg h ⁻¹
X _{CS}	13,50	°Bx
U _{CS}	86,50	%
B _F	39.946	kg h ⁻¹
C _M	155.054,0	kg h ⁻¹
X _{CM}	14,30	°Bx
CMCal	156.554,0	kg h ⁻¹
X _{CMCal}	14,20	° Bx
CL	141.558,0	kg h ⁻¹
M	153.000,0	kg h ⁻¹
X _{CL}	14,50	°Bx
Lodo	11.511,0	kg h ⁻¹
B _g	0,90	kg h ⁻¹
TF	6,12	kg h ⁻¹
C _F	15,03	kg h ⁻¹

4. CONCLUSÃO

Com o estudo das operações unitárias da produção de etanol, foi implementado um modelo com as principais equações de balanço de massa para as operações de moagem, clarificação e filtração. O modelo proposto foi desenvolvido utilizando a linguagem disponibilizada pelo GAMS e solucionado com o *solver* NLP (Programação Não-Linear). Com isso, foi possível encontrar o valor otimizado do caldo clarificado, cujo valor encontrado foi 141.558,0 kg h⁻¹ para uma vazão de cana-de-açúcar de 150.000,0 kg h⁻¹ com umidade média de 71,90 %.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Sergipe (UFS), através da Pró-Reitoria de Pós-graduação e Pesquisa e Coordenação de Pesquisa – COPES, pela concessão da bolsa de iniciação científica.

-
1. MARTINELLI, L. A., GARRETT, R., FERRAZ, S., NAYLOR, R., *Sugar and ethanol production as a rural development strategy in Brazil: Evidence from the state of São Paulo*. Agricultural Systems, Jan. 2011, vol. 104, p. 419-428.
 2. VIAN, Carlos Eduardo Freitas. *Estatísticas da cana*. Agência de Informação da Embrapa. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_66_711200516719.html
Acesso em: 14 de dezembro de 2011
 3. LIMA, Urgel de Almeida. Produção do Etanol. *Tecnologia das Fermentações*. São Paulo, Edgard Bücher, 1975.
 4. LIMA, U. A.; BASSO, L. C.; AMORIN, H. V. *Produção de etanol*. In: ALMEIDA LIMA, U.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. (Ed.) *Biotecnologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. v. 3, pp. I - 43.
 5. BON, Elba P. S.; FERRARA, Maria Antonieta; CORVO, Maria Luísa. *Enzimas em biotecnologia: produção, aplicações e mercado*. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2008. xxxvii, 506 p. ISBN 9788571931893.
 6. MENEGUETTI, C. C., MEZAROBA, S., GROFF, A. M., *Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema*, In: FECILCAM, Campo Mourão, 2010, p. 01 – 09.
 7. FERREIRA JÚNIOR, Antônio C. G.; *Otimização da Produção de Caldo Misto em uma Indústria Sucroalcooleira*; São Cristóvão, 2011.
 8. DOHERTY, W. O. S., Improved Sugar Cane Juice Clarification by Understanding Calcium Oxide-Phosphate-Sucrose Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, Australia*, 2011, vol. 59, p. 1829-1836.
 9. BADINO JÚNIOR, Alberto Colli; CRUZ, Antônio José Gonçalves. *Fundamentos de Balanços de Massa e Energia: um texto básico para análise de processos químicos*. São Carlos: EsUFSCar: 2010. 236 p. ISBN 9788576001959.