

XI-022 - OTIMIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO DA ETAPA REACIONAL DE UMA USINA PILOTO DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL COM CONTROLE DE PERDAS UTILIZANDO O ASPEN

Thibério P. Costa Souza⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Otimização de Processos Químicos Industriais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutorando em Simulação de Processos Químicos Industriais na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

James Correia de Melo⁽²⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Otimização de Processos Químicos Industriais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Coordenador da Divisão de Biocombustíveis do Centro de Tecnologias do Nordeste (CETENE).

José Marcos F. da Silva⁽³⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Processos Químicos Industriais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutorando em Simulação e Modelagem de Processos Químicos Industriais pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professor da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Endereço⁽¹⁾: Rua Acadêmico Hélio Ramos, 272 – Várzea - Recife - PE - CEP: 50740-530 - Brasil - Tel: (81) 9932-8967 - e-mail: thiberio_souza@hotmail.com

RESUMO

Com a crescente demanda por combustíveis e uma preocupação global com os efeitos obtidos pelos gases causadores do efeito estufa, diversos países estão procurando alternativas para atender as necessidades de se utilizar um combustível ecologicamente correto e renovável. Por ser um combustível não renovável, o petróleo será um item cada vez mais raro, fazendo com que a produção de diesel de origem fóssil seja comprometida. Dessa forma, diversos países a exemplo do Brasil, estão adotando uma solução para reduzir este impacto. Uma das soluções, na tentativa de substituir o diesel, é a aplicação de biocombustíveis em motores automotivos. Uma tecnologia que vem se mostrando promissora é o biodiesel, uma vez que o mesmo pode ser obtido através da reação de um óleo de origem vegetal com um álcool.

O estudo do processo através de simuladores computacionais, ganha mais importância devido a grande precisão dos resultados simulados com os resultados reais obtidos numa planta industrial. Por outro lado, o estudo da viabilidade econômica preliminar pode ser um bom guia para a síntese de processos. Neste trabalho foi realizado um estudo aplicado a uma planta piloto de produção de biodiesel (Caetés-PE/Brasil) onde foi possível comparar os resultados simulados com os valores reais da planta. O estudo da viabilidade operacional foi focado na etapa reacional do processo, onde foi possível verificar que a melhor faixa de operação se deu entre 40°C e 60°C, na qual esta representa 58% do consumo energético de todo o processo.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação, Planta de Biodiesel, Aspen, Controle de Perdas, Consumo Energético.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o biodiesel vem se tornando uma solução viável para a substituição do diesel de origem mineral. A transesterificação do óleo vegetal ocorre por uma reação reversível, onde o óleo é transformado em biodiesel pela mudança na porção álcool/óleo, cuja otimização depende de fatores como a razão molar, o tipo de catalisador, a acidez da matéria prima, a temperatura, pressão e tempo de reação e a agitação do meio reacional (Aranda et al., 2009).

Contudo para se obter um biodiesel economicamente viável, é necessário que se realizem estudos para torná-lo cada vez mais barato. Dentre as melhorias que devem ser realizadas, estão aquelas que se refere ao processo de produção industrial em larga escala.

Um dos motivos que influenciam no preço do biodiesel é o custo associado a sua produção. Atualmente as usinas para a produção do biocombustível utilizam uma configuração do processo em regime de batelada. Este

tipo de projeto atendeu bem as necessidades de produção com uma ótima qualidade para uma demanda inicial desse combustível. Apesar de ser um processo cuja operação está dominada, a utilização de reatores em regime de batelada apresentam certas desvantagens quando se trata de aumentar a produção e reduzir o custo operacional, visto que cada ciclo de reação necessita de um tempo aproximado de uma hora em cada reator. Contudo para se obter um biodiesel economicamente viável, é necessário que se realizem estudos para torná-lo mais barato a ponto de vista industrial. Devido a isso, são necessários mais estudo para melhorar esse processo produtivo, garantindo assim um produto de alta qualidade, disponível para atender o mercado, e com preço acessível ao consumidor.

No estado de Pernambuco funciona uma usina piloto de dimensões industriais para a produção de biodiesel construída pelo centro de tecnologias estratégicas do nordeste - CETENE na qual a sua operação tem como propósitos fins de pesquisa. A usina lotada na cidade de Caetés/PE possui uma capacidade de produção de 2.000 litros/dia fazendo uso da configuração em batelada, onde realiza estudos com diversos tipos de óleos ao exemplo do algodão, oiticica e pinhão manso. A usina tem como objetivo estudar a produção de biodiesel de maneira eficiente para que esses conhecimentos sejam aplicados em novos projetos de produção do biocombustível. Este trabalho tem por objetivo simular uma planta de produção de biodiesel usando o ASPEN, otimizando assim o seu processo a ponto de se obter um produto com qualidade reduzindo gastos com energia. O foco do trabalho foi o de garantir uma eficiência energética na etapa reacional da usina piloto.

MATERIAIS E MÉTODOS

A principal ferramenta de trabalho usada foi o simulador de uso comercial Aspen Plus User Interface da Aspen Tech. Este programa simula um processo químico fazendo uso de diversos pacotes termodinâmicos. Além do simulador, foram usados dados da usina de biodiesel de Caetés/PE.

A usina piloto para a produção de Biodiesel (figura-1a) trabalha com sua etapa reacional (figura-1b) operando em regime de batelada. Ao longo de todo o trabalho, foram coletadas várias amostras da produção na qual foram submetidas à cromatográfica gasosa (figura1-c).



Figura 1. Usina piloto de produção de biodiesel (a). Etapa reacional (b). GC do laboratório (c).

O resultado das amostras serviu para criar os componentes químicos que por sua vez foram inseridos no simulador Aspen Plus User Interface da Aspen Tech. As amostras foram caracterizadas no laboratório de combustíveis da Agência Nacional do Petróleo (ANP) que possui a certificação NBR ISO/IEC 17025.

Em seguida, foi realizado um levantamento das principais operações unitárias da usina e inseridas em um *flow sheet* do processo.

A fim de se conseguir simular a usina piloto, foi adotado valores das variáveis coletadas no processo para que a simulação fosse o mais representativo possível. A alimentação de óleo e álcool na simulação foi feita respeitando o procedimento adotado na própria usina de Caetés/PE. Foram usados 270 kg/h de uma mistura de óleos que corresponde a Oleate, Estearate, Linoleate e Palmitate, valores estes obtidos pela caracterização das amostras coletadas na usina. Esta mistura alimentou o reator batelada a uma temperatura inicial de 25°C com uma pressão de 1 atm. Junto ao óleo, foi inserido no reator metanol (60 kg/h) conforme adotado pela usina. Em seguida o produto da reação foi separado por um decantador onde a fase leve passou por uma etapa de tratamento, enquanto que na fase pesada procurou-se recuperar o excesso de álcool. A Figura 2 mostra o *flow sheet* de todo o processo industrial elaborado no Aspen Plus User Interface.

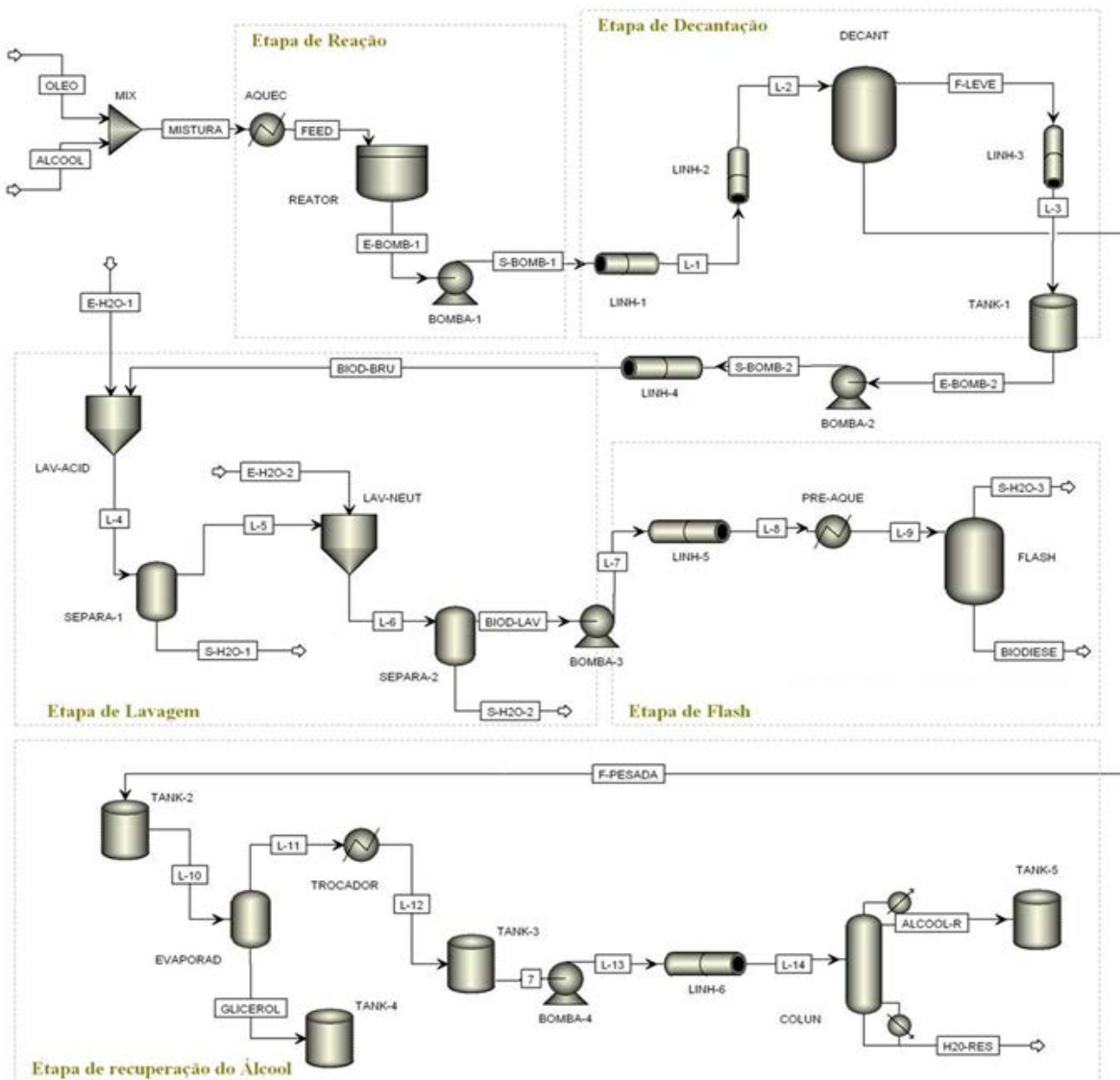


Figura 2: Flow sheet da planta piloto de Caetés/PE - Brasil.

Diante do flow sheet montado no simulador, procurou-se otimizar o processo produtivo da planta industrial de Caetés/PE. Foi realizado vários testes no simulador na procura de melhorar a produção. A estequiometria da reação de transesterificação pede uma relação molar de três partes de álcool para um de óleo. Como a reação é reversível, uma maneira de garantir o deslocamento da reação para o lado dos produtos é aumentando a quantidade de álcool usado. Na usina piloto se trabalha com um excesso de 100% em álcool, o que dá uma relação 6x1 (molar) de álcool x óleo. Essas informações de operação e de projeto da usina foram inseridas no simulador para representar a usina de forma computacional. Além disso, foram inseridos valores das cinéticas da reação (Melo, 2007) e escolhido um modelo termodinâmico apropriado. Segundo Kuramochi (2009) os modelos UNIFAC original e o Dortmund-UNIFAC foram os mais adequados para representar o ELV. O modelo UNIFAC-LLE proporcionou uma melhor representação do ELL do metanol metil-oleato de glicerina e metanol-água aplicada ao processo de água de lavagem. Estes modelos foram usados neste trabalho. O estudo da viabilidade econômica foi feito seguindo o método do Custo Anualizado Total Unitário CATU (Douglas, 1988). O cálculo leva em consideração o custo fixo total anualizado do investimento com os custos variáveis de processo, todos atrelado à produção anual (capacidade da planta).

RESULTADOS

Como o a principal operação unitária do processo de produção de biodiesel da usina de Caetés/PE é a etapa formada pelos reatores em regime de batelada, este trabalho concentrou esforços para otimizar o processo reacional visto que este terá um impacto muito grande no custo de produção.

A variável que procurou ser manipulada para tentar melhorar o processo produtivo foi a temperatura de operação do reator. Sabe-se que a temperatura é um fator importante na velocidade da reação, e que esta pode favorecer a reação de transesterificação. Procurou-se trabalhar a etapa reacional da usina simulada com uma faixa de temperatura que resultasse na melhor condição de operação para o processo. Adotou-se a temperatura inicial de operação do reator como ambiente (25°C) e após isso foi realizado várias simulações variando a temperatura de 5 em 5 graus centígrados, chegando a um valor na qual se verificou que a conversão não seria mais afetada. Foi observado um perfil de temperatura pela conversão em função do tempo de reação, na qual se estabeleceu um tempo máximo de 60 minutos a fim de representar o processo em batelada. A Figura 3 mostra os perfis de concentração para uma faixa de temperatura de 25°C até 70°C aplicado a etapa reacional da planta industrial.

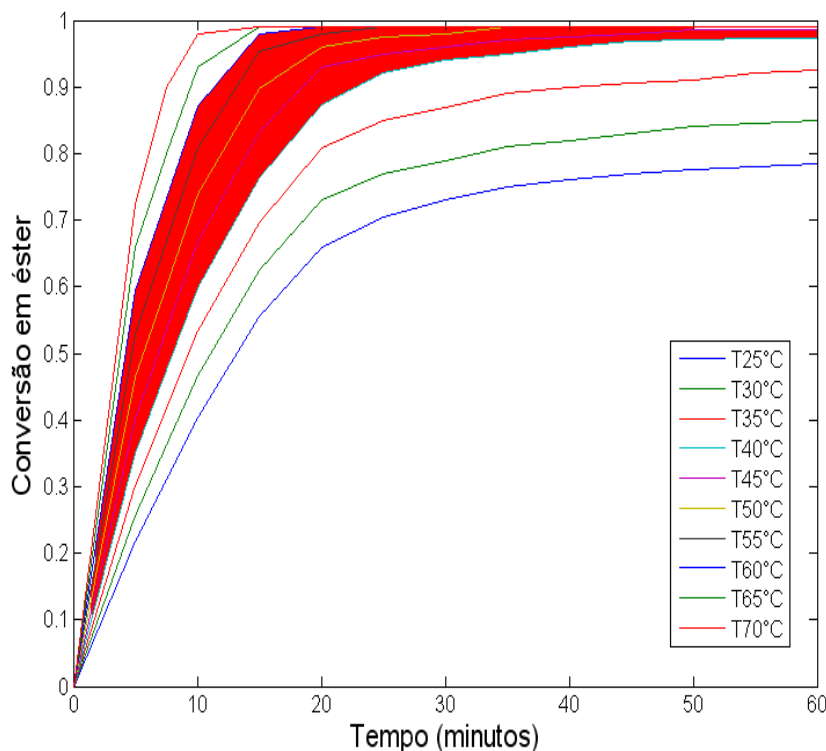


Figura 3: Perfis de concentração pela temperatura contemplando a faixa de operação.

Foi observado que para valores de temperatura acima dos 70°C, a conversão em éster não se alterou significativamente o que foi suficiente para ser adotado como critério de parada.

Diante dos resultados da Figura 3, foi realizado um estudo do custo operacional energético aplicado a esse processo. Verificou-se que a carga térmica aplicada a cada simulação com variação da temperatura, era cada vez maior, e que seu custo energético se alterava significativamente. Levou-se em consideração o custo energético atribuído à área rural, pois a usina piloto de Caetés/PE se encontra distante 250 km da Capital (Recife/PE). Procurou-se trabalhar com temperaturas acima de 40°C no reator, pois valores abaixo deste implicariam em conversões em éster abaixo dos valores exigidos pela norma ANP RES N°7 de 19/03/08. Quando se comparou o custo total aplicado à usina com a variação da temperatura no reator, observou-se que acima de 60°C o custo geral (material e energia) se tornava alto, o que invalidava a operação. Foi atribuída à faixa de trabalho de 40°C até 60°C para serem aplicados na etapa reacional da usina. Foram realizados vários testes de operacionalidade no reator da usina piloto com a faixa de temperatura obtida através da simulação (40°C a 60°C). Ao final de cada operação foi coletada uma amostra do produto (biodiesel) na qual se passou

por uma análise cromatográfica como vistos na Figura 4-a e figura 4-b. A usina passou a adotar como temperatura de operação 50°C uma vez que foi obtida uma conversão em éster de 97%.

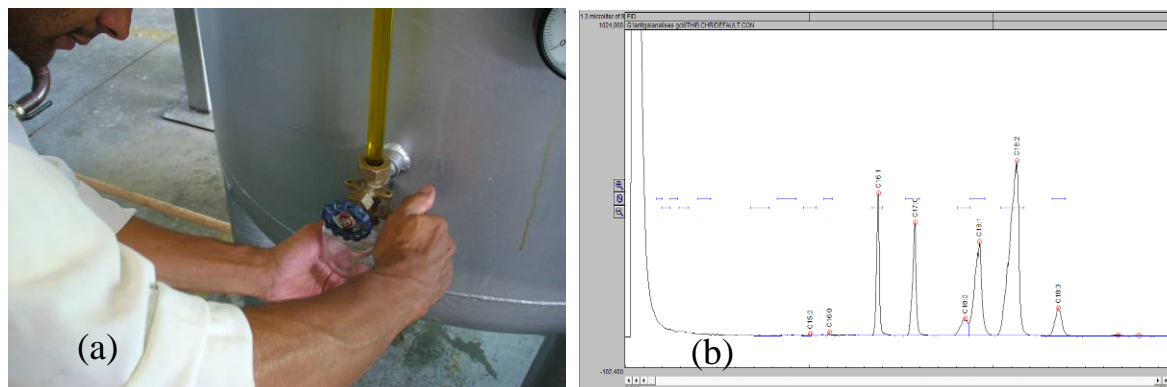


Figura 4: Coleta de amostra (a) para análise da composição no cromatógrafo a gás (b).

Em seguida, operou-se a planta com uma temperatura de 50°C no reator. Os resultados da análise cromatográfica das amostras mostraram um teor de 97% de ésteres. A Tabela 1 mostra as frações de Methyl Palmitate, Methyl Stearate, Methyl Oleate e Methyl Linoleate obtidas na amostra.

Tabela 1: Resultado das frações em éster na amostra da usina de Caetés/PE.

Componente	Número de Carbonos	Fração Mássica
Methyl Palmitate	C16:1	0,1122
Methyl Stearate	C18:0	0,0374
Methyl Oleate	C18:1	0,1969
Methyl Linoleate	C18:2	0,4697

Os resultados das amostras se mostram bastantes satisfatórios quanto ao teor de Éster obtido, levando a usina a padronizar sua faixa de operação para a temperatura de 40°C a 60°C. Hoje a usina piloto trabalha com uma temperatura em torno de 50°C para a rota metflica. Diante desses resultados, foi realizada estudo do custo operacional aplicado ao processo (usina em batelada) levando em consideração o custo com óleo e álcool usado na reação. Pode-se verificar que o custo energético aplicado ao processo representa cerca de 4% (Figura 5-a) quando comparado ao custo dos demais insumos usados no processo, o que fica bem próximo aos resultados encontrados na literatura (Kulchanat and Ampol, 2007). Já o consumo energético aplicado à etapa reacional representou 58% quando comparado ao restante do processo (Figura 5-b).

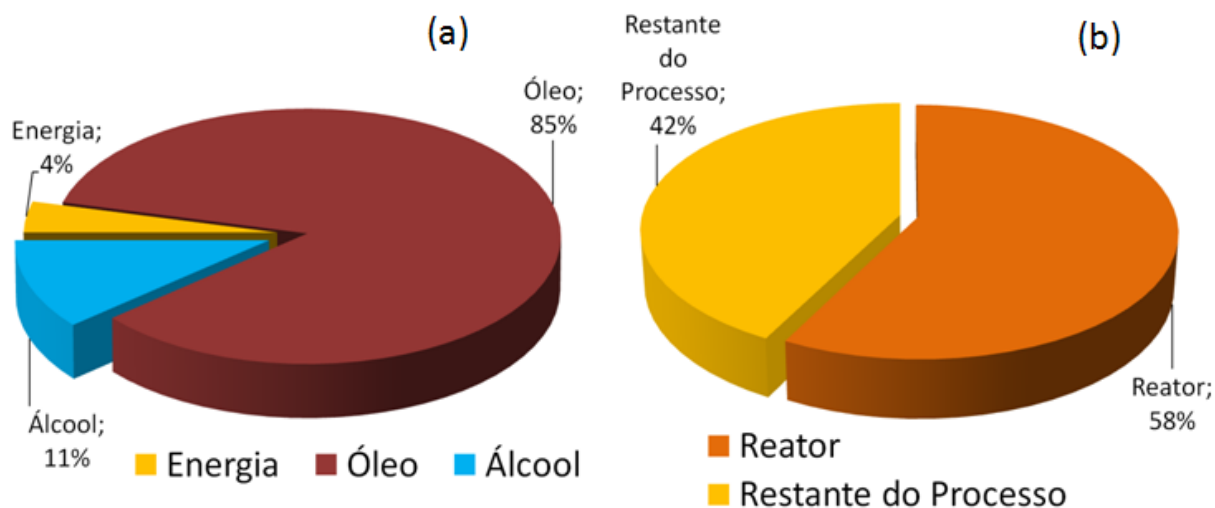


Figura 5: Custo energético do processo (a). Consumo energético do processo (b).

Em seguida, foi realizado um estudo da viabilidade econômica preliminar da etapa reacional do processo. Foi avaliado o custo total aplicado à etapa de reação em função da temperatura de operação do processo de transesterificação. Para tanto, foi usado os resultados obtidos na simulação do processo. A Figura 6-a mostra a variação do custo total (material e energia) aplicado à usina em função da temperatura. A Figura 6-b mostra o custo anualizado total unitário – CATU aplicado à usina em regime de batelada.

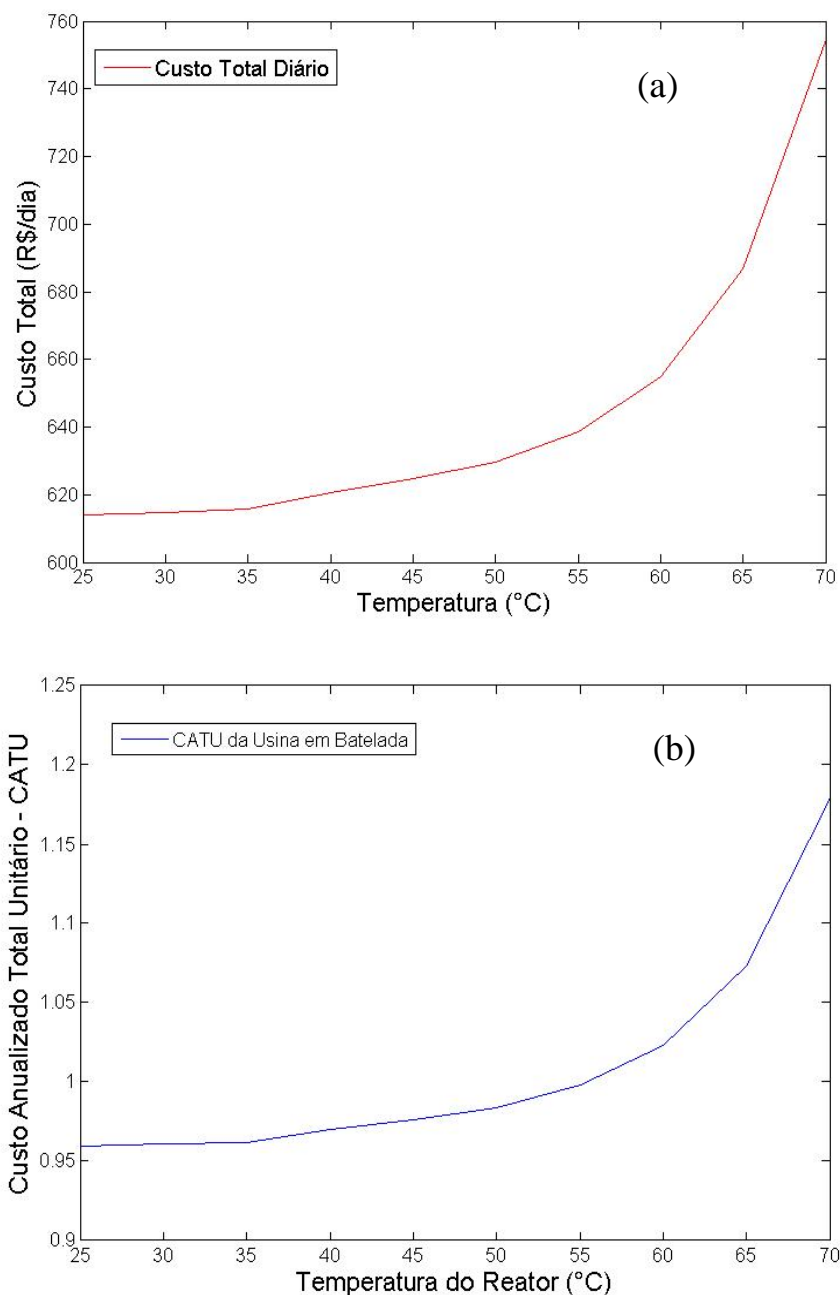


Figura 6: Custo total da usina em função da temperatura (a). CATU do processo (b).

Os gráficos acima mostram que é possível verificar que a usina opera próximo do seu limite de viabilidade operacional, pois com valores de CATU acima da unidade indicam que o processo não é viável por não apresentar lucro (Figura 6-b). Ainda na Figura 6-b observou-se que o limite de operação para a temperatura do reator é de 55°C, pois a partir deste ponto os custos começam a se tornar elevados demais para o processo, o que confirma que a melhor faixa de operação ao processo para a temperatura do reator se encontra entre 40°C e 60°C como visto na figura 3.

CONCLUSÕES

Os recursos energéticos estão se tornando cada vez mais caros devido a grande demanda por energia em todo mundo. Saber produzir com eficiência reduz o consumo desnecessário de energia em um processo produtivo seja ele qual for.

Ao longo de todo o trabalho foi verificado que a usina de produção de biodiesel de Caetés/PE conseguiu produzir um produto final dentro dos parâmetros de qualidade exigidos pela ANP. O estudo realizado na etapa reacional da usina mostrou que a faixa ótima de temperatura para a operação do reator foi de 40°C a 60°C. Os resultados mostraram que para valores acima de 60°C, o custo energético atribuído ao reator não compensaria o esforço, uma vez que se gastaria mais energia para produzir um produto com a mesma qualidade.

Adotando um valor de temperatura de 50°C para a etapa reacional, garante-se que o custo aplicado ao processo esteja em um valor viável controlando assim as perdas energéticas ao longo do processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARANDA, D. A. ; GONÇALVES, J. A.; PERES, J. S.; RAMOS, A. L.; de MELO, C. A. R.; ANTUNES, O. A. C. ; FURTADO, N. C. ; TAFT, C. A. The use of acids, niobium oxide, and zeolite catalysts for esterification reactions. *Journal of Physical Organic Chemistry*, v. 22, p.709-716, 2009.
2. DOUGLAS, J. M., *Conceptual Desing Of Chemical Processes*, McGraw-Hill, 1988.
3. MELO, J. C., STRAGEVICH, L., FILHO, J. G. A. P., *Otimização da Produção de Biodiesel*, 2007.
4. KURAMOCHI H.; MAEDA K.; KATO S.; OSAKO M.; NAKAMURA K.; SAKAI S., Application of UNIFAC Models for Prediction of Vapor-Liquid Equilibria and Liquid-Liquid Equilibria Relevant to Separation and Purification Processes of Crude Biodiesel Fuel, *Fuel*, 88(8), pp. 1472-1477, 2009
5. KULCHANAT KAPILAKARN AND AMPOL PEUGTONG; A Comparison of Costs of Biodiesel Production from Transesterication; *International Energy Journal*, 8(1), pp. 1 – 6, 2007.