



AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO CRU VIA PROCESSO FISCHER-TROPSCH VISANDO OBTENÇÃO DE QUEROSENE DE AVIAÇÃO SUSTENTÁVEL

Thalyta D. C. A. Pontes¹; Isabela M. Dias¹; Lucas C. Mourão¹; Guilherme B M de Souza²; Christian G. Alonso¹.

¹Universidade Federal de Goiás (UFG), Instituto de Química (IQ).

²Embrapa Agroenergia.

thalyta@discente.ufg.br

Palavras-Chave: hidrocarbonetos, catalisadores e combustíveis renováveis

Introdução

A busca por alternativas renováveis capazes de reduzir as emissões de gases de efeito estufa tem ganhado destaque em escala global. A transição energética é essencial para mitigar a liberação de dióxido de carbono e outros gases poluentes, contribuindo para a diminuição dos impactos associados às mudanças climáticas. Essas emissões têm origem em diversos setores, como a geração de energia, atividades industriais e transportes. Dentro desse contexto, o setor aéreo tem uma parcela importante de contribuição nas emissões devido ao uso de querosene de aviação, combustível fóssil derivado do petróleo. A aviação está entre os setores mais difíceis de descarbonizar devido à necessidade de combustíveis com alta densidade energética, estabilidade térmica e desempenho em baixas temperaturas, requisitos que tornam limitada a substituição direta por baterias ou hidrogênio. Assim, o SAF se destaca como alternativa viável, pois pode ser utilizado na infraestrutura e motores atuais enquanto reduz as emissões ao longo do ciclo de vida (ZAKERI et al., 2022).

O querosene de aviação é responsável por uma fração relevante das emissões globais de CO₂ e gases de efeito estufa, respondendo por cerca de 2,5% do total de CO₂ emitido no mundo e sua substituição por combustíveis sustentáveis representa um passo fundamental rumo à descarbonização do transporte aéreo. O SAF surge como uma das principais alternativas, sendo produzido a partir de matérias-primas não derivadas do petróleo, como por exemplo, óleos vegetais e biomassa. Entre as rotas de obtenção do SAF, a síntese FT se



destaca pela capacidade de converter gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio), oriundo de fontes renováveis, em uma ampla gama de hidrocarbonetos, utilizando catalisadores à base de ferro ou cobalto. Ao final do processo, obtém-se um óleo cru sintético que pode ser refinado e fracionado, possibilitando a produção de diferentes derivados, tais como gás, gasolina, querosene e diesel (DE KLERK et al., 2022; JONES; KREXNER; BISMARCK, 2022).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo preparar e avaliar um catalisador de ferro/molibdênio suportado em alumina para a produção de óleo cru sintético via síntese Fischer-Tropsch, buscando direcionar a formação de hidrocarbonetos compatíveis com as especificações de SAF, especialmente o querosene de aviação. Nesse sentido, o estudo contribui para o desenvolvimento de alternativas ao uso de combustíveis fósseis, apoiando a descarbonização do setor aéreo e o avanço de tecnologias baseadas em fontes renováveis de energia.

Material e Métodos

1. Preparo do catalisador

O catalisador foi preparado pelo método de impregnação úmida em excesso de solvente, utilizando Fe como fase ativa e Mo como promotor. A síntese iniciou-se com a impregnação do suporte por uma solução aquosa do precursor de molibdênio $((\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, correspondente a 2% em massa de Mo, sob agitação em rotaevaporador (~ 100 rpm, 40°C , 8 h). O material foi então seco e calcinado a 600°C por 6 h. Na etapa seguinte, o suporte já promovido foi impregnado com o sal de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, seguido novamente por secagem a 110°C e calcinação a 600°C por 6 h, obtendo-se catalisadores com 10% de Fe e 2% de Mo.

2. Caracterização do catalisador

O catalisador foi submetido à caracterização química e morfológica por meio das técnicas de microscopia eletrônica de varredura acoplada à espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (MEVEDS), análise de área superficial e porosidade (ASAP), análise

termogravimétrica com análise térmica diferencial (TG-DTA), difração de raios-X (DRX) e fluorescência de raios-X (FRX).

3. Teste de desempenho do catalisador

O teste do catalisador Mo-Fe/Al₂O₃ na reação FT foi conduzido em um reator tubular de leito fixo, manufaturado em aço inoxidável, equipado com sistema de alimentação de gases (CO e H₂), forno tubular para manutenção da temperatura reacional, válvula reguladora de pressão para operação em 10–40 bar e sistemas de condensação de produtos líquidos para coleta seletiva de hidrocarbonetos, com saída de gases conectada a cromatógrafo gasoso. O sistema de coleta de produtos líquidos foi composto por um coletor à quente mantido a 90°C e em sequência um coletor à frio mantido a 5°C. O esquema operacional do reator pode ser visto na Figura 1.

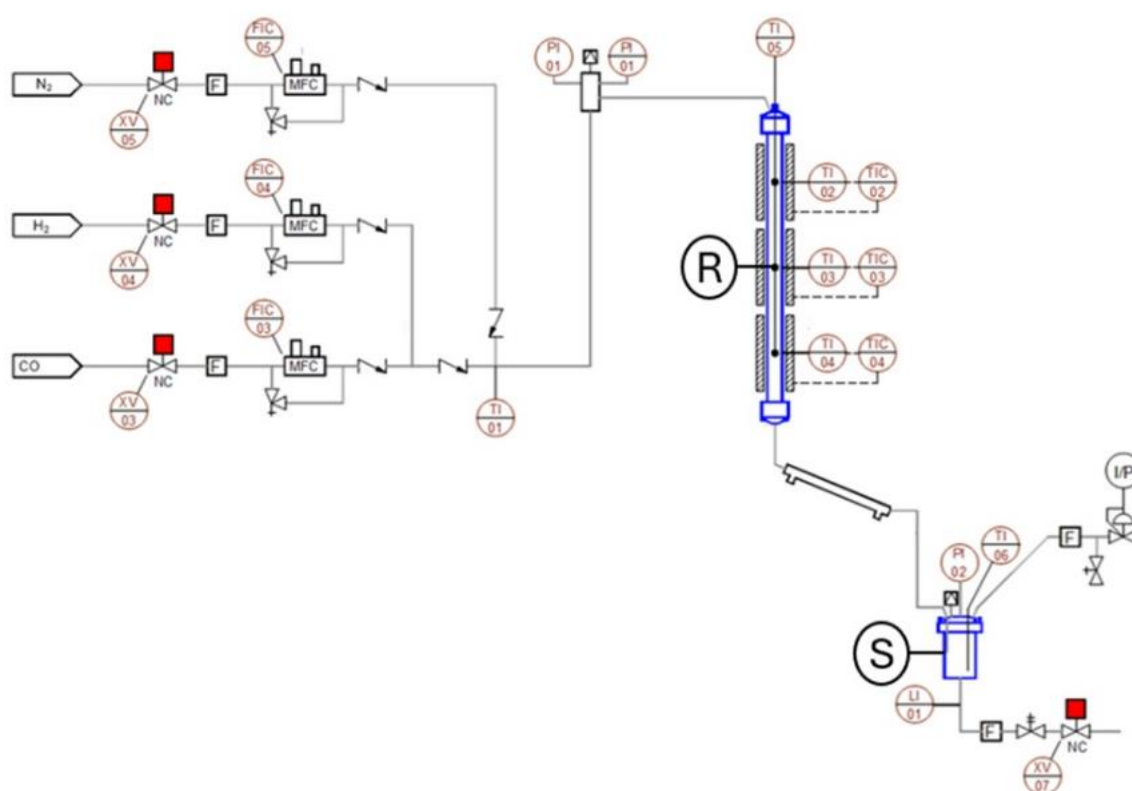


Figura 1- Esquema operacional do reator Fischer-Tropch.



Para realização do teste adicionou-se 5 g de catalisador a 30 g de esferas de inox no leito do sistema de reação. As condições de redução do catalisador foram: alimentação de 25 mL/min de H_2 e 15 mL/min de N_2 , sem pressurização, a uma temperatura interna de 450 °C, por 18 horas. Após a redução, o sistema foi pressurizado a uma pressão de 15 bar, temperatura interna de 200 °C e a alimentação gasosa foi composta por 30 mL/min de H_2 , 15 mL/min de N_2 e 15 mL/min de CO, em operação contínua por 48 horas. Ao final do experimento, as frações líquidas foram analisadas por GC-MS.

4. Caracterização química

As análises foram realizadas em GC-MS, utilizando coluna capilar SH-5MS (30 metros; 0,25 mm D.I.; 0,25 μm espessura de filme). As condições instrumentais foram: temperatura do injetor de 200 °C, interface mantida a 270 °C e fonte de ionização a 230 °C. O programa de temperatura do forno iniciou em 40 °C (0,5 min), seguido de aquecimento até 105 °C a uma taxa de aquecimento de 4 °C/min, e subsequente elevação de temperatura até 290 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A aquisição dos espectros foi realizada no modo SCAN, com faixa de varredura de m/z 35 a 500.

Resultados e Discussão

O catalisador preparado foi avaliado quanto ao seu desempenho na produção de óleo cru sintético por meio da síntese de Fischer–Tropsch. As condições operacionais do sistema reacional foram estabelecidas com base em parâmetros otimizados reportados na literatura, visando à obtenção de um óleo cru sintético com composição química compatível com os requisitos para a produção de combustível sustentável de aviação (SAF). O sistema operou continuamente por 48 h a 15 bar e 200 °C, com alimentação gasosa de 30 mL/min de H_2 , 15 mL/min de N_2 e 15 mL/min de CO. Na Figura 2 pode ser visto o cromatograma do produto obtido com o catalisador Fe-Mo/ Al_2O_3 , evidenciando a distribuição dos hidrocarbonetos produzidos.

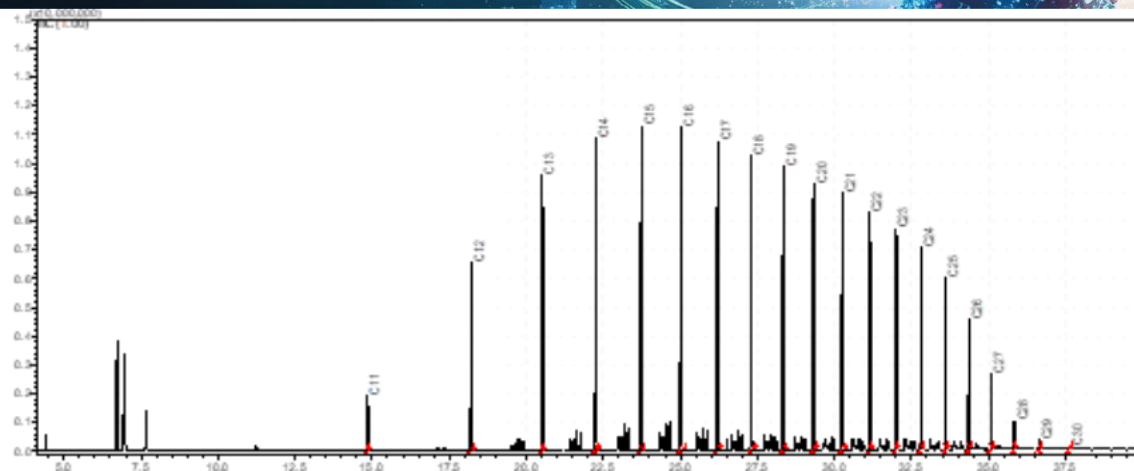


Figura 2- Cromatograma do óleo cru produzido.

Os hidrocarbonetos produzidos variaram entre C₁₁ e C₃₀. A maior intensidade está concentrada nas cadeias intermediárias (em torno de C₁₄ a C₂₂), o que indica boa seletividade para as frações de querosene (C₈–C₁₆) e a queda gradual da intensidade após cerca de C₂₄ mostra que há pouca formação de frações mais pesadas, como por exemplo, ceras. Na faixa mais leve, os picos entre C₁₁ e C₁₃ sugerem a presença de uma porção de querosene inicial, com maior volatilidade. Isso reduz a necessidade de conversão de hidrocarbonetos pesados e favorece maior rendimento direto de SAF, tornando o processo mais simples e eficiente. Além disso, o direcionamento seletivo para hidrocarbonetos médios reforça o potencial do processo FT como rota estratégica para a produção de SAF, visando a substituição de combustíveis fósseis, contribuindo para a descarbonização do setor aéreo e para o avanço de tecnologias energéticas alinhadas à transição sustentável.

No estudo de Kharaji et al. (2013), com catalisador de Fe-Mo/Al₂O₃ aplicada a reações de água-gas reversa, reação bastante comum em processo FT na presença de CO, os resultados indicaram baixa seletividade para frações médias e pesadas na síntese FT (faixa de C₁₁ a C₃₀), similar aos resultados deste estudo. Essa distribuição indica boa seletividade para querosene e diesel, demonstrando que o catalisador empregado é eficaz na conversão de CO e H₂ em hidrocarbonetos de interesse para a produção de SAF.

Conclusões



O presente estudo demonstrou a eficiência do processo Fischer–Tropsch na produção de óleo cru sintético com predominância de hidrocarbonetos na faixa de C_{11} a C_{30} , compatíveis com as frações necessárias para avanço na obtenção de querosene. Esse perfil evidencia o potencial do catalisador produzido e das condições empregadas para direcionar a síntese à obtenção de SAF, reduzindo a dependência de derivados fósseis, apoiando iniciativas de descarbonização e contribuindo para a diversificação da matriz energética, visando o alcance das metas de sustentabilidade estabelecidas pela Agenda 2030.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e ao Centro de Excelência em Hidrogênio e Tecnologias Energéticas Sustentáveis (CEHTES) apoiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Goiás.

Referências

- DE KLERK, Arno; CHAUHAN, Garima; HALMENSCHLAGER, Cibebe; LINK, Félix; SÁNCHEZ, Natália Montoya; GARTLEY, Brian; EL-SAYED, Hanan EM; SEHDEV, Ranjit; LEHOUX, Rick. Combustível de aviação sustentável: caminhos para um combustível de aviação totalmente sintético formulado por meio da síntese de Fischer-Tropsch. *Energy Science & Engineering*, v. 10, n. 12, p. 4683– 4701, 16 dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/ese3.1379>.
- JONES, Mitchell P.; KREXNER, Theresa; BISMARCK, Alexander. Repurposing Fischer-Tropsch and natural gas as bridging technologies for the energy revolution. *Energy Conversion and Management*, v. 267, p. 115882, 2022.
- KHARAJI, Abolfazl Gharibi; SHARIATI, Ahmad; TAKASSI, Mohammad Ali. A novel γ -alumina supported Fe-Mo bimetallic catalyst for reverse water gas shift reaction. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, v. 21, n. 9, p. 1007-1014, 2013.
- ZAKERI, Behnam et al. Pandemic, War, and Global Energy Transitions. *Energies*, v. 15, n. 17, p. 6114, 2022.