MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO GLICEROL RESIDUAL

Liandra Cereda dos Santos (PIC/UEM), Patrick Bernardi de Freitas (PIC/UEM), Willian Dimas Pompeo Siqueira (Coorientador), Leandro Vitor Pavão (Orientador). E-mail: lvpavao2@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Química / Modelagem, Simulação, Síntese, Otimização e Controle de Processos

Palavras-chave: Simulação; Biodiesel; Glicerol Residual.

RESUMO

O glicerol bruto é o principal coproduto da indústria de biodiesel, sendo gerado em quantidade correspondente a aproximadamente 10% do volume de biodiesel produzido. Devido à presença de impurezas e aos custos associados à sua purificação, sua utilização para a obtenção de produtos de maior valor agregado constitui uma alternativa interessante. O presente estudo teve como objetivo modelar e simular a produção de biodiesel a partir de óleo microbiano hidrolisado obtido pelo cultivo de leveduras oleaginosas em glicerol bruto. Para isso, os balanços de massa foram implementados em *Python* para determinar as vazões de óleo microbiano empregadas na simulação, enquanto a etapa de produção de biodiesel foi modelada no simulador de processos DWSIM. Três vazões de alimentação de óleo microbiano foram consideradas para avaliar o comportamento do processo em diferentes condições de alimentação. Para avaliar a influência das condições operacionais, a temperatura do reator e a razão molar metanol: óleo foram variadas entre 110 e 170 °C e entre 6:1 e 10:1, respectivamente. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura de reação e da razão metanol:óleo favoreceu a produção de biodiesel nas três vazões de alimentação avaliadas, sendo a maior produção obtida a 170 °C e razão metanol:óleo de 10:1. Conclui-se que, nas condições estudadas, a rota proposta apresenta potencial para a produção adicional de biodiesel a partir da valorização do glicerol bruto, sendo a temperatura e a razão metanol:óleo variáveis relevantes para o desempenho do processo.

INTRODUÇÃO

A busca por fontes de energia renováveis e por alternativas aos combustíveis fósseis tem impulsionado a produção de biodiesel. Entretanto, o aumento da produção desse biocombustível também resulta na geração de quantidades significativas de glicerol bruto, principal coproduto do processo. Devido à presença de impurezas e aos custos associados à sua purificação, a valorização dessa

corrente por rotas capazes de gerar produtos de maior valor agregado constitui uma alternativa de interesse para a integração e maior aproveitamento das matérias-primas empregadas na cadeia do biodiesel (Siqueira, 2025).
Nesse contexto, o glicerol bruto pode ser utilizado como fonte de carbono para o cultivo de leveduras oleaginosas, capazes de acumular lipídios intracelulares e produzir o óleo microbiano (também chamado de *Single Cell Oil*). Estudos anteriores demonstram a viabilidade da utilização de glicerol residual para essa finalidade (Gao *et al.,* 2016). Assim, este trabalho teve como objetivo modelar e simular uma rota integrada na qual o glicerol bruto gerado na produção de biodiesel é empregado na obtenção de óleo microbiano, posteriormente hidrolisado e utilizado como matéria-prima para reações de esterificação com metanol, visando à produção adicional de biodiesel.

MATERIAIS E MÉTODOS

A modelagem do processo foi desenvolvida com base nos dados experimentais reportados por Chatzifragkou *et al*. (2011) para a levedura *Rhodotorula* sp. LFMB 22, selecionada em função de seu rendimento lipídico quando utiliza glicerol bruto como fonte de carbono e de seu perfil de ácidos graxos, constituído principalmente por ácido esteárico, linoleico, oleico, palmítico, palmitoleico. Inicialmente, os balanços materiais foram implementados na linguagem de programação *Python* para representar a obtenção do óleo microbiano hidrolisado. Para a simulação da produção de biodiesel (Figura 1) sob diferentes níveis de alimentação, foram considerados três cenários de vazão de óleo microbiano: 1,63 kg/h, 21,19 kg/h e 40,75 kg/h. O modelo termodinâmico adotado foi o NRTL, em razão da polaridade dos componentes envolvidos.

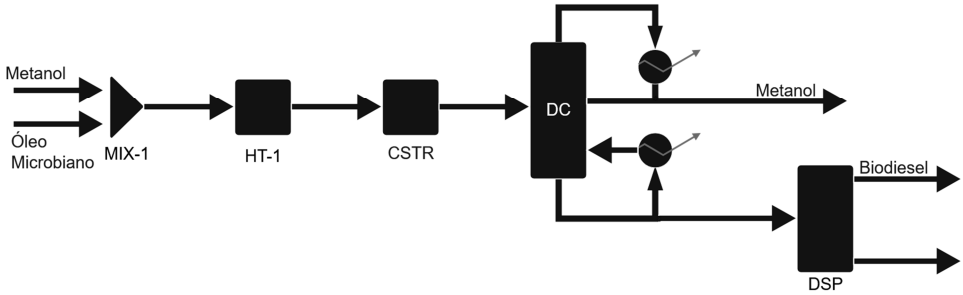


Figura 1 – Representação esquemática do processo de produção de biodiesel.

O óleo extraído das leveduras foi inicialmente misturado ao metanol, aquecido (HT-1) e alimentado a um reator contínuo (CSTR-1) contendo o catalisador heterogêneo Nb_2O_5/Al_2O_3 com tempo de residência de 1,5 horas. A modelagem cinética das reações de esterificação dos ácidos graxos livres contidos no óleo segue o modelo apresentado por Banchero e Gozzelino (2015). A corrente de saída do reator foi direcionada a uma coluna de destilação (DC) com razão de refluxo de 1,5, para recuperar parte do metanol não reagido. Posteriormente, as etapas *downstream* (decantadores e destilação à vácuo) foram representadas de forma simplificada por

meio de um separador ideal (DSP). Para avaliar a influência das condições operacionais sobre o desempenho do processo, a razão molar metanol:óleo e a temperatura do reator foram variadas entre 6:1 e 10:1 e 110 e 170 °C, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados da análise de sensibilidade realizada no DWSIM para as três vazões de alimentação adotadas.

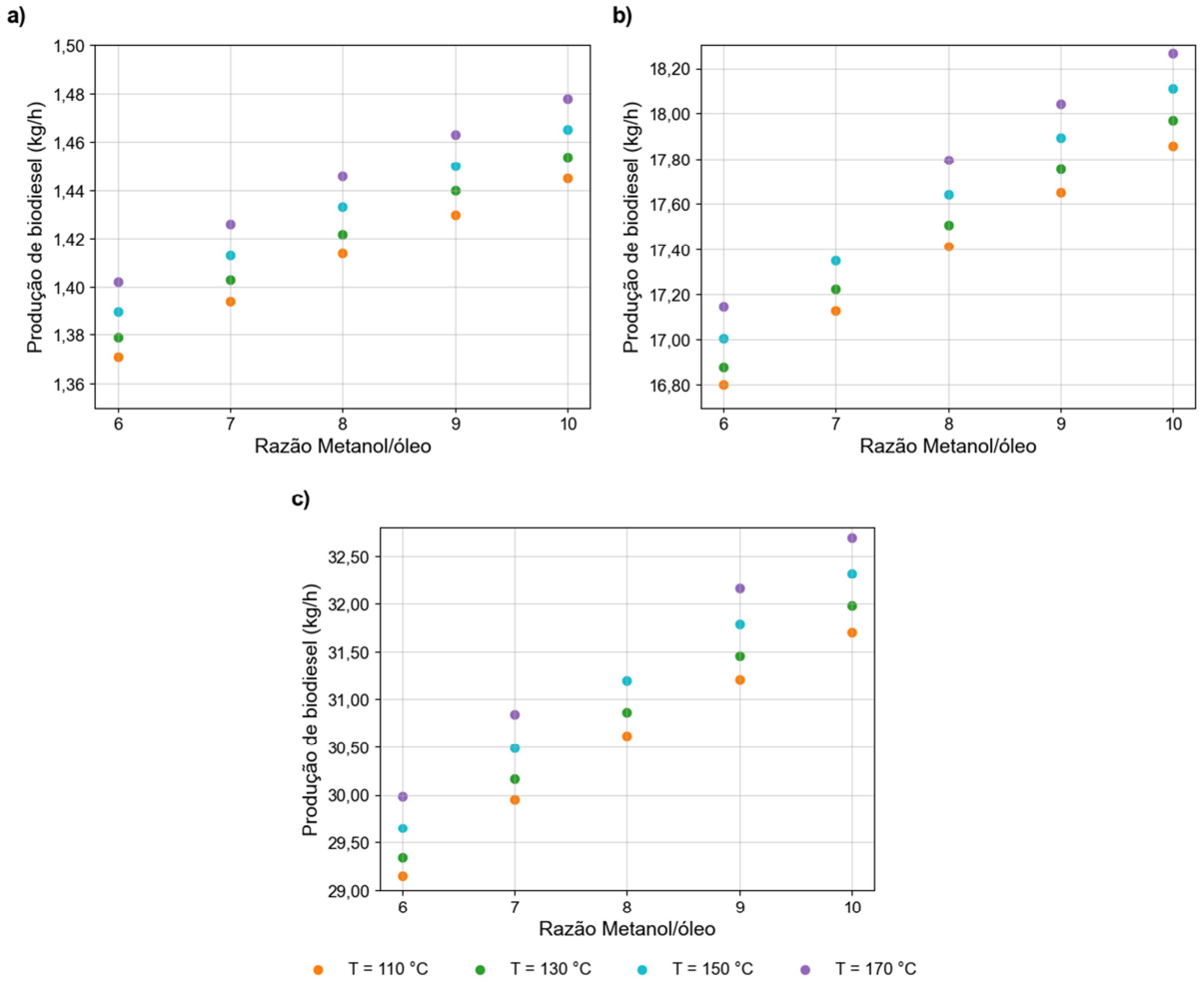


Figura 2 – Produção de biodiesel em função da temperatura e da razão molar metanol:óleo para diferentes vazões de óleo microbiano: a) 1,63 kg/h, b) 21,19 kg/h e c) 40,75 kg/h.

A partir das simulações, observou-se um aumento da produção de biodiesel com a elevação da temperatura de reação e da razão molar metanol:óleo. Entre as condições avaliadas, a maior produção foi obtida a 170 °C e razão de 10:1, independentemente da vazão de alimentação considerada. O aumento da conversão dos ácidos graxos em ésteres pode ser explicado pelo princípio de *Le Chatelier*,

onde o excesso de um dos reagentes favorece o deslocamento da reação no sentido dos produtos. Enquanto isso, o aumento da temperatura apresentou efeito positivo sobre a produção de biodiesel nas condições avaliadas, devido ao aumento da velocidade das reações de esterificação previsto pelo modelo cinético empregado.
A comparação entre os três cenários mostrou ainda que a influência da temperatura e da razão metanol:óleo apresentou comportamento semelhante para as diferentes vazões de alimentação avaliadas, embora a quantidade absoluta de biodiesel produzido aumente com a disponibilidade de matéria-prima. Esse resultado indica que, dentro das condições e simplificações consideradas no modelo, as tendências observadas para as variáveis operacionais foram mantidas nos três cenários analisados.

CONCLUSÃO

O trabalho avaliou a produção de biodiesel a partir de óleo microbiano obtido pelo cultivo de leveduras oleaginosas utilizando o glicerol bruto como fonte de carbono. A análise de sensibilidade demonstrou que o aumento da temperatura de reação e da razão molar metanol:óleo favoreceu a produção de biodiesel nas três vazões de alimentação avaliadas. O maior valor obtido se encontrou a 170 °C e razão de 10:1. Como continuidade do estudo, recomenda-se a realização de uma análise econômica para avaliar a viabilidade da rota proposta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Departamento de Engenharia Química (DEQ), o Laboratório de Projetos, Simulação e Controle de Processos (LSCP) e à Universidade Estadual de Maringá (UEM) pela infraestrutura disponível para o desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

BANCHERO, M.; GOZZELINO, G. Nb_2O_5-catalyzed kinetics of fatty acids esterification for reactive distillation process simulation. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 100, p. 292-301, 2015.

CHATZIFRAGKOU, *et al.* Biotechnological conversions of biodiesel derived waste glycerol by yeast and fungal species. **Energy**, vol. 36, nº 2, p. 1097□1108, 2011.

GAO, Z. *et al*. Effect of crude glycerol impurities on lipid preparation by *Rhodosporidium toruloides* yeast 32489. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 373-379, 2016.

SIQUEIRA, W. D. P. *Process intensification in biodiesel production: a multi-objective optimization approach*. 2025. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2025.