

SIMULAÇÃO NO HYSYS DE UMA PLANTA DE BIOETANOL

IN HYSYS SIMULATION OF A PLANT BIOETANOL

Paloma Boa Vista Felix¹; Valnísia Bezerra Nogueira²; Sérgio Lucena Sérgio Lucena³; Marteson Cristiano dos Santos Camelo⁴

¹Programa de Graduação em Engenharia Química - PGEQ
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife/PE – Brasil
Palomafelix_3@hotmail.com

²Programa de Graduação em Engenharia Química - PGEQ
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife/PE – Brasil
valnisianogueira@yahoo.com.br

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química- PPGEQ
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife/PE – Brasil
lucena@ufpe.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química- PPGEQ
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Recife/PE – Brasil
marteson_pe@yahoo.com.br

Resumo

O crescimento econômico brasileiro exige cada vez mais energia e, portanto, uma maior necessidade de combustível, no entanto, o uso de combustíveis fósseis aumenta os níveis de poluição devido à emissão de gases gerados na sua queima. Esses fatores estimulam o uso de fontes alternativas de energia, como os biocombustíveis, no qual o etanol tem um papel central para a sua utilização como combustível para automóveis. A produção de bioetanol a partir de cana-de-açúcar está aumentando, e para ser capaz de atender à crescente demanda de forma sustentável é necessário desenvolver tecnologias inovadoras para o aumento da produção de etanol, como a produção de etanol por hidrólise do bagaço chamado etanol de segunda geração.

Palavras-chave: hidrólise do bagaço, combustível, bioetanol.

Abstract

The Brazilian economic growth demands more and more energy and thus a greater need for fuel, but the use of fossil fuels increases the levels of pollution due to the emission of gases generated in its burning. These factors stimulate the use of alternative energy sources such as biofuels, in which ethanol plays a central role for its use as fuel for cars. The production of bioethanol from sugar cane is increasing, and to be able to meet the growing demand for sustainable manner is necessary to develop innovative technologies for the increase in ethanol production, such as production of ethanol by hydrolysis of bagasse called second generation ethanol.

Key-words: hydrolysis of bagasse, fuel, bioethanol.

1. Introdução

A cana de açúcar é cultivada em todas as regiões do Brasil, e seu cultivo continua crescendo em áreas próximas as usinas e em dezenas de novos empreendimentos de norte a sul do país. A partir do processo industrial da cana de açúcar é possível obter vários produtos economicamente viáveis para o país como o etanol.

O etanol apresenta algumas diferenças importantes em relação aos combustíveis convencionais derivados de petróleo. A principal delas é o elevado teor de oxigênio, que constitui cerca de 35% em massa do etanol. As características do etanol possibilitam a combustão mais limpa e o melhor desempenho dos motores, o que contribui para reduzir as emissões poluidoras, mesmo quando misturado à gasolina. O bioetanol pode ser produzido com base em qualquer biomassa que contenha quantidades significativas de amido ou açúcares, sua produção no Brasil é feita a partir da fermentação da glicose e frutose que por sua vez são obtidas da sacarose presente na cana-de-açúcar. O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar pode ser obtido de duas formas: ou a partir da fermentação do caldo da cana-de-açúcar, rico em glicose. Nesse processo são dispensados a palha e o bagaço (compostos de celulose), que representam cerca de dois terços da planta. Ou a partir do bagaço, que passa por um processo de lavagem e pré-tratamento para que sua superfície fique maior. Nele são aplicadas enzimas que quebram a celulose do material em glicose. Esses dois processos de obtenção do álcool são considerados de primeira e segunda geração respectivamente.

Ao fazer a combinação dessas gerações na produção do etanol de cana-de-açúcar, será possível obter maior quantidade de combustíveis sem que haja uma diminuição do volume de matéria-prima cultivada nem tão pouco da área de plantio. Este trabalho tem como objetivo realizar uma simulação no software Hysys do processo de obtenção de bioetanol a partir do caldo e do bagaço da cana-de-açúcar, visando melhoria no processo convencional adicionado ao processo de hidrólise desta planta, integrando o caldo obtido no processo de hidrólise ao caldo obtido no processo convencional.

2. Metodologia

2.1. Implementação Da Unidade No Simulador

Foi utilizado para simulação do processo o software HYSSYS versão 3.6, tanto no processo convencional quanto do bagaço.

2.2. Análise Termodinâmica Do Processo

A análise termodinâmica foi feita para cada etapa da produção de etanol via hidrólise do bagaço e pelo método convencional, a fim de se obter os melhores modelos termodinâmicos que

fossem favoráveis no desenvolvimento da simulação. Para essa análise foram utilizadas as equações NRTL para cálculo do coeficiente da fase líquida, SRK para cálculo do coeficiente da fase vapor e UNIQUAC para cálculo do coeficiente da fase líquida.

2.2.1. Etapas Fermentação E Destilação

O objetivo deste estudo foi verificar o modelo termodinâmico mais adequado para a simulação da coluna de destilação multicomponente utilizada para a obtenção de álcool hidratado. O vinho de levedurado é a matéria prima da produção de álcool hidratado, constituindo a alimentação das colunas de destilação.

O modelo NRTL foi adotado para calcular o coeficiente de atividade na fase líquida nas etapas de fermentação e destilação, por apresentar melhor capacidade de prever o comportamento de soluções de açúcares, bem como representa apropriadamente o comportamento do sistema etanol-água.

2.2.2. Componentes Utilizados Na Simulação

Para que a simulação aconteça baseada numa situação real de operação de uma usina foi necessário criar diversos componentes hipotéticos, de acordo com a composição da cana-de-açúcar. Na Tabela 1 são apresentados os componentes da base de dados do simulador e os componentes hipotéticos.

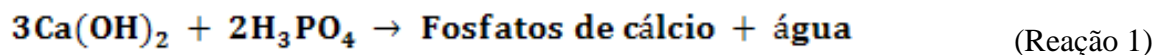
Tabela 1: Compostos presentes na base de dados utilizados no simulador e componentes hipotéticos.

Composto	Nome No Simulador	Componentes Hipotéticos
Glicose	Dextrose	Celulose
Sacarose	Sucrose	Hemicelulose
Água	H ₂ O	Lignina
Etanol	Ethanol	Levedura
Dióxido de carbono	CO ₂	Pentose
Glicerol	Glycerol	Hidrometilfurfural (HMF)
Hidrogênio	Hydrogen	Levedura
Ácido succínico	SuccinicAcid	-----
Ácido acético	AceticAcid	-----
Álcool iso-amílico	3-M-1C4ol	-----
Amônia	Ammonia	-----
Ácido sulfúrico	H ₂ SO ₄	-----

3. Tratamento Químico Do Caldo

Para esta etapa, inicialmente o caldo passa pelas peneiras e pelos hidrociclones, para que as fibras e terras presentes sejam arrastadas.

A adição de cal também é feita em um tanque. A Reação 1 foi definida como uma reação de conversão 100 % baseada no componente ácido fosfórico. Logo após, o caldo sofre um segundo aquecimento, onde sua temperatura é elevada a 105 °C.

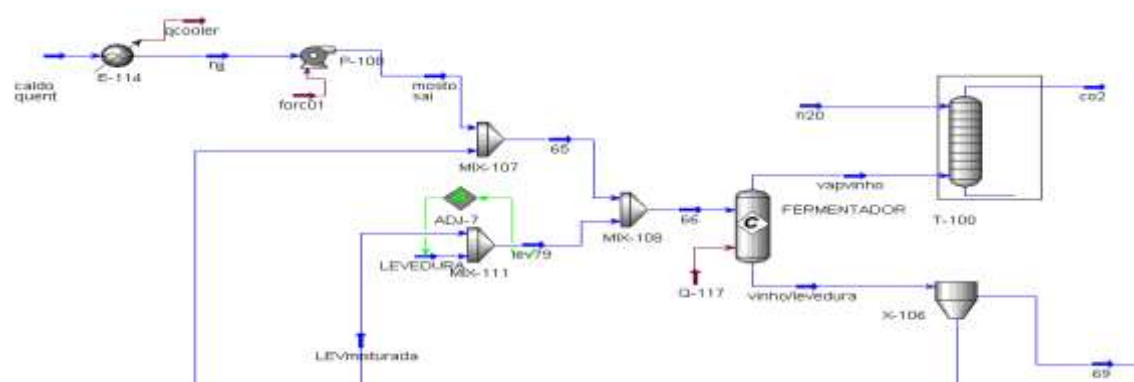


4. Integração Do Processo

A integração do processo ocorre na coluna do fermentador, através da entrada do mosto que é produzido a partir do caldo junto com a levedura, como é mostrada na Figura 1.

No anexo Figura 16, está apresentado o fluxograma da integração do processo.

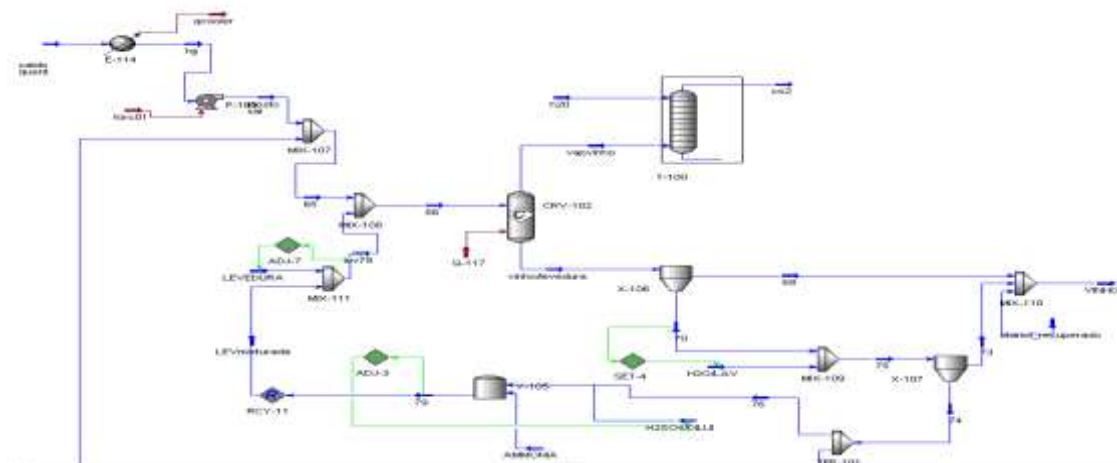
Figura 1: Integração do mosto do processo convencional no fermentador do processo de segunda geração



5. Fermentação

O reator utilizado na fermentação foi um reator de conversão. O fluxograma dessa etapa do processo é mostrado na Figura 2. O vapor que se forma na fermentação é constituído basicamente por CO₂, e é enviado a uma coluna de absorção, porque além do CO₂ existe uma pequena fração de álcool nesse vapor. O produto de fundo dessa coluna é uma corrente contendo água e etanol, os quais serão adicionados ao produto líquido da fermentação para juntos formarem o vinho que irá alimentar a destilação. O produto da fermentação que é uma mistura de vinho/levedura passa por um sistema de duas centrifugas para que a levedura seja removida e a fase líquida apenas, possa ir para destilação.

Figura 2: Fluxograma da unidade de fermentação



6. Destilação E Desidratação

O fluxograma do processo de destilação é mostrado na Figura 3. Na Tabela 2 são apresentadas as configurações e especificações realizadas na simulação. Na Figura 15, no anexo se encontra o fluxograma completo da destilação do processo.

Figura 3: Fluxograma do Processo de Destilação

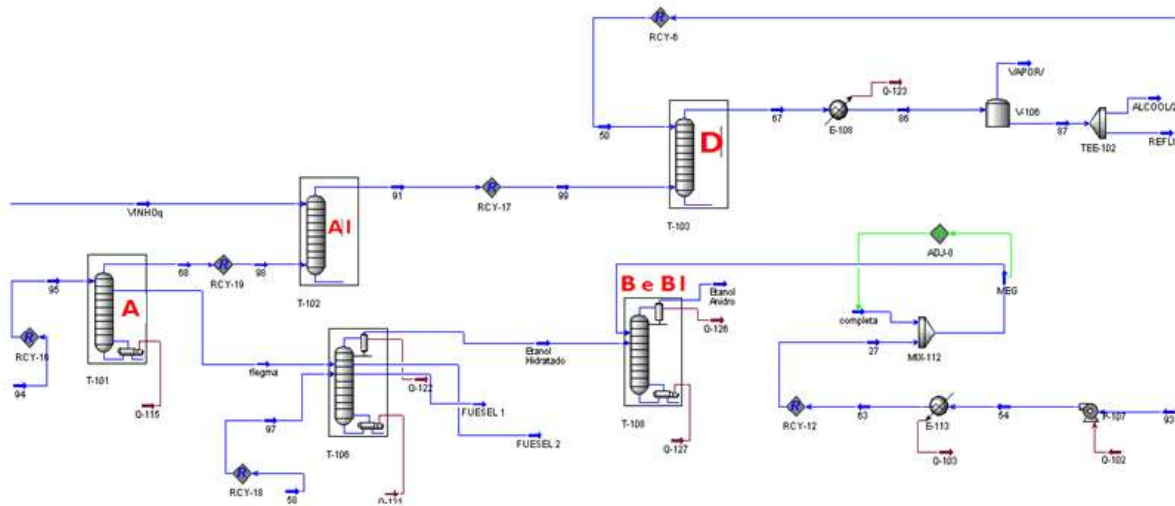


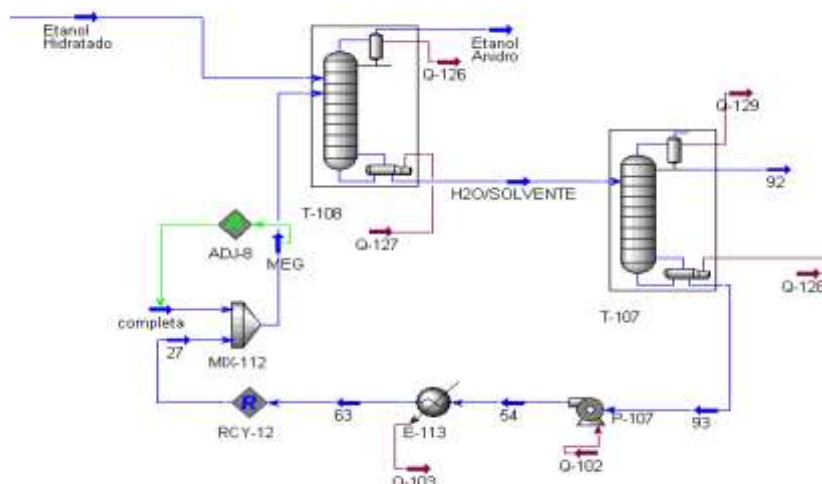
Tabela 2: Parâmetros utilizados na simulação da unidade de destilação.

Parâmetros de Simulação		
Coluna A	Número de pratos	18
	Pressão no Topo (KPa)	139,3
	Pressão no fundo (KPa)	152,5
	Posição de retirada da flegma vapor	17
	Carga térmica do refeedor (KW)	7845
	Fração mássica de etanol na flegma vapor %	10
	Fração mássica de etanol na vinhaça %	0,0002
Coluna A1	Número de pratos	8
	Pressão no topo (kPa)	136,3
	Pressão no fundo (kPa)	139,3
Coluna D	Número de pratos	6
	Pressão no topo (kPa)	133,8
	Pressão no fundo (kPa)	136,3
	Temperatura do condensador (°C)	35
Coluna B e B1	Número de pratos	45
	Pressão no topo (kPa)	116
	Pressão no fundo (kPa)	135,7
	Posição de alimentação da Flegma líquida	23
	Posição de alimentação da Flegma vapor	23
	Carga térmica do refeedor (kW)	9402
	Posição de retirada de óleo fúsel	26 e 4
	Vazão de retirada de óleo fúsel – prato 26 (kg/h)	80
	Vazão de retirada de óleo fúsel – prato 4 (kg/h)	20

O processo de desidratação foi feito por meio da destilação extrativa com monoetilenoglicol em duas colunas: coluna extrativa e coluna de recuperação de solvente. A primeira coluna (Extrativa) possui 35 pratos e recebe a alimentação de solvente próxima ao topo e de vapores de álcool perto do fundo. A segunda coluna (Recuperação) possui 10 pratos, e no seu topo é obtido água.

A coluna de recuperação operou a uma pressão de 20kPa e temperatura no refeedor foi próximo a 140°C. Na Figura 4, está apresentado o fluxograma do processo de desidratação.

Figura 4: Fluxograma do Processo de Desidratação



7. Hidrólise

A suspensão de celulose obtida na etapa de deslignificação recebe 10% em massa de água e ácido sulfúrico em uma concentração de 0,07% em massa. A mistura é aquecida a temperatura de 205°C e pressurizada a 30 bar. Nas Figuras 5 e 6 são representados os fluxogramas do processo de hidrólise. Já na Tabela 3 são apresentados as reações utilizadas na simulação, como também as conversões fornecidas.

Tabela 3: Reações e taxas de conversões utilizadas na hidrólise. Fonte: Dias, 2008.

Reação	Conversão
Formação de hexoses a partir da celulose	80,60%
Decomposição de glicose a hidroximetilfurfural (HMF)	2,00%
Formação de pentoses	99,00%
Formação de hexoses a partir da hemicelulose	99,00%
Decomposição de pentose a ácido acético	1,82%
Decomposição de pentose a furfural	80,00%

Figura 5: Esquema de adição de ácido sulfúrico e diluição da suspensão de celulose.

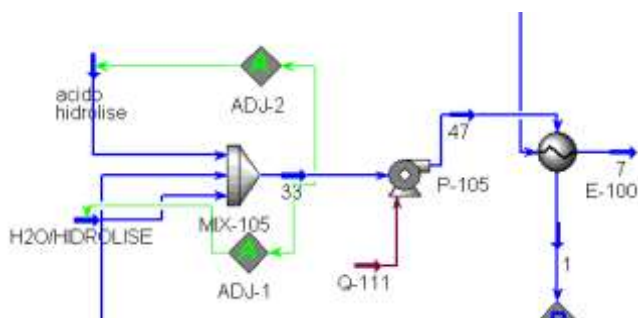
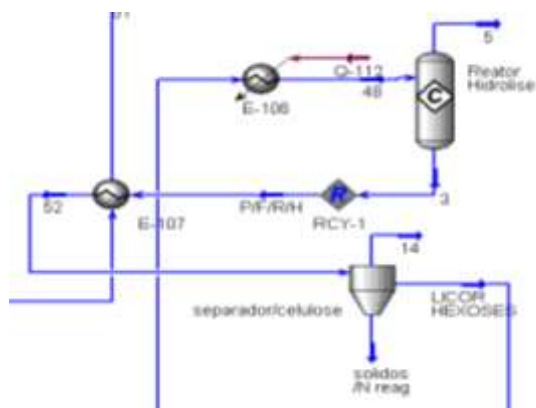


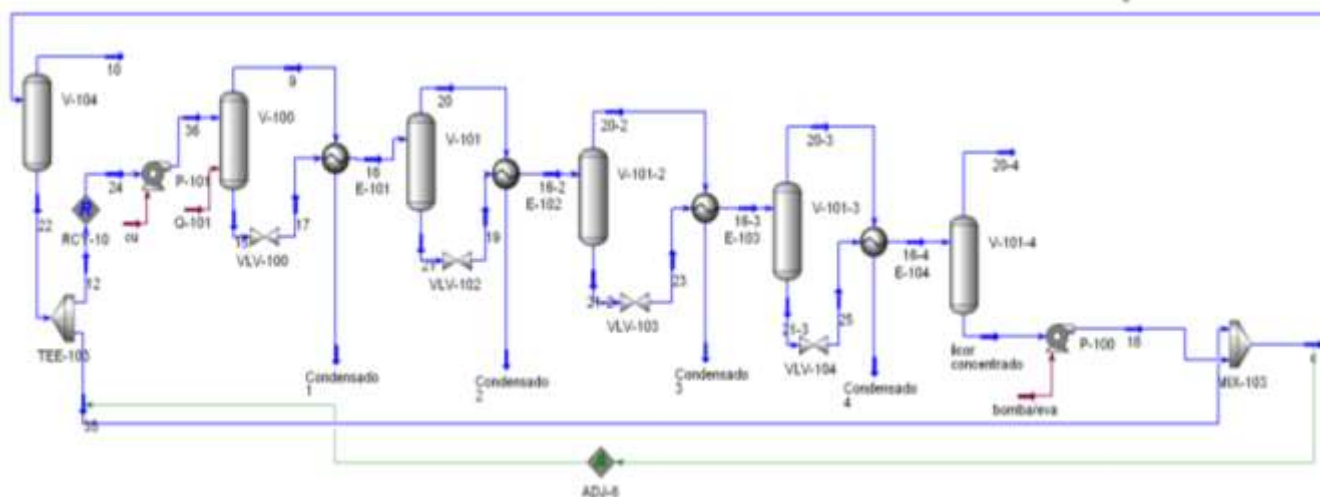
Figura 6: Fluxograma do reator de hidrólise.



A reação é terminada após o resfriamento do produto de fundo do reator através da troca de calor com a corrente de alimentação da coluna de recuperação de solvente. O produto de fundo é enviado a uma centrífuga, obtendo-se duas correntes: licor de hexoses e sólidos não reagidos. Como mostra a Figura 6

Na Figura 7, observa-se a etapa da concentração do licor de hexoses, cuja fração mássica é de aproximadamente 9% em massa de glicose, para que o licor possa ser usado num processo de fermentação convencional e deste modo, possa ser misturado ao mosto obtido do caldo da cana-de-açúcar.

Figura 7: Fluxograma do processo de evaporação do múltiplo efeito



8. Resultados e Discussão

O bagaço é alimentado no reator de pré-hidrólise obtendo o licor de pentoses e uma mistura de celulose e lignina (celulignina).

Inicialmente foi simulado o processo de hidrólise, este é semelhante ao processo DHR (Dedini Hidrólise Rápida) o qual produz em média 100L de etanol para cada tonelada de bagaço. Já na hidrólise deste processo foram produzidos 450 kg de Álcool Anidro por tonelada de bagaço o que

equivale aproximadamente 90L em volume. Este resultado é justificado pela ausência de dados concisos a respeito do processo. Como resultado desta etapa foi obtido o licor de hexoses que contém uma fração mássica de aproximadamente 9% em massa de glicose.

O licor de hexoses formado a partir da hidrólise da celulose é enviado ao processo de fermentação, e junto com a adição do mosto formado a partir do caldo concentrado do processo convencional, obtendo o vinho. As vazões de vinho, Álcool Hidratado e álcool anidro são fornecidos na Tabela 4.

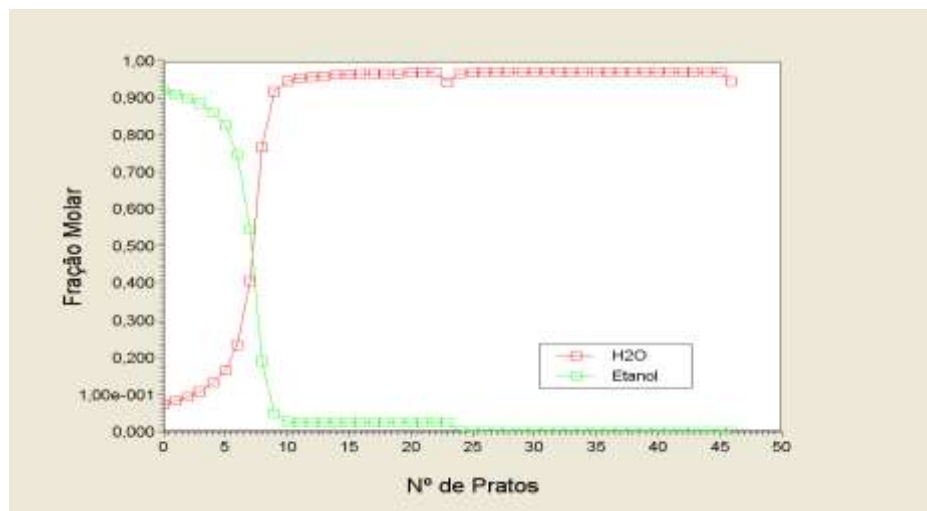
Tabela 4: Vazões de vinho, álcool hidratado e álcool anidro.

Parâmetro	Vazão (ton./h)
Vinho	3594
Álcool Hidratado	260,3
Álcool Anidro	242,4

Quantificou-se a produção total de vapor e condensado do processo. O vapor é formado no flash que mantém a temperatura da etapa de pré-hidrólise, na pré-concentração da lignina e da glicose. E o condensado é formado no evaporador múltiplo efeito, na obtenção do licor de hexoses concentrado.

A Figura 8 mostra a fração mássica do etanol hidratado e água, obtidos da coluna B-B1 de destilação com 45 pratos, na simulação o numero de pratos da coluna B-B1 foram obtidos de cima para baixo e foi observada uma maior fração mássica de etanol no topo e vai se tornando cada vez menor à medida que se desce ao longo da coluna. No perfil de temperatura é observado que no prato de alimentação ocorre resfriamento, porque o nível de crescimento da temperatura após esse prato é menor do que visto anteriormente. Para essa coluna, o gradiente de temperatura foi de 30 °C.

Figura 8: Perfil da fração mássica dos componentes ao longo da coluna B-B1



9. Desidratação do AHEC

Após a coluna B-B1, o etanol hidratado segue para coluna de desidratação, que fornece como produto de topo o etanol Anidro com uma pureza de 99.5 % de etanol.

Na coluna de desidratação ocorre a presença de etanol na fase líquida e vapor logo abaixo do prato de alimentação, quando o etanol entra em contato com o prato de alimentação de solvente, o mesmo se torna vapor e sai pelo topo da coluna como etanol anidro, a Figura 9 e 10 mostram essa transformação na fase líquida e vapor. O Etileno Glicol entra na coluna de desidratação na fase líquida e fica praticamente constante ao longo da coluna. Entretanto, existe uma fração de MEG na fase vapor no fundo da coluna, como é visto na figura 10. A coluna possui um gradiente de temperatura de 80 °C.

Figura 9: Perfil da fração mássica da água e etanol na fase líquida ao longo da coluna de destilação

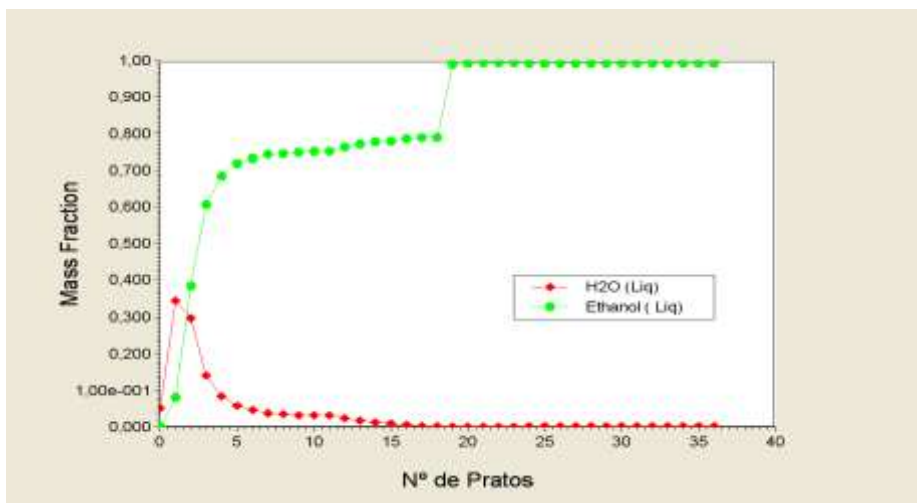
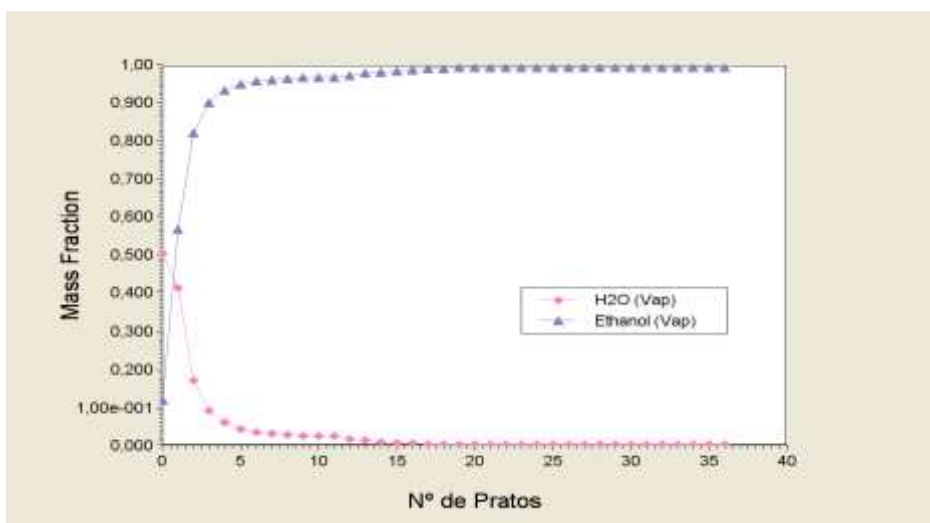


Figura 10: Perfil da fração mássica da água e etanol na fase vapor ao longo da coluna de destilação extrativa

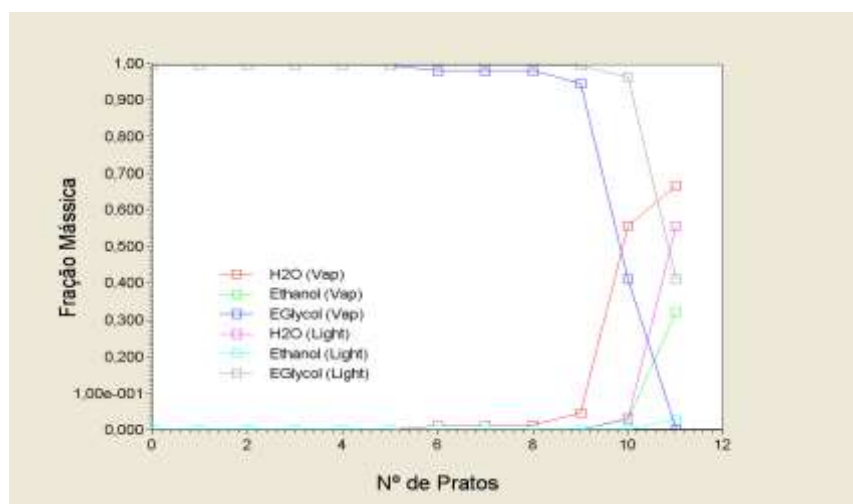


10. Recuperação do MEG

A coluna de recuperação possui 10 pratos, na sua base a fase líquida possui apenas o MEG, e a fase vapor contém água e MEG, onde este último está em maior quantidade, já no topo da coluna a fração mássica de MEG é nula como é visto na Figura 11.

O etanol que foi formado como produto de base da coluna de desidratação é removido com água. O refeedor obteve uma temperatura de 100 °C como mostra a Figura 11 e o MEG recuperado possui uma pureza de 96%.

Figura 11: Perfil da fração mássica dos componentes ao longo da coluna de recuperação de MEG.



11. Conclusões

Para o processo de produção de bioetanol via hidrólise do bagaço acoplado a um processo convencional no simulador, foi obtido um ótimo percentual de pureza do etanol anidro de 99,5%, com uma alimentação de 70,07 ton/ h .

Também foi obtida através da recuperação, o MEG com 96% de pureza, mostrando que a composição se manteve dentro do ideal e que o processo mostra um grande potencial, devido a alta de conversão das frações do bagaço e do caldo.

Referências

CAMELO, M. C. S; Simulação de melhorias no processo de produção do etanol de segunda geração. Monografia (Graduação) | Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

CGEE. Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil cgee 2004, Brasília, 2004.

DIAS, M.O.S.; *Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço*. Dissertação (Mestrado) | Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

LIRA, R. L. T. C. *Simulação e Otimização do processo convencional de produção de etanol hidratado e anidro*. Monografia (Graduação) | Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MEIRELLES, A. J. A. *Expansão da produção de bioetanol e melhoria tecnológica da destilação alcoólica*. In: FAPESP. Workshop do Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo: Produção de etanol. Lorena, 2006.

Recebido: 23/10/2013

Aprovado: 17/05/2014