Avaliação de catalisadores de Co3O4 suportados em SiO2 e ZSM-5 na desidrogenação de etano assistida por CO2

Heloisa Ruschel Bortolini1\*, Rita Maria de Brito Alves1, Martin Schmal1, Elisabete Moreira Assaf2

1Laboratório de Pesquisa e Inovação em Processos Catalíticos (LaPCat), Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 250 – Prédio Semi Industrial, Bloco B, Térreo, CEP 05508-800, São Paulo – SP – Brasil

2 Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São Carlense, 400, Centro, CEP 13566-590, São Carlos – SP – Brasil

\*heloisarb@usp.br

Resumo/Abstract

RESUMO – Catalisadores de Co suportados em SiO2 e ZSM-5 foram preparados pelo método de impregnação úmida e caracterizados por DRX, TGA, TPR-H2 e espectroscopia Raman. Os catalisadores foram testados na reação de desidrogenação de etano assistido por CO2. O catalisador Co/ZSM-5 apresentou melhor conversão de etano e seletividade a etileno, enquanto o Co/SiO2 mostrou-se mais ativo para a conversão de CO2 e produção de CO.

*Palavras-chave: etano, desidrogenação, dióxido de carbono, cobalto.*

ABSTRACT - Co catalysts were supported on SiO2 and ZSM-5 by wet impregnation method and characterized by XRD, TGA, H2-TPR and Raman spectroscopy. The catalysts were tested in the CO2-assisted ethane dehydrogenation reaction. Co/ZSM-5 catalyst showed better ethane conversion and selectivity to ethylene, while Co/SiO2 presented high CO2 conversion and CO production.

*Keywords: ethane, dehydrogenation, carbon dioxide, cobalt.*

## Introdução

O etano é um dos principais componentes do gás natural e, com a crescente exploração do gás de xisto na América do Norte, representa uma fonte de matéria-prima abundante e de baixo custo [1]. Simultaneamente, o crescimento das emissões de CO2, cujo acúmulo na atmosfera potencializa o efeito estufa, instiga o desenvolvimento de tecnologias de captura e consumo de CO2. Sabe-se que a adição de CO2 na reação de desidrogenação de etano (EDH) aumenta a conversão do mesmo por reduzir a deposição de carbono sobre o catalisador através da reação reversa de Boudouard [2]. Além disso, na reação de desidrogenação de etano assistida por CO2 (CO2-EDH) o CO2 atua como um oxidante moderado que evita a superoxidação e não forma uma mistura reativa explosiva, o que ocorre quando ao utilizar O2 como agente oxidante.

Os catalisadores empregados na EDH caracterizam-se por uma fase metálica ativa suportada em óxidos metálicos simples ou mistos. Estima-se que a reação de EDH ocorra em sítios metálicos dos catalisadores e, dentre os metais estudados, o cobalto tem se mostrado ativo e seletivo para a reação [3]. Dentre os suportes, a sílica se destaca frente a outros óxidos simples e mistos na reação de CO2-EDH [4]; por outro lado, o emprego de zeólitas apresenta bons resultados por favorecer a dispersão da fase metálica.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo comparar o desempenho de catalisadores de cobalto suportados em SiO2 e ZSM-5 na reação de CO2-EDH.

## Experimental

*Preparo dos catalisadores*

Os catalisadores foram preparados pelo método de impregnação úmida com 5% de metal em massa. Foram preparadas soluções com sal de Co(NO3)2∙6H20 em água deionizada seguido pela adição do suporte: SiO2 ou ZSM-5 (Alfa Aesar, SiO2/Al2O3 = 60). A mistura foi mantida sob agitação à temperatura ambiente por 4 h e levada à estufa durante a noite à 80°C para remoção do solvente. Depois de secas, as amostras foram calinadas para obtenção da forma óxida do metal a 600°C (taxa de aquecimento de 10°C/min) por 4 h sob fluxo de ar sintético de 50 mL/min.

*Caracterização*

Os catalisadores foram caracterizados por difração de raios X (DRX), análise termogravimétrica (TGA), redução à temperatura programada de H2 (TPR-H2) e espectroscopia Raman, pré e pós reação.

*Testes catalíticos*

Os testes catalíticos foram realizados em sistema automatizado PID Eng&Tech em reator tubular de leito fixo com análise online em cromatógrafo GC-2010 Plus (Shimadzu) utilizando detector de condutividade térmica (TCD) e detector de ionização de chama (FID). Os testes foram realizados com 300 mg de catalisador, vazão total de 60 mL/min com razão molar C2H6:CO2:N2 = 1:1:4.

## Resultados e Discussão

*Caracterização*

Gráfico, Histograma

Descrição gerada automaticamenteOs difratogramas obtidos das amostras são apresentados na Figura 1. É possível identificar em ambas as amostras picos em 2θ = 19, 31, 36, 44, 59 e 65° que indicam a formação de espinélio Co3O4, sugerindo que o método de impregnação úmida empregado leva à formação de clusters de óxido metálico [3]. Na amostra suportada em SiO2, um pico largo em torno de 2θ = 22° pode ser associado à sílica amorfa; enquanto para a ZSM-5, picos característicos e de alta intensidade são observados em 2θ = 7, 9, 22, 25 e 29°, indicando alta cristalinidade.

**Figura 1.** Difratograma dos catalisadores de Co suportados em SiO2 e ZSM-5.

Gráfico

Descrição gerada automaticamenteO perfil de redução das amostras é apresentado na Figura 2. É possível identificar que o perfil de TPR-H2 das amostras apresentou 3 picos, sendo os dois primeiros relacionados à redução de Co3O4 a CoO, enquanto o pico a temperatura mais elevada representa a redução a Co0[5]. A presença de mais de dois picos indica que nem todas as espécies de cobalto são reduzidas ao mesmo tempo. Apesar de um pequeno deslocamento nos picos, as amostras apresentam perfis bastante semelhantes, indicando que o cobalto se encontra na mesma forma em ambas.

**Figura 2.** Perfil de redução à temperatura programada das amostras de Co suportados em SiO2 e ZSM-5.

*Testes catalíticos*

Gráfico, Gráfico de linhas, Histograma

Descrição gerada automaticamenteAs amostras foram avaliadas entre 600 e 750 ºC e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 3.

**Figura 3.** Avaliação da influência da temperatura para os catalisadores na reação de CO2-EDH.

Observa-se que os catalisadores apresentaram atividades bastante distintas: enquanto o suportado em ZSM-5 apresentou boa conversão de etano e alta seletividade a eteno, o suporte de SiO2 levou a maiores conversões de CO2 e grande seletividade para CO. Destaca-se que a alta produção de CO pelo catalisador de 5Co/SiO2 deve-se ao fato de que o CO pode ser proveniente de outras reações, como a reação reversa de Boudouard e a reação reversa de deslocamento gás-água.

## Conclusões

Os catalisadores de Co suportados em SiO2 e ZSM-5 apresentaram semelhante estrutura da fase metálica, porém diferentes atividades catalíticas. O catalisador 5Co/SiO2 favorece a reforma a seco do etano com alta produção de CO, enquanto o catalisador 5Co/ZSM-5 favorece a reação de desidrogenação, sendo bastante seletivo a etileno.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPESP pelo apoio financeiro (processos: 2022/06909-0 e 2020/15230-5).

## Referências

1. Q. Wang; X. Chen; A. N. Jha; H. Rogers, *Renew Sust Energ Rev*, **2014**, 30 1–28.
2. K. Nakagawa; C. Kajita; K. Okumura; N. Ikenaga; M. Nishitani-Gamo; T. Ando; T. Kobayashi; T. Suzuki, *J Catal*, **2001**, 203, 87–93.
3. R. Huang; Y. Cheng; Y. Ji; R. J. Gorte, *Nanomaterials,* **2020**, 10, 244-256.
4. R. Koirala ; R. Buechel ; S. E. Pratsinis ; A. Baiker, *Appl Catal A-Gen*, **2016**, 527, 96-108.
5. H.-Y. Lin; Y.-W. Chen, *Mater Chem Phys*, **2004**, 85, 171–175.