

## ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DA SÍNTESE ENZIMÁTICA DE ÉSTERES ETÍLICOS ORIUNDOS DE ÓLEO RESIDUAL DE FRANGO VIA METODOLOGIA TAGUCHI

Thales Guimarães Rocha<sup>1</sup>  
Lourembergue Saraiva De Moura Junior<sup>2</sup>  
Francisco Simão Neto<sup>3</sup>  
Patrick Da Silva Sousa<sup>4</sup>  
José Cleiton Sousa Dos Santos<sup>5</sup>

### RESUMO

A crescente demanda por energia, associada à necessidade de se investigar alternativas ecologicamente corretas aos combustíveis fósseis torna a busca por processos industriais com matérias primas baratas e metodologias modernas cada vez mais crescente. A síntese de biodiesel, um éster etílico de origem biodegradável e renovável, pode ser favorecido com a utilização de enzimas como as lipases, proteínas com a finalidade catalítica em óleos e gorduras. O objetivo do presente trabalho foi o estudo da síntese de ésteres etílicos a partir do óleo residual de frango, sendo, para isso, utilizada a metodologia Taguchi com matriz ortogonal padrão L9 para análise das variáveis utilizadas na esterificação realizada e seus respectivos graus de influência na síntese do produto. Como biocatalisador, utilizou-se a lipase Novozyme® RM IM, de *Rhizomucor miehei*, em um sistema com agitação a 200 rpm e controle de temperatura. Os parâmetros escolhidos para a otimização foram: razão molar (ácido graxo: álcool), tempo de reação (h), temperatura (°C) e quantidade de biocatalisador por massa de substrato (%). Obteve-se o maior rendimento de conversão em ésteres em  $84,42\% \pm 4,22$  e uma relação de sinal-ruído S/R de 38,53. Nesse sentido, concluiu-se por meio da metodologia utilizada que a razão molar (ác:al) e a temperatura da reação (°C) foram os parâmetros que mais influenciaram as reações de síntese de ésteres, além de se confirmar a possibilidade comercialmente rentável da produção de ésteres etílicos utilizando-se óleo residual de baixo valor agregado.

**Palavras-chave:** Lipase Esterificação Residual Taguchi .

---

UNILAB, IEDS, Discente, thales@aluno.unilab.edu.br<sup>1</sup>

UNILAB, IEDS, Discente, lourembergue@aluno.unilab.edu.br<sup>2</sup>

UNILAB, IEDS, Discente, fcosimao@aluno.unilab.edu.br<sup>3</sup>

UNILAB, IEDS, Discente, p.silvasousa7@gmail.com<sup>4</sup>

UNILAB, IEDS, Docente, jcs@unilab.edu.br<sup>5</sup>

## INTRODUÇÃO

A reação de síntese de ésteres entre um álcool e um ácido carboxílico tem considerável importância industrial na fabricação de lubrificantes, plastificantes, tintas, solventes, sabores e produtos farmacêuticos (GRYGLEWICZ *et al.*, 2006). Além disso, metodologias ecológicas para síntese de combustíveis não poluentes, como o biodiesel, tem crescente visibilidade mundial, visto a iminente crise energética embasada no desequilíbrio entre a disponibilidade cada vez menor de petróleo e o gradativo aumento do consumo por energia (DHAWANE; KUMAR; HALDER, 2018).

A pesquisa por fontes alternativas de combustíveis está fortemente ligada a um tema hoje amplamente estudado: a biocatálise. Como exemplo de biocatalisador, as lipases (triacilglicerol acil-hidrolases; EC 3.1.1.3) são classes de enzimas hidrolíticas que catalisam a hidrólise de triacilglicerol a glicerol e ácidos graxos livres (GUPTA *et al.*, 2004). Por ser constituído por uma abundante quantidade de lipídios de baixo valor agregado, o óleo de frango residual é uma matéria-prima sustentável e economicamente viável na síntese de ésteres etílicos (AL-ZUHAIR; HASAN; RAMACHANDRAN, 2003).

Para o presente trabalho, a esterificação estudada com a utilização da lipase imobilizada de *Rizomucor miehei* (Novozyme® RM IM) teve como substrato o óleo de frango residual previamente hidrolisado. Para estudo das relações de influência das variáveis reacionais como a razão molar (ácido:álcool), percentual de biocatalisador por massa de substrato (%), temperatura (°C) e tempo reacional (h), o método de design ortogonal com nove experimentos de Taguchi foi utilizado, de forma a se obter as características qualitativas dos parâmetros reacionais de forma a maximizar a produção de ésteres etílicos de forma simplificada, eficiente e com baixo custo de execução (TAGUCHI, 1986).

## METODOLOGIA

### 2.1 Materiais

A lipase Novozyme® RM IM foi doada pela Novozymes, Espanha. Álcool etílico (P.A 95%) e os demais reagentes utilizados foram obtidos da Vetec (São Paulo, Brasil) e Synth (São Paulo, Brasil). O óleo de residual de frango foi adquirido em um estabelecimento local (Redenção, Brasil) sendo formado por diferentes ácidos graxos, como o ácido mirístico (0,6%), ácido palmítico (24,7%), ácido palmitoléico (7,1%), ácido esteárico (6,0%), ácido oleico (43,4%), ácido linoleico (17,2%) e ácido  $\alpha$ -linolenico (1%). Os reagentes utilizados na caracterização da matéria-prima e dos produtos gerados foram todos de grau analítico. Para a elaboração do delineamento experimental do tipo Taguchi, foi utilizado o software Statistica® 10 (Statsoft, EUA).

### 2.2 Métodos

Para obtenção dos ácidos graxos, a metodologia descrita por Lima *et al.* (2012) foi seguida, sendo ajustado o uso de um sistema de refluxo e aquecimento ao invés de um sistema com ultrassom. Os parâmetros reacionais foram previamente estudados e determinados pelo grupo de pesquisa GENEZ (Grupo de Engenharia Enzimática). As reações ocorreram em frascos de eppendorfs de 2 mL, com controle de tempo e temperatura e agitação mecânica de 200 rpm. A Tabela 1 foi gerada pelo software Statistica®. Para esse trabalho, o método Taguchi com matriz ortogonal de nove experimentos foi utilizado, no qual as quatro variáveis foram distribuídas em três níveis.

Tabela 1: Níveis e variáveis utilizadas no planejamento.



Fonte: elaborado pelos autores.

\*valor calculado por massa de substrato.

Assim, para o presente estudo, a matriz ortogonal padrão de L9 foi empregada para examinar os quatro fatores em grupos de três. A letra L e o subíndice 9 representam o quadrado latino e o número de execuções experimentais, respectivamente (Roy, 2001).. No planejamento, os valores das razões S/R (Sinal-Ruído) foram calculados no software utilizado selecionando-se a função “larger the better”, a fim de se obter observar as estatísticas de desempenho para a melhor conversão em ésteres. Para cada experimento, o valor da razão S/R pode ser calculado por meio da Equação 1, segundo Roy (2001):



(1)

No qual  $y_i$  é a conversão de ácidos graxos para a amostra correspondente,  $i$  é o número de repetições e  $n$  é o número de respostas para a combinação de níveis de fator.

A relação S/R prevista nas condições ideais do processo para atingir a conversão máxima foi estimada a partir da Equação (2) (TAGUCHI 1986; CHAKRABORTY; ROYCHOWDHURY, 2013):



(2)

No qual  $\bar{y}$  é a média de todas as razões de Sinal-Ruído,  $y_i$  é a relação S/R ideal para cada parâmetro e  $n$  é o número de parâmetros que influenciam significativamente a esterificação estudada.

A conversão em ésteres foi monitorada pelo índice de acidez, conforme metodologia relatada por Santos (2011). As amostras esterificadas foram tituladas em duplicata, pesando-se, nos erlenmeyers, 0,2 g, com a adição de 5 mL de álcool etílico e 3 gotas de fenolftaleína. Por gotejamento de solução de 0,1 molar de NaOH, foi realizada a titulação dos ésteres produzidos. A Equação 3 para o cálculo do índice de acidez (IA) é dada abaixo (SANTOS, 2011):



(3)

Sendo  $V$  o volume de NaOH utilizado para a titulação individual das amostras;  $F$  o fator de correção da solução de NaOH,  $M$  a molaridade da solução de NaOH em mol/L e  $m$  a massa da amostra em gramas. Por fim, os valores de conversão em ésteres (%) foram calculados com a Equação 3, sendo  $IA$  e  $IA_i$  os índices de acidez das amostras com enzima e da amostra inicial (reação sem biocatalisador), respectivamente, calculados em mgKOH/g (Santos, 2011):



(4)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 abaixo apresenta o planejamento experimental com os níveis de 1 a 3 para cada variável reacional, além da conversão percentual em ésteres e a razão S/R para cada reação. Observa-se que a amostra 8 apresentou a maior conversão em ésteres (84,42% ± 4,22) do planejamento, com os níveis

máximos (N3) de razão molar entre ácido graxo e álcool (1:8) e para o tempo (24h de reação). A Tabela 3 discrimina a significância de cada variável para o planejamento imposto, apresentando a classificação dos parâmetros com base nos valores de Delta (diferença entre o maior e o menor valor da razão S/R entre os níveis dos parâmetros reacionais) (CHOWDHURY *et al.*, 2014).

Tabela 2: Níveis das variáveis, valores de conversão com erro experimental e as relação sinal-ruído (S/N) obtidas para o planejamento experimental.



Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 3: Classificação dos níveis para cada variável na influência dos maiores resultados de conversão, com o valor Delta apresentado.



Fonte: elaborada pelos autores.

Com os valores de Delta, observa-se que a razão molar (ácido:álcool) representa o nível de maior influência entre todos os parâmetros reacionais, seguido da temperatura (°C) da reação, o percentual de Novozyme® RM IM e o tempo de reação (h). A Figura 1 mostra os gráficos para cada um dos parâmetros de controle. A maior razão S/R, que corresponde a maior conversão em ésteres sugere o melhor nível para cada um dos parâmetros.

Figura 1: Resultados experimentais da Razão S/R versus os níveis (1, 2 e 3) das variáveis estudadas.



Fonte: elaborada pelos autores.

Com a Figura 1, verifica-se que as condições ótimas de reação para um valor máximo de síntese de ésteres tem como o nível 2 (N2) para a razão molar (1:8) entre ácido e álcool, N3 para o percentual de biocatalisador (15% em relação a massa de substrato), N2 para a temperatura da reação (40°C) e N3 para o tempo de reação (24h). Com os valores obtidos por meio da Equação 2, para obtenção do valor S/R ótimo, e por meio de redes neurais artificiais do software Statistica®, o valor da máxima conversão em ésteres obtido para cada nível representado na Figura 1 foi de 87,79%.

Como variável de maior influência das reações estudadas a partir do modelo Taguchi robusto L9, a razão molar (ácidos graxos: álcool), é um parâmetro importante no estudo do rendimento da síntese de ésteres, síntese essa que se trata de uma reação reversível (sentido direto e inverso para síntese de ésteres e da hidrólise do éster, respectivamente). Estudos na literatura sugerem o uso de uma maior concentração de álcool nas reações de esterificação (SÁ *et al.*, 2017), de modo que a reação tenha o equilíbrio deslocado para a direita (sentido direto), com o catalisador agindo no sentido da síntese de ésteres. (SÁ *et al.*, 2017) (LIMA, 2018).

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, é possível concluir a viabilidade da utilização da lipase Novozyme® RM IM na síntese de ésteres etílicos por meio de um substrato de baixo valor agregado, como o óleo de frango estudado. Com o modelo Taguchi robusto aplicado ao experimento, alterações aos

valores dos níveis N1, N2 e N3 dos parâmetros reacionais que menor apresentaram influência no estudo, como o tempo de reação (h) e a quantidade de biocatalisadores (%), podem ser feitos a fim de se otimizar o planejamento e diminuir custos em escala industrial.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro das Agências Brasileiras de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) (BP3-0139-000005.01.00/18) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) projetos 422942/2016-2 e 409058/2016-5.

## REFERÊNCIAS

AL-ZUHAIR, S.; HASAN, M.; RAMACHANDRAN, K.B. **Kinetics of the enzymatic hydrolysis of palm oil by lipase. Process Biochemistry**, v. 38, n. 8, p.1155-1163, mar. 2003.

ANGAJALA, G.; PAVAN, P.; SUBASHINI, R. Lipases: An overview of its current challenges and prospectives in the revolution of biocatalysis. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, v. 7, p.257-270, jul. 2016.

BABICZ, I. *et al.* Lipase-catalyzed diacylglycerol production under sonochemical irradiation. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 17, n. 1, p.4-6, 2010.

CALISKAN, H. Environmental and enviroeconomic researches on diesel engines with diesel and biodiesel fuels. **Journal Of Cleaner Production**, v. 154, p.125-129, jun. 2017.

CHAKRABORTY, R.; ROYCHOWDHURY, D. Fish bone derived natural hydroxyapatite-supported copper acid catalyst: Taguchi optimization of semibatch oleic acid esterification. **Chemical Engineering Journal**, v. 215-216, n. 1, p.491-499, jan. 2013.

CHOWDHURY, A. *et al.* Optimization of the production parameters of octyl ester biolubricant using Taguchi's design method and physico-chemical characterization of the product. **Industrial Crops And Products**, v. 52, p.783-789, jan. 2014.

DHAWANE, S. H.; KUMAR, T.; HALDER, G. Recent advancement and prospective of heterogeneous carbonaceous catalysts in chemical and enzymatic transformation of biodiesel. **Energy Conversion And Management**, v. 167, n. 1, p.176-202, jul. 2018.

GRYGLEWICZ, S. *et al.* Esters of dicarboxylic acids as additives for lubricating oils. *Tribology International*, v. 39, n. 6, p.560-564, jun. 2006.

GUPTA, R.; GUPTA, N.; RATHI, P.. Bacterial lipases: an overview of production, purification and biochemical properties. **Applied Microbiology And Biotechnology**, v. 64, n. 6, p.763-781, jun. 2004.

LIMA, Ana Paula de. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de novos catalisadores poliméricos heterogêneos baseados em poliestireno sulfonado e polissulfona para produção de biodiesel metílico a partir do ácido oleico**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2018.

LIMA, Larissa P. *et al.* Production of free fatty acids from waste oil by application of ultrasound. **Biomass Conversion And Biorefinery**, v. 2, p.309-315, jul. 2012.

ROY, R.K.. Design of Experiments Using the Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement. **United States: John Wiley & Sons, Inc.**, 2001.

SÁ, A. G. A. *et al.* A review on enzymatic synthesis of aromatic esters used as flavor ingredients for food, cosmetics and pharmaceuticals industries. **Trends In Food Science & Technology**, v. 69, p.95-105, nov. 2017.

SANTOS, José Cleiton Sousa dos. **Estudo de parâmetros nas reações de síntese enzimática de biodiesel por intermédio de fluidos supercríticos**. 2011. 102 f. 58 Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SKORONSKI, E. *et al.* Stability of immobilized Rhizomucor miehei lipase for the synthesis of pentyl octanoate in a continuous packed bed bioreactor. *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, v. 31, n. 3, p.633-641, set. 2014.

TAGUCHI G., KONISHI S. Taguchi methods, orthogonal arrays and linear graphs: Tools for quality engineering. **Dearbom: American supplier institute**, p. 35-38, 1987.