

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PRELIMINAR PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL POR DESTILAÇÃO REATIVA

J. P. SILVA¹, T. P. C. SOUZA¹, D. E. S. CAVALCANTI¹, B. F. SANTOS¹ E J. M. F. SILVA¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: josivan_silva@hotmail.com

RESUMO – O biodiesel é um combustível renovável, cujo a demanda por tem crescido nos últimos tempos, o processo de produção por destilação reativa tem se mostrado mais favorável que o processo convencional de produção. Diversos trabalhos na literatura demonstram as vantagens significativas da destilação reativa sobre o processo sequencial convencional, como por exemplo, a alta taxa de conversão química e o custo reduzido de operação. Este estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica preliminar da produção de biodiesel utilizando a destilação reativa, isto foi feito partindo de condições otimizadas de produção, e seguindo o método do Custo Anualizado Total Unitário (CATU), que leva em consideração o custo fixo total anualizado do investimento assim como os lucros obtidos. Partindo deste estudo foi possível concluir que a destilação reativa se mostra promissora quando se deseja reduzir custos e aumentar a produtividade de biodiesel.

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível renovável, que pode ser utilizado como um substituto do diesel, o biodiesel pode ser produzido por transesterificação de um óleo ou gordura, junto a um álcool como metanol ou etanol, sendo metanol o mais utilizado. A demanda por biodiesel tem crescido nos últimos tempos de acordo Beatriz *et al.* (2011), e a destilação reativa tem se mostrado economicamente mais favorável que o processo convencional de produção, pois é uma operação química que reúne em uma unidade reações químicas e separação em um mesmo processo, a destilação reativa se torna uma alternativa efetiva para a combinação tradicional de reatores e separadores especialmente quando se trata de reações reversíveis, como a transesterificação de óleos vegetais. Muitas vezes os custos associados à produção de biodiesel são elevados, tornando pouco viável a produção deste biocombustível, um estudo de viabilidade econômica se mostra necessário, a partir do mesmo é possível verificar se o processo pode mesmo ser posto em prática, e gerar lucros para o investidor.

O estudo da viabilidade econômica pode ser feito seguindo o método do Custo Anualizado Total Unitário CATU (Santana *et al.*, 2010; Haas, *et al.* 2006). O cálculo leva em consideração o custo fixo total anualizado do investimento com os custos variáveis de processo, todos atrelados à produção anual (capacidade da planta). Este mesmo método de análise econômica foi usado para comparar os efeitos da operação do processamento de Gás Natural em Plataforma Off-Shore (Sant' Anna, 2005).

Segundo Douglas (1988) e Hapel e Jordan (1975) o custo fixo anualizado (US\$/ano) corresponde aos custos associados ao investimento nos equipamentos centrais (ISBL – Inside Battery Limits – equipamentos) mais o custo operacional anual (ISBL Inside Battery Limits – operacional) que corresponde ao total gasto em utilidades (energia) e insumos (matérias-primas). O cálculo do CATU pode ser feito levando em consideração a soma do custo fixo com o custo operacional dividido pelo valor da produção (US\$/ano) como descrito pela Equação 1.

$$CATU = \frac{ISBL(equip) + ISBL(oper)}{Produção Anual} \quad (1)$$

Cada equipamento no processo possui um custo de projeto (ISBL) que será somado a fim de se obter o custo total dos equipamentos usados no processo. O cálculo dos ISBL dos equipamentos pode ser feito somando-se o preço de compra dos equipamentos, conforme Equação 11, multiplicando-se o somatório por um fator experimental. No presente trabalho, foi utilizado o fator de Lang (fL), pois o mesmo é a estimativa simplificada em função do tipo de processamento.

$$ISBL(equip) = f_L \sum I_{Ei} \quad (2)$$

O valor para o fator de Lang depende do tipo de processo usado, e o mesmo pode ser obtido pelo uso das Tabelas 1 e 2, e o valor fL pode ser calculado pela Equação 3 apresentada a seguir.

$$f_L = (1 + f_A)(1 + f_B) \quad (3)$$

fA e fB podem são obtidos pelas Equações 4 e 5 abaixo.

$$f_A = \sum_1^9 f_i \quad (4)$$

$$f_B = \sum_{10}^{12} f_i \quad (5)$$

Os valores das constantes para o ISBL de cada equipamento dependem do projeto, sendo corrigidos periodicamente pelo índice Marshall & Swift (<http://www.che.com/>).

No caso da destilação reativa, será levado em consideração a coluna de destilação e seus internos, assim como também em consideração o custo de operação e projeto. Os valores calculados para o custo do processo serão divididos pelo valor da produção anual, obtendo-se assim, o custo anualizado total unitário CATU. Já o valor da viabilidade econômica preliminar poderá ser obtido da seguinte relação (Equação 6) dada a seguir:

$$Viabilidade\ Econômica = (1 - CATU) \cdot 100 \quad (6)$$

Tabela 1 - Valor para o fator de Lang A

Fator	Tipo	Valor
f1	Instalação	0,15
f2	Isolamento	0,15
f3	Tubulação	0,75
f4	Fundações	0,10
f5	Edificações	0,07
f6	Estruturas	0,06
f7	Prevenção de incêndios	0,06
f8	Instalações elétricas	0,10
f9	Pintura e limpeza	0,06

Tabela 2 - Valor para o fator de Lang B

Fator	Tipo	Valor
f10	“Overhead” e custo de montagem	0,30
f11	Serviços de engenharia	0,13
f12	Eventuais	0,13

2. METODOLOGIA

O estudo da viabilidade econômica pode ser feito seguindo o método do Custo Anualizado Total Unitário CATU (Santana *et al.*, 2010; Haas, *et al.* 2006). O cálculo é feito a partir das Equações 1 a 6, e resulta em um valor que define a viabilidade do investimento, para valores negativos, há prejuízo e o investimento leva a uma despesa maior que o lucro resultante, para viabilidade igual a zero não há lucro ou prejuízo, para valores superiores a zero há lucro, o lucro é tão maior quanto for o valor da viabilidade econômica preliminar.

Para o processo de produção e biodiesel é necessário considerar, ainda, diversos equipamentos, tais como decantadores, tanques e armazenamento entre outros, o fluxograma sugerido que foi avaliado economicamente está exposto na Figura 1

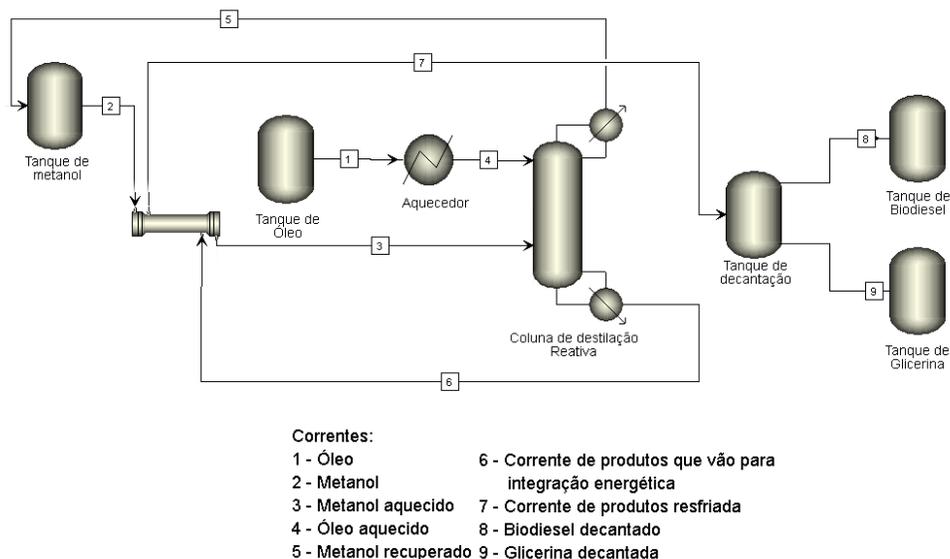


Figura 1: Fluxograma sugerido para a avaliação econômica preliminar.

A Figura 1 expõe um fluxograma simplificado para produção de biodiesel utilizando destilação reativa, onde o metanol e o óleo necessitam ser aquecidos para entrar na coluna com as condições adequadas, a carga térmica para aquecimento do metanol é proveniente de integração energética, sendo que as condições de temperatura impedem que o mesmo possa ser feito com o óleo, por isso o mesmo precisar ser direcionado a um aquecedor, com as correntes 3 e 4 nas condições adequadas, a coluna de destilação reativa processa a conversão em biodiesel, gerando também glicerina como subproduto, a corrente de topo consiste de metanol puro, e pode ser recuperado, já a corrente que contém os produtos, como descrito, é direcionada a um trocador de calor para aquecimento do metanol de alimentação, em seguida segue para um decantador, onde o biodiesel e a glicerina são separados.

Um algoritmo foi desenvolvido em MATLAB[®] para cálculo da viabilidade econômica, e segue a rotina exposta por Perlingeiro (2011). O cálculo foi feito para uma jornada diária de 8 horas, 5 dias por semana e 52 semanas por ano. No estudo realizado o valor do biodiesel foi obtido a partir do 24º leilão ANP. O preço utilizado nos cálculos dos compostos utilizados no processo estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de insumos e produtos na produção de biodiesel

Composto	Preço médio
Metanol	1,70 R\$ / l
Óleo vegetal	1,70 R\$ / l
Hidróxido de sódio	1,00 R\$ / Kg
Biodiesel	2,396 R\$ / l
Glicerina	0,50 R\$ / l

Foi considerado o preço do dólar como R\$ 2,2357 em 19/04/2014, o estudo foi feito para a segunda condição otimizada da dissertação de Silva (2013), pois apresentou uma configuração onde os equipamentos tem menores dimensões e perda de carga, assim como uma utilização de metanol inferior a primeira condição otimizada, nesta condição se utiliza 100 kg de trioleína (óleo) por hora, assim como 0,5 Kg/h de hidróxido de sódio e 10,87 Kg/h de metanol reagem e 1,42 kg/h saem com a corrente de fundo, totalizando 12,29 kg/h de metanol sendo consumido.

Para cálculo do CATU é necessário se utilizar o índice Marshall e Swift, que no 1º trimestre de 2014 tem valor estimado de 1843,8 segundo a revista chemical engineering. Foram levadas em consideração as dimensões resultantes do dimensionamento realizado por Silva (2013), utilizando o Aspen Plus® para as dimensões que garantiam o tempo de residência necessário. Considerou-se a coluna como sendo de aço inox, os cálculos também consideram custos com refeedor, condensador, decantador, tanques de armazenamento e bombas, Sendo a coluna de destilação e o decantador com 0,11 m³ de volume cada, e os 4 tanques de armazenamento com 1,57 m³ cada. O custo com energia elétrica tanto para aquecimento quanto para as bombas também foram levados em consideração, tendo como referência o custo do KWh informado pela ELETROACRE (Companhia Energética do Acre) de R\$ 0,42 KWh em 19/04/2014 pois este é o KWh mais caro do Brasil, utilizando assim o caso mais pessimista possível. O cálculo também leva em consideração o salário associado a um operário trabalhando na operação do equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa desenvolvido em MATLAB® utiliza as equações de 1 a 6 pelo processo descrito na metodologia. Gerando as seguintes informações:

AVALIAÇÃO ECONÔMICA PRELIMINAR

PRIMEIRO ANO:

Valor CATU: 1.086

Viabilidade econômica: -8.59

Investimento total: US\$ 96446.80

Custo total com equipamentos: US\$ 24729.95

 Custo com coluna: US\$ 1648.55

 Custo com refeedor: US\$ 50.83

 Custo com condensador: US\$ 130.51

 Custo com decantador: US\$ 1260.53

 Custo com tanques de armazenamento: US\$ 20777.77

 Custo com bombas: US\$ 861.76

Custo anual com energia: US\$ 3323.85

Custo anual com insumos: US\$ 195135.52

Lucro líquido anual: US\$ -24296.07

Lucro líquido anual: R\$ -54318.73

APÓS O PROCESSO PAGO

Valor CATU: 0.7448

Valor da viabilidade econômica: 25.52

Custo anual com energia: US\$ 3323.85

Custo anual com insumos: US\$ 195135.52

Lucro líquido anual: US\$ 72150.73

Lucro líquido anual: R\$ 161307.39

Os resultados apresentados acima mostram que o processo não é economicamente viável no primeiro ano de operação, pois a viabilidade econômica no primeiro ano é de -8,59 %, entretanto a viabilidade econômica sobe para 25,52 % do segundo ano em diante, mostrando que o processo é economicamente viável do segundo ano em diante. O investimento inicial é de US\$ 96446,48 equivalente a R\$ 215630,00, onde se inclui custo com equipamentos e as correções referentes ao fator de Lang, levando a um lucro líquido anual de US\$ 72150,73 ou equivalente a R\$ 161307,39 no segundo ano, o que compensa o déficit no primeiro ano de R\$ 54318,73, sendo isto para se obter uma conversão em biodiesel acima de 99,9%.

O trabalho de Silva (2013) resulta em uma configuração final na qual se atende a necessidade de purificação dos produtos e conversão necessária para adequar o biodiesel as normas da ANP (Agência nacional do petróleo e biocombustíveis), pois foram reduzidos o tempo de residência e as dimensões da coluna modelada. Perante esta condição mais favorável uma nova avaliação econômica preliminar foi realizada:

AVALIAÇÃO ECONÔMICA PRELIMINAR

PRIMEIRO ANO:

Valor CATU: 0.9539

Viabilidade econômica: 4.61

Investimento total: US\$ 95940.05

Custo total com equipamentos: US\$ 24600.01

 Custo com coluna: US\$ 1518.61

 Custo com refeedor: US\$ 50.83

 Custo com condensador: US\$ 130.51

 Custo com decantador: US\$ 1260.53

 Custo com tanques de armazenamento: US\$ 20777.77

 Custo com bombas: US\$ 861.76

Custo anual com energia: US\$ 3776.71

Custo anual com insumos: US\$ 292703.27

Lucro líquido anual: US\$ 19541.63

Lucro líquido anual: R\$ 43689.22

APÓS O PROCESSO PAGO

Valor CATU: 0.7277

Valor da viabilidade econômica: 27.23

Custo anual com energia: US\$ 3776.71

Custo anual com insumos: US\$ 292703.27

Lucro líquido anual: US\$ 115481.68

Lucro líquido anual: R\$ 258182.39

Como é possível observar as condições de operação na configuração final, tem diversas vantagens sobre a condição avaliada anteriormente. Pois apresenta uma condição de menor tempo de residência e maior produtividade, assim é possível produzir mais no mesmo período de tempo (Silva, 2013). O tempo de residência menor reflete no custo de investimento e operação, onde o estudo de viabilidade econômica preliminar, mostra um lucro de R\$ 43689,22 no primeiro ano de operação, quando na verdade se observou na condição anterior um déficit de R\$ -54318,73. A redução do tempo de residência foi obtida pela diminuição do número de pratos, o que levou a uma coluna menor e conseqüentemente mais barata, custando US\$ 1518,61, em contrapartida a coluna da condição anterior custou US\$ 1648,5, mostrando uma redução de custo e maximização de lucros efetiva.

4. CONCLUSÕES

O estudo de viabilidade econômica deste trabalho demonstra que a coluna resultante do segundo planejamento fatorial pode levar a um lucro líquido de R\$ R\$ 161307,39 anual após o segundo ano de operação, mesmo sendo uma coluna com dimensões compatíveis com as de uma planta piloto. A coluna resultante do segundo planejamento fatorial mostra uma viabilidade econômica de -8,59 % no primeiro ano, com déficit de R\$ -54318,73, sendo pago no segundo ano de operação com um valor da viabilidade econômica de 25,52 %, e um lucro líquido anual de R\$ 161307,39, mostrando que o processo em questão é rentável, mesmo em pequena escala. As condições resultantes do processo de otimização do trabalho de Silva (2013) levam a uma coluna que gera R\$ 43689,22 como lucro anual no primeiro ano e R\$ 258182,39 do segundo ano em diante, mostrando uma viabilidade econômica maior. Pode-se concluir que o processo de destilação reativa para a produção de biodiesel é viável e economicamente sustentável.

5. REFERÊNCIAS

BEATRIZ A.; ARAÚJO Y. J. K.; LIMA D. P.; Glycerol: a brief history and their application in stereoselective syntheses. **Quím. Nova** vol.34 no.2 São Paulo 2011

DOUGLAS, J.M. Conceptual design of chemical process. **McGraw-Hill**, New York (1987). 1988

HAAS M. J.; MCALOON A. J.; YEE W. C.; FOGLIA T. A. A process model to estimate biodiesel production costs. **Bioresource technology**, V97, pp 671 – 678, 2006.

HAPPEL, J.; JORDAN, D.G. Chemical process economics. **Chapman and Hall**, New York, NY. 1958. - 289 p.

PERLINGEIRO, C. A. G. Engenharia de processos, análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos, **Blusher**, Rio de Janeiro, pp 77-90, 2011.

SANT'ANNA A. A.; MEDEIROS J. L.; ARAÚJO O. Q F. Simulação de processamento de gás natural em plataforma off- shore. **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, 2005.

SANTANA, G. C. S.; MARTINS, P. F.; DA SILVA, N.; BATISTELLA, C. B.; FILHO, R. M.; MACIEL, M. R.W. Simulation and cost estimate for biodiesel production using castor oil. **Chemical engineering research & design**, V88, pp 626 – 632, 2010.

SILVA J. P. Avaliação por planejamento fatorial da produção de biodiesel via destilação reativa Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), **Universidade Federal de Pernambuco**, UFPE. Recife, Pernambuco, 2013.