



Relatório do Software Anti-plágio CopySpider

Para mais detalhes sobre o CopySpider, acesse: <https://copyspider.com.br>

Instruções

Este relatório apresenta na próxima página uma tabela na qual cada linha associa o conteúdo do arquivo de entrada com um documento encontrado na internet (para "Busca em arquivos da internet") ou do arquivo de entrada com outro arquivo em seu computador (para "Pesquisa em arquivos locais"). A quantidade de termos comuns representa um fator utilizado no cálculo de Similaridade dos arquivos sendo comparados. Quanto maior a quantidade de termos comuns, maior a similaridade entre os arquivos. É importante destacar que o limite de 3% representa uma estatística de semelhança e não um "índice de plágio". Por exemplo, documentos que citam de forma direta (transcrição) outros documentos, podem ter uma similaridade maior do que 3% e ainda assim não podem ser caracterizados como plágio. Há sempre a necessidade do avaliador fazer uma análise para decidir se as semelhanças encontradas caracterizam ou não o problema de plágio ou mesmo de erro de formatação ou adequação às normas de referências bibliográficas. Para cada par de arquivos, apresenta-se uma comparação dos termos semelhantes, os quais aparecem em vermelho.

Veja também:

[Analisando o resultado do CopySpider](#)

[Qual o percentual aceitável para ser considerado plágio?](#)



Versão do CopySpider: 2.2.2
 Relatório gerado por: tulho.reis@ufv.br
 Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx X https://hal.science/hal-01961782	19	0,79
nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx X https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29996053	13	0,46
nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx X https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hydrothermal-method	4	0,11
nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx X https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-020-04415-x	10	0,09
nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx X https://link.springer.com/article/10.1007/s10904-019-01331-9	4	0,09

Arquivos com problema de download

https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.8b06511	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.8b06511
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.6b04151	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.nanolett.6b04151
https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Fangyu-Fu-2021367472	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://www.researchgate.net/scientific-contributions/Fangyu-Fu-2021367472
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27960060	Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). HTTP response code: 301 - Index 30 out of bounds for length 30



https://www.researchgate.net/publication/326336504_Highly_Selective_and_Sharp_Volcano-type_Synergistic_Ni2PtZIF-8-Catalyzed_Hydrogen_Evolution_from_Ammonia_Borane_Hydrolysis

Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL:

https://www.researchgate.net/publication/326336504_Highly_Selective_and_Sharp_Volcano-type_Synergistic_Ni2PtZIF-8-Catalyzed_Hydrogen_Evolution_from_Ammonia_Borane_Hydrolysis



=====

Arquivo 1: [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Arquivo 2: [https://hal.science/hal-01961782 \(934 termos\)](https://hal.science/hal-01961782)

Termos comuns: 19

Similaridade: 0,79%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento [https://hal.science/hal-01961782 \(934 termos\)](https://hal.science/hal-01961782)

=====

6

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE METAIS DE TRANSIÇÃO DEPOSITADAS EM KNBO3 E A AVALIAÇÃO DO EFEITO CATALÍTICO NA EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO NABH4
<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES /DETEC. ISSN: 2447-5580

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

Palavras-chave: evolução de hidrogênio, niobato de potássio, nanopartículas, boro-hidreto de sódio

Keywords: hydrogen evolution, potassium niobate, nanoparticles, sodium borohydride

palabras clave: desprendimiento de hidrógeno, niobato de potasio, nanopartículas, borohidruo de sodio

*Autor Correspondente: Autor, Sobrenome abreviado.

RESUMO

O emprego de armazenadores de hidrogênio no estado sólido, como o boro-hidreto de sódio (NaBH₄), é uma estratégia que pode ser utilizada para o uso dessa fonte alternativa e promissora de energia. A partir da hidrólise do NaBH₄, tem-se a evolução do H₂, que é um processo espontâneo e cineticamente lento. Sendo assim, nanopartículas (NPs) de metais de transição depositadas em niobato de potássio (KNbO₃)



podem ser utilizadas como catalisadores. Assim, os objetivos do presente trabalho foram o desenvolvimento de catalisadores pela deposição de NPs de metais de transição em KNbO₃ e a avaliação da influência na evolução do H₂ a partir do NaBH₄. A síntese do suporte ocorreu pela via hidrotérmica, enquanto que a das NPs pela redução da solução sais precursores. Em relação às NPs avaliadas (Pt, Pd, Ni, Au e Co), os melhores efeitos observados foram para Pt e Ni. Em relação à composição bimetálica, o melhor efeito foi para a composição 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). A eficiência do processo aumentou com o aumento da dosagem do suporte e da temperatura. Conclui-se que foi possível desenvolver materiais promissores à base de nióbio, cuja maior reserva mundial se encontra no Brasil, para emprego na evolução do hidrogênio.

ABSTRACT

He use of solid state hydrogen stores, such as sodium borohydride (NaBH₄), is a strategy that can be used to use this alternative and promising source of energy. From the hydrolysis of NaBH₄, there is the evolution of H₂, which is a spontaneous and kinetically slow process. Therefore, transition metal nanoparticles (NPs) deposited in potassium niobate (KNbO₃) can be used as catalysts. Thus, the objectives of the present work were the development of catalysts for the deposition of transition metal NPs in KNbO₃ and the evaluation of the influence on the evolution of H₂ from NaBH₄. The synthesis of the support occurred via the hydrothermal route, while that of the NPs occurred via reduction of the precursor salt solution. Regarding the NPs evaluated (Pt, Pd, Ni, Au and Co), the best effects observed were for Pt and Ni. Regarding the bimetallic composition, the best effect was for the 1:3 composition (Ni:Pt, mol/mol). The process efficiency increased with increasing support dosage and temperature. It is concluded that it was possible to develop promising materials based on niobium, the largest world reserve of which is found in Brazil, for use in the evolution of hydrogen.

RESUMEN

El uso de depósitos de hidrógeno en estado sólido, como el borohidruro de sodio (NaBH₄), es una estrategia que puede utilizarse para aprovechar esta fuente de energía alternativa y prometedora. A partir de la hidrólisis del NaBH₄ se produce el desprendimiento de H₂, que es un proceso espontáneo y cinéticamente lento. Por lo tanto, las nanopartículas de metales de transición (NP) depositadas en niobato de potasio (KNbO₃) pueden usarse como catalizadores. Así, los objetivos del presente trabajo fueron el desarrollo de catalizadores para la deposición de NPs de metales de transición en KNbO₃ y la evaluación de la influencia en la evolución de H₂ a partir de NaBH₄. La síntesis del soporte se produjo por vía hidrotérmica, mientras que la de las NP se produjo mediante la reducción de la solución salina precursora. Respecto a las NP evaluadas (Pt, Pd, Ni, Au y Co), los mejores efectos observados fueron para Pt y Ni. En cuanto a la composición bimetálica, el mejor efecto fue para la composición 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). La eficiencia del proceso aumentó al aumentar la dosis y la temperatura del soporte. Se concluye que fue posible desarrollar materiales prometedores a base de niobio, cuya mayor reserva mundial se encuentra en Brasil, para su uso en la evolución de hidrógeno.

8

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente benignas tem-se intensificado nos últimos anos. Como fonte alternativa de energia, destaca-se o gás hidrogênio, porque apresenta uma elevada densidade energética, se comparada à dos demais combustíveis, e pelo fato da sua combustão liberar somente vapores de água. No entanto, a sua implementação efetiva como fonte de



energia tem sido um desafio no que tange ao seu armazenamento e transporte seguros (FANGYU Fu et al, 2018).

Como alternativa, pode-se empregar armazenadores de hidrogênio no estado sólido, que são substâncias sólidas que contém átomos de hidrogênio em sua constituição. Nesse caso, o gás hidrogênio pode ser produzido através da hidrólise ou termólise desses armazenadores, em um processo denominado evolução do hidrogênio (Schlapba, Zuttel, 2001).

Dentre os armazenadores de hidrogênio utilizado, destaca-se o boro-hidreto de sódio, porque apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de hidrogênio (10,5 %, m/m), além de ser não tóxico e nem explosivo. Através da hidrólise do boro-hidreto de sódio, ocorre a evolução espontânea do hidrogênio nas condições ambientes, mas a cinética do processo é lenta (FANGYU Fu et al, 2018).

Para que seja utilizado para fins práticos, esse processo pode ter sua cinética aumentada através do emprego de catalisadores. Embora a catálise homogênea possa ser empregada (meio ácido), tem-se uma melhor eficiência quando se emprega a catálise heterogênea. Na catálise heterogênea, o catalisador e o meio reacional se encontram em fases distintas. O principal mecanismo responsável pelo efeito catalítico é a adsorção, que é um fenômeno de superfície. Logo, o aumento da área superficial dos catalisadores heterogêneos torna o processo mais eficiente. Por isso, pode-se empregar nanopartículas que, devido às suas elevadas áreas superficiais, podem apresentar ótimos efeitos catalíticos (IRAN, 2012).

Devido ao fato das nanopartículas apresentam uma tendência espontânea a se aglomerarem, podem ser depositadas sobre um material sólido que se disperse no meio reacional (suporte). Em razão de boa parte do nióbio do mundo estar no Brasil (98% das reservas mundiais), o desenvolvimento de suportes à base de nióbio é uma estratégia que permite agregar valores econômicos aos seus produtos. Sendo assim, como suporte, pode-se empregar o niobato de potássio, que é um sólido cristalino de coloração branca, cuja obtenção pode ocorrer pela via hidrotérmica através da reação entre o óxido de nióbio (V) e o hidróxido de potássio (UCHIDA, 1998).

METODOLOGIA

Na síntese do niobato de potássio, pela via hidrotérmica, empregou-se um reator hidrotermal (tubo de teflon cilíndrico (100 cm³) e um cilindro espesso de aço). Os reagentes empregados foram óxido de nióbio (V) e hidróxido de potássio na razão molar 1:60, e água do tipo II.

Na síntese das nanopartículas, ocorreu a dissolução de uma dada massa do sal precursor do metal de transição em água e a dispersão do suporte (niobato de potássio), seguida de agitação e, após, a redução dos cátions à forma de valência zero.

Para a quantificação do gás hidrogênio produzido, empregou-se um sistema formado por um reator hermeticamente fechado acoplado a uma bureta, através de mangueiras. O deslocamento da água foi relacionado ao volume de gás hidrogênio produzido. A temperatura do sistema foi controlada durante todos os experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, apenas o material à base de Au (NPs) não apresentou efeito cinético, uma vez que a sua curva (em azul) se sobrepõe à curva do processo sem nenhuma influência externa (curva laranja), que é cineticamente desfavorável. Por outro lado, os demais materiais à base de NPs monometálicas de Pt, Pd, Co e Ni apresentaram efeito cinético na hidrólise da solução de NaBH₄.

Fonte: Autores (2023)

Figura 1. Avaliação do efeito cinético das nanopartículas monometálicas de metais de transição decoradas

em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Como as NPs monometálicas de Pt e de Ni apresentaram os melhores efeitos cinéticos em termos de taxa de reação e rendimento, novos ensaios foram realizados para investigar se havia efeito sinérgico entre elas. Para isso, avaliou-se o efeito das NPs bimetálicas (Ni,Pt) depositadas em KNbO_3 .

Fonte: Autores (2023)

Figura 2. Avaliação do efeito cinético da composição Ni/Pt de nanopartículas bimetálicas NiPt decoradas em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; proporção Ni/Pt 1:1, 1:3 e 3:1 mol/mol; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Em relação à composição (Ni:Pt) das NPs bimetálicas NiPt depositadas em KNbO_3 , o melhor efeito catalítico em termos de taxa de reação e rendimento foram obtidos quando se empregou 1:3, Ni:Pt (mol/mol), conforme apresentado na Figura 2 (curva em verde). Além disso, é possível perceber que o emprego de NPs bimetálicas Ni,Pt tornou a eficiência catalítica do processo superior em relação ao emprego das NPs monometálicas de Ni. Em relação às NPs monometálicas de Pt, somente quando se empregou a composição 1:3, Ni:Pt (mol/mol) é que se teve uma diferença significativa no rendimento do processo de geração de H_2 . Logo, é possível inferir que há um efeito sinérgico entre as NPs de Ni e de Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível obter materiais promissores a partir da deposição de nanopartículas de metais de transição (platina e níquel) em niobato de potássio, para emprego como catalisadores na evolução do hidrogênio a partir da solução aquosa do boro-hidreto de sódio. Para as composições monometálicas, os melhores resultados obtidos foram para as NPs de Pt e Ni, enquanto que, para as bimetálicas, foi para Ni:Pt (1:3, mol/mol).

REFERÊNCIAS

Schlapba L.; Zuttel, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 2001, 414, 353-358.

IRAN, L. Físico-Química I, vol.1. LTC, 2012.

UCHIDA, S. et al. Hydrothermal synthesis of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$. *Journal of Materials Science*, 1998, 33, 5125-5129.

FANGYU Fu et al. Highly Selective and Sharp Volcano-type Synergistic Ni₂Pt@ZIF-8-Catalyzed Hydrogen Evolution from Ammonia Borane Hydrolysis. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140, 10034-10042



=====

Arquivo 1: [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29996053> (1315 termos)

Termos comuns: 13

Similaridade: 0,46%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29996053> (1315 termos)

=====

6

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE METAIS DE TRANSIÇÃO DEPOSITADAS EM KNBO3 E A AVALIAÇÃO DO EFEITO CATALÍTICO NA EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO NABH4
<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES /DETEC. ISSN: 2447-5580

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

Palavras-chave: evolução de hidrogênio, niobato de potássio, nanopartículas, boro-hidreto de sódio

Keywords: hydrogen evolution, potassium niobate, nanoparticles, sodium borohydride

palabras clave: desprendimiento de hidrógeno, niobato de potasio, nanopartículas, borohidruo de sodio

*Autor Correspondente: Autor, Sobrenome abreviado.

RESUMO

O emprego de armazenadores de hidrogênio no estado sólido, como o boro-hidreto de sódio (NaBH₄), é uma estratégia que pode ser utilizada para o uso dessa fonte alternativa e promissora de energia. A partir da hidrólise do NaBH₄, tem-se a evolução do H₂, que é um processo espontâneo e cineticamente lento. Sendo assim, nanopartículas (NPs) de metais de transição depositadas em niobato de potássio (KNbO₃)



podem ser utilizadas como catalisadores. Assim, os objetivos do presente trabalho foram o desenvolvimento de catalisadores pela deposição de NPs de metais de transição em KNbO₃ e a avaliação da influência na evolução do H₂ a partir do NaBH₄. A síntese do suporte ocorreu pela via hidrotérmica, enquanto que a das NPs pela redução da solução sais precursores. Em relação às NPs avaliadas (Pt, Pd, Ni, Au e Co), os melhores efeitos observados foram para Pt e Ni. Em relação à composição bimetálica, o melhor efeito foi para a composição 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). A eficiência do processo aumentou com o aumento da dosagem do suporte e da temperatura. Conclui-se que foi possível desenvolver materiais promissores à base de nióbio, cuja maior reserva mundial se encontra no Brasil, para emprego na evolução do hidrogênio.

ABSTRACT

He use of solid state hydrogen stores, such as sodium borohydride (NaBH₄), is a strategy that can be used to use this alternative and promising source of energy. From the hydrolysis of NaBH₄, there is the evolution of H₂, which is a spontaneous and kinetically slow process. Therefore, transition metal nanoparticles (NPs) deposited in potassium niobate (KNbO₃) can be used as catalysts. Thus, the objectives of the present work were the development of catalysts for the deposition of transition metal NPs in KNbO₃ and the evaluation of the influence on the evolution of H₂ from NaBH₄. The synthesis of the support occurred via the hydrothermal route, while that of the NPs occurred via reduction of the precursor salt solution. Regarding the NPs evaluated (Pt, Pd, Ni, Au and Co), the best effects observed were for Pt and Ni. Regarding the bimetallic composition, the best effect was for the 1:3 composition (Ni:Pt, mol/mol). The process efficiency increased with increasing support dosage and temperature. It is concluded that it was possible to develop promising materials based on niobium, the largest world reserve of which is found in Brazil, for use in the evolution of hydrogen.

RESUMEN

El uso de depósitos de hidrógeno en estado sólido, como el borohidruro de sodio (NaBH₄), es una estrategia que puede utilizarse para aprovechar esta fuente de energía alternativa y prometedora. A partir de la hidrólisis del NaBH₄ se produce el desprendimiento de H₂, que es un proceso espontáneo y cinéticamente lento. Por lo tanto, las nanopartículas de metales de transición (NP) depositadas en niobato de potasio (KNbO₃) pueden usarse como catalizadores. Así, los objetivos del presente trabajo fueron el desarrollo de catalizadores para la deposición de NPs de metales de transición en KNbO₃ y la evaluación de la influencia en la evolución de H₂ a partir de NaBH₄. La síntesis del soporte se produjo por vía hidrotérmica, mientras que la de las NP se produjo mediante la reducción de la solución salina precursora. Respecto a las NP evaluadas (Pt, Pd, Ni, Au y Co), los mejores efectos observados fueron para Pt y Ni. En cuanto a la composición bimetálica, el mejor efecto fue para la composición 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). La eficiencia del proceso aumentó al aumentar la dosis y la temperatura del soporte. Se concluye que fue posible desarrollar materiales prometedores a base de niobio, cuya mayor reserva mundial se encuentra en Brasil, para su uso en la evolución de hidrógeno.

8

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente benignas tem-se intensificado nos últimos anos. Como fonte alternativa de energia, destaca-se o gás hidrogênio, porque apresenta uma elevada densidade energética, se comparada à dos demais combustíveis, e pelo fato da sua combustão liberar somente vapores de água. No entanto, a sua implementação efetiva como fonte de



energia tem sido um desafio no que tange ao seu armazenamento e transporte seguros (FANGYU Fu et al, 2018).

Como alternativa, pode-se empregar armazenadores de hidrogênio no estado sólido, que são substâncias sólidas que contêm átomos de hidrogênio em sua constituição. Nesse caso, o gás hidrogênio pode ser produzido através da hidrólise ou termólise desses armazenadores, em um processo denominado evolução do hidrogênio (Schlapba, Zuttel, 2001).

Dentre os armazenadores de hidrogênio utilizado, destaca-se o boro-hidreto de sódio, porque apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de hidrogênio (10,5 %, m/m), além de ser não tóxico e nem explosivo. Através da hidrólise do boro-hidreto de sódio, ocorre a evolução espontânea do hidrogênio nas condições ambientes, mas a cinética do processo é lenta (FANGYU Fu et al, 2018).

Para que seja utilizado para fins práticos, esse processo pode ter sua cinética aumentada através do emprego de catalisadores. Embora a catálise homogênea possa ser empregada (meio ácido), tem-se uma melhor eficiência quando se emprega a catálise heterogênea. Na catálise heterogênea, o catalisador e o meio reacional se encontram em fases distintas. O principal mecanismo responsável pelo efeito catalítico é a adsorção, que é um fenômeno de superfície. Logo, o aumento da área superficial dos catalisadores heterogêneos torna o processo mais eficiente. Por isso, pode-se empregar nanopartículas que, devido às suas elevadas áreas superficiais, podem apresentar ótimos efeitos catalíticos (IRAN, 2012).

Devido ao fato das nanopartículas apresentam uma tendência espontânea a se aglomerarem, podem ser depositadas sobre um material sólido que se disperse no meio reacional (suporte). Em razão de boa parte do nióbio do mundo estar no Brasil (98% das reservas mundiais), o desenvolvimento de suportes à base de nióbio é uma estratégia que permite agregar valores econômicos aos seus produtos. Sendo assim, como suporte, pode-se empregar o niobato de potássio, que é um sólido cristalino de coloração branca, cuja obtenção pode ocorrer pela via hidrotérmica através da reação entre o óxido de nióbio (V) e o hidróxido de potássio (UCHIDA, 1998).

METODOLOGIA

Na síntese do niobato de potássio, pela via hidrotérmica, empregou-se um reator hidrotermal (tubo de teflon cilíndrico (100 cm³) e um cilindro espesso de aço). Os reagentes empregados foram óxido de nióbio (V) e hidróxido de potássio na razão molar 1:60, e água do tipo II.

Na síntese das nanopartículas, ocorreu a dissolução de uma dada massa do sal precursor do metal de transição em água e a dispersão do suporte (niobato de potássio), seguida de agitação e, após, a redução dos cátions à forma de valência zero.

Para a quantificação do gás hidrogênio produzido, empregou-se um sistema formado por um reator hermeticamente fechado acoplado a uma bureta, através de mangueiras. O deslocamento da água foi relacionado ao volume de gás hidrogênio produzido. A temperatura do sistema foi controlada durante todos os experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, apenas o material à base de Au (NPs) não apresentou efeito cinético, uma vez que a sua curva (em azul) se sobrepõe à curva do processo sem nenhuma influência externa (curva laranja), que é cineticamente desfavorável. Por outro lado, os demais materiais à base de NPs monometálicas de Pt, Pd, Co e Ni apresentaram efeito cinético na hidrólise da solução de NaBH₄.

Fonte: Autores (2023)

Figura 1. Avaliação do efeito cinético das nanopartículas monometálicas de metais de transição decoradas

em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Como as NPs monometálicas de Pt e de Ni apresentaram os melhores efeitos cinéticos em termos de taxa de reação e rendimento, novos ensaios foram realizados para investigar se havia efeito sinérgico entre elas. Para isso, avaliou-se o efeito das NPs bimetálicas (Ni,Pt) depositadas em KNbO_3 .

Fonte: Autores (2023)

Figura 2. Avaliação do efeito cinético da composição Ni/Pt de nanopartículas bimetálicas NiPt decoradas em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; proporção Ni/Pt 1:1, 1:3 e 3:1 mol/mol; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Em relação à composição (Ni:Pt) das NPs bimetálicas NiPt depositadas em KNbO_3 , o melhor efeito catalítico em termos de taxa de reação e rendimento foram obtidos quando se empregou 1:3, Ni:Pt (mol/mol), conforme apresentado na Figura 2 (curva em verde). Além disso, é possível perceber que o emprego de NPs bimetálicas Ni,Pt tornou a eficiência catalítica do processo superior em relação ao emprego das NPs monometálicas de Ni. Em relação às NPs monometálicas de Pt, somente quando se empregou a composição 1:3, Ni:Pt (mol/mol) é que se teve uma diferença significativa no rendimento do processo de geração de H_2 . Logo, é possível inferir que há um efeito sinérgico entre as NPs de Ni e de Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível obter materiais promissores a partir da deposição de nanopartículas de metais de transição (platina e níquel) em niobato de potássio, para emprego como catalisadores na evolução do hidrogênio a partir da solução aquosa do boro-hidreto de sódio. Para as composições monometálicas, os melhores resultados obtidos foram para as NPs de Pt e Ni, enquanto que, para as bimetálicas, foi para Ni:Pt (1:3, mol/mol).

REFERÊNCIAS

Schlapba L.; Zuttel, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 2001, 414, 353-358.

IRAN, L. Físico-Química I, vol.1. LTC, 2012.

UCHIDA, S. et al. Hydrothermal synthesis of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$. *Journal of Materials Science*, 1998, 33, 5125-5129.

FANGYU Fu et al. Highly Selective and Sharp Volcano-type Synergistic Ni₂Pt@ZIF-8-Catalyzed Hydrogen Evolution from Ammonia Borane Hydrolysis. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140, 10034-10042

=====

Arquivo 1: [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hydrothermal-method> (2122 termos)

Termos comuns: 4

Similaridade: 0,11%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/hydrothermal-method> (2122 termos)

=====

6

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE METAIS DE TRANSIÇÃO DEPOSITADAS EM KNBO3 E A AVALIAÇÃO DO EFEITO CATALÍTICO NA EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO NABH4
<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES /DETEC. ISSN: 2447-5580

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

Palavras-chave: evolução de hidrogênio, niobato de potássio, nanopartículas, boro-hidreto de sódio

Keywords: hydrogen evolution, potassium niobate, nanoparticles, sodium borohydride

palabras clave: desprendimiento de hidrógeno, niobato de potasio, nanopartículas, borohidruo de sodio

*Autor Correspondente: Autor, Sobrenome abreviado.

RESUMO

O emprego de armazenadores de hidrogênio no estado sólido, como o boro-hidreto de sódio (NaBH₄), é uma estratégia que pode ser utilizada para o uso dessa fonte alternativa e promissora de energia. A partir da hidrólise do NaBH₄, tem-se a evolução do H₂, que é um processo espontâneo e cineticamente lento. Sendo assim, nanopartículas (NPs) de metais de transição depositadas em niobato de potássio (KNbO₃)



podem ser utilizadas como catalisadores. Assim, os objetivos do presente trabalho foram o desenvolvimento de catalisadores pela deposição de NPs de metais de transição em KNbO₃ e a avaliação da influência na evolução do H₂ a partir do NaBH₄. A síntese do suporte ocorreu pela via hidrotérmica, enquanto que a das NPs pela redução da solução sais precursores. Em relação às NPs avaliadas (Pt, Pd, Ni, Au e Co), os melhores efeitos observados foram para Pt e Ni. Em relação à composição bimetálica, o melhor efeito foi para a composição 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). A eficiência do processo aumentou com o aumento da dosagem do suporte e da temperatura. Conclui-se que foi possível desenvolver materiais promissores à base de nióbio, cuja maior reserva mundial se encontra no Brasil, para emprego na evolução do hidrogênio.

ABSTRACT

He use of solid state hydrogen stores, such as sodium borohydride (NaBH₄), is a strategy that can be used to use this alternative and promising source of energy. From the hydrolysis of NaBH₄, there is the evolution of H₂, which is a spontaneous and kinetically slow process. Therefore, transition metal nanoparticles (NPs) deposited in potassium niobate (KNbO₃) can be used as catalysts. Thus, the objectives of the present work were the development of catalysts for the deposition of transition metal NPs in KNbO₃ and the evaluation of the influence on the evolution of H₂ from NaBH₄. **The synthesis of the support occurred via the hydrothermal route, while that of the NPs occurred via reduction of the precursor salt solution.** Regarding the NPs evaluated (Pt, Pd, Ni, Au and Co), the best effects observed were for Pt and Ni. Regarding the bimetallic composition, the best effect was for the 1:3 composition (Ni:Pt, mol/mol). The process efficiency increased with increasing support dosage and temperature. It is concluded that it was possible to develop promising materials based on niobium, the largest world reserve of which is found in Brazil, for use in the evolution of hydrogen.

RESUMEN

El uso de depósitos de hidrógeno en estado sólido, como el borohidruro de sodio (NaBH₄), es una estrategia que puede utilizarse para aprovechar esta fuente de energía alternativa y prometedora. A partir de la hidrólisis del NaBH₄ se produce el desprendimiento de H₂, que es un proceso espontáneo y cinéticamente lento. Por lo tanto, las nanopartículas de metales de transición (NP) depositadas en niobato de potasio (KNbO₃) pueden usarse como catalizadores. Así, los objetivos del presente trabajo fueron el desarrollo de catalizadores para la deposición de NPs de metales de transición en KNbO₃ y la evaluación de la influencia en la evolución de H₂ a partir de NaBH₄. La síntesis del soporte se produjo por vía hidrotérmica, mientras que la de las NP se produjo mediante la reducción de la solución salina precursora. Respecto a las NP evaluadas (Pt, Pd, Ni, Au y Co), los mejores efectos observados fueron para Pt y Ni. En cuanto a la composición bimetálica, el mejor efecto fue para la composición 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). La eficiencia del proceso aumentó al aumentar la dosis y la temperatura del soporte. Se concluye que fue posible desarrollar materiales prometedores a base de niobio, cuya mayor reserva mundial se encuentra en Brasil, para su uso en la evolución de hidrógeno.

8

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente benignas tem-se intensificado nos últimos anos. Como fonte alternativa de energia, destaca-se o gás hidrogênio, porque apresenta uma elevada densidade energética, se comparada à dos demais combustíveis, e pelo fato da sua combustão liberar somente vapores de água. No entanto, a sua implementação efetiva como fonte de



energia tem sido um desafio no que tange ao seu armazenamento e transporte seguros (FANGYU Fu et al, 2018).

Como alternativa, pode-se empregar armazenadores de hidrogênio no estado sólido, que são substâncias sólidas que contém átomos de hidrogênio em sua constituição. Nesse caso, o gás hidrogênio pode ser produzido através da hidrólise ou termólise desses armazenadores, em um processo denominado evolução do hidrogênio (Schlapba, Zuttel, 2001).

Dentre os armazenadores de hidrogênio utilizado, destaca-se o boro-hidreto de sódio, porque apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de hidrogênio (10,5 %, m/m), além de ser não tóxico e nem explosivo. Através da hidrólise do boro-hidreto de sódio, ocorre a evolução espontânea do hidrogênio nas condições ambientes, mas a cinética do processo é lenta (FANGYU Fu et al, 2018).

Para que seja utilizado para fins práticos, esse processo pode ter sua cinética aumentada através do emprego de catalisadores. Embora a catálise homogênea possa ser empregada (meio ácido), tem-se uma melhor eficiência quando se emprega a catálise heterogênea. Na catálise heterogênea, o catalisador e o meio reacional se encontram em fases distintas. O principal mecanismo responsável pelo efeito catalítico é a adsorção, que é um fenômeno de superfície. Logo, o aumento da área superficial dos catalisadores heterogêneos torna o processo mais eficiente. Por isso, pode-se empregar nanopartículas que, devido às suas elevadas áreas superficiais, podem apresentar ótimos efeitos catalíticos (IRAN, 2012).

Devido ao fato das nanopartículas apresentam uma tendência espontânea a se aglomerarem, podem ser depositadas sobre um material sólido que se disperse no meio reacional (suporte). Em razão de boa parte do nióbio do mundo estar no Brasil (98% das reservas mundiais), o desenvolvimento de suportes à base de nióbio é uma estratégia que permite agregar valores econômicos aos seus produtos. Sendo assim, como suporte, pode-se empregar o niobato de potássio, que é um sólido cristalino de coloração branca, cuja obtenção pode ocorrer pela via hidrotérmica através da reação entre o óxido de nióbio (V) e o hidróxido de potássio (UCHIDA, 1998).

METODOLOGIA

Na síntese do niobato de potássio, pela via hidrotérmica, empregou-se um reator hidrotermal (tubo de teflon cilíndrico (100 cm³) e um cilindro espesso de aço). Os reagentes empregados foram óxido de nióbio (V) e hidróxido de potássio na razão molar 1:60, e água do tipo II.

Na síntese das nanopartículas, ocorreu a dissolução de uma dada massa do sal precursor do metal de transição em água e a dispersão do suporte (niobato de potássio), seguida de agitação e, após, a redução dos cátions à forma de valência zero.

Para a quantificação do gás hidrogênio produzido, empregou-se um sistema formado por um reator hermeticamente fechado acoplado a uma bureta, através de mangueiras. O deslocamento da água foi relacionado ao volume de gás hidrogênio produzido. A temperatura do sistema foi controlada durante todos os experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, apenas o material à base de Au (NPs) não apresentou efeito cinético, uma vez que a sua curva (em azul) se sobrepõe à curva do processo sem nenhuma influência externa (curva laranja), que é cineticamente desfavorável. Por outro lado, os demais materiais à base de NPs monometálicas de Pt, Pd, Co e Ni apresentaram efeito cinético na hidrólise da solução de NaBH₄.

Fonte: Autores (2023)

Figura 1. Avaliação do efeito cinético das nanopartículas monometálicas de metais de transição decoradas

em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Como as NPs monometálicas de Pt e de Ni apresentaram os melhores efeitos cinéticos em termos de taxa de reação e rendimento, novos ensaios foram realizados para investigar se havia efeito sinérgico entre elas. Para isso, avaliou-se o efeito das NPs bimetálicas (Ni,Pt) depositadas em KNbO_3 .

Fonte: Autores (2023)

Figura 2. Avaliação do efeito cinético da composição Ni/Pt de nanopartículas bimetálicas NiPt decoradas em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; proporção Ni/Pt 1:1, 1:3 e 3:1 mol/mol; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Em relação à composição (Ni:Pt) das NPs bimetálicas NiPt depositadas em KNbO_3 , o melhor efeito catalítico em termos de taxa de reação e rendimento foram obtidos quando se empregou 1:3, Ni:Pt (mol/mol), conforme apresentado na Figura 2 (curva em verde). Além disso, é possível perceber que o emprego de NPs bimetálicas Ni,Pt tornou a eficiência catalítica do processo superior em relação ao emprego das NPs monometálicas de Ni. Em relação às NPs monometálicas de Pt, somente quando se empregou a composição 1:3, Ni:Pt (mol/mol) é que se teve uma diferença significativa no rendimento do processo de geração de H_2 . Logo, é possível inferir que há um efeito sinérgico entre as NPs de Ni e de Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível obter materiais promissores a partir da deposição de nanopartículas de metais de transição (platina e níquel) em niobato de potássio, para emprego como catalisadores na evolução do hidrogênio a partir da solução aquosa do boro-hidreto de sódio. Para as composições monometálicas, os melhores resultados obtidos foram para as NPs de Pt e Ni, enquanto que, para as bimetálicas, foi para Ni:Pt (1:3, mol/mol).

REFERÊNCIAS

Schlapba L.; Zuttel, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 2001, 414, 353-358.

IRAN, L. Físico-Química I, vol.1. LTC, 2012.

UCHIDA, S. et al. **Hydrothermal synthesis of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$** . *Journal of Materials Science*, 1998, 33, 5125-5129.

FANGYU Fu et al. Highly Selective and Sharp Volcano-type Synergistic $\text{Ni}_2\text{Pt}@ZIF-8$ -Catalyzed Hydrogen Evolution from Ammonia Borane Hydrolysis. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140, 10034-10042



=====
Arquivo 1: [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-020-04415-x> (8987 termos)

Termos comuns: 10

Similaridade: 0,09%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-020-04415-x> (8987 termos)

=====
6

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE METAIS DE TRANSIÇÃO DEPOSITADAS EM KNBO3 E A AVALIAÇÃO DO EFEITO CATALÍTICO NA EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO NABH4

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES /DETEC. ISSN: 2447-5580

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

Palavras-chave: evolução de hidrogênio, niobato de potássio, nanopartículas, boro-hidreto de sódio

Keywords: hydrogen evolution, potassium niobate, nanoparticles, sodium borohydride

palabras clave: desprendimiento de hidrógeno, niobato de potasio, nanopartículas, borohidruo de sodio

*Autor Correspondente: Autor, Sobrenome abreviado.

RESUMO

O emprego de armazenadores de hidrogênio no estado sólido, como o boro-hidreto de sódio (NaBH₄), é uma estratégia que pode ser utilizada para o uso dessa fonte alternativa e promissora de energia. A partir da hidrólise do NaBH₄, tem-se a evolução do H₂, que é um processo espontâneo e cineticamente lento. Sendo assim, nanopartículas (NPs) de metais de transição depositadas em niobato de potássio (KNbO₃)



podem ser utilizadas como catalisadores. Assim, os objetivos do presente trabalho foram o desenvolvimento de catalisadores pela deposição de NPs de metais de transição em KNbO₃ e a avaliação da influência na evolução do H₂ a partir do NaBH₄. A síntese do suporte ocorreu pela via hidrotérmica, enquanto que a das NPs pela redução da solução sais precursores. Em relação às NPs avaliadas (Pt, Pd, Ni, Au e Co), os melhores efeitos observados foram para Pt e Ni. Em relação à composição bimetálica, o melhor efeito foi para a composição 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). A eficiência do processo aumentou com o aumento da dosagem do suporte e da temperatura. Conclui-se que foi possível desenvolver materiais promissores à base de nióbio, cuja maior reserva mundial se encontra no Brasil, para emprego na evolução do hidrogênio.

ABSTRACT

He use of solid state hydrogen stores, such as sodium borohydride (NaBH₄), is a strategy that can be used to use this alternative and promising source of energy. From the hydrolysis of NaBH₄, there is the evolution of H₂, which is a spontaneous and kinetically slow process. Therefore, transition metal nanoparticles (NPs) deposited in potassium niobate (KNbO₃) can be used as catalysts. Thus, the objectives of the present work were **the development of catalysts for the** deposition of transition metal NPs in KNbO₃ and **the evaluation of** the influence on the evolution of H₂ from NaBH₄. **The synthesis of** the support occurred via the hydrothermal route, while that of the NPs occurred via reduction of the precursor salt solution. Regarding the NPs evaluated (Pt, Pd, Ni, Au and Co), the best effects observed were for Pt and Ni. Regarding the bimetallic composition, the best effect was for the 1:3 composition (Ni:Pt, mol/mol). The process efficiency increased with increasing support dosage and temperature. It is concluded that it was possible to develop promising materials based on niobium, the largest world reserve of which is found in Brazil, for use in the evolution of hydrogen.

RESUMEN

El uso de depósitos de hidrógeno en estado sólido, como el borohidruro de sodio (NaBH₄), es una estrategia que puede utilizarse para aprovechar esta fuente de energía alternativa y prometedora. A partir de la hidrólisis del NaBH₄ se produce el desprendimiento de H₂, que es un proceso espontáneo y cinéticamente lento. Por lo tanto, las nanopartículas de metales de transición (NP) depositadas en niobato de potasio (KNbO₃) pueden usarse como catalizadores. Así, los objetivos del presente trabajo fueron el desarrollo de catalizadores para la deposición de NPs de metales de transición en KNbO₃ y la evaluación de la influencia en la evolución de H₂ a partir de NaBH₄. La síntesis del soporte se produjo por vía hidrotérmica, mientras que la de las NP se produjo mediante la reducción de la solución salina precursora. Respecto a las NP evaluadas (Pt, Pd, Ni, Au y Co), los mejores efectos observados fueron para Pt y Ni. En cuanto a la composición bimetálica, el mejor efecto fue para la composición 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). La eficiencia del proceso aumentó al aumentar la dosis y la temperatura del soporte. Se concluye que fue posible desarrollar materiales prometedores a base de niobio, cuya mayor reserva mundial se encuentra en Brasil, para su uso en la evolución de hidrógeno.

8

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente benignas tem-se intensificado nos últimos anos. Como fonte alternativa de energia, destaca-se o gás hidrogênio, porque apresenta uma elevada densidade energética, se comparada à dos demais combustíveis, e pelo fato da sua combustão liberar somente vapores de água. No entanto, a sua implementação efetiva como fonte de

energia tem sido um desafio no que tange ao seu armazenamento e transporte seguros (FANGYU Fu et al, 2018).

Como alternativa, pode-se empregar armazenadores de hidrogênio no estado sólido, que são substâncias sólidas que contém átomos de hidrogênio em sua constituição. Nesse caso, o gás hidrogênio pode ser produzido através da hidrólise ou termólise desses armazenadores, em um processo denominado evolução do hidrogênio (Schlapba, Zuttel, 2001).

Dentre os armazenadores de hidrogênio utilizado, destaca-se o boro-hidreto de sódio, porque apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de hidrogênio (10,5 %, m/m), além de ser não tóxico e nem explosivo. Através da hidrólise do boro-hidreto de sódio, ocorre a evolução espontânea do hidrogênio nas condições ambientes, mas a cinética do processo é lenta (FANGYU Fu et al, 2018).

Para que seja utilizado para fins práticos, esse processo pode ter sua cinética aumentada através do emprego de catalisadores. Embora a catálise homogênea possa ser empregada (meio ácido), tem-se uma melhor eficiência quando se emprega a catálise heterogênea. Na catálise heterogênea, o catalisador e o meio reacional se encontram em fases distintas. O principal mecanismo responsável pelo efeito catalítico é a adsorção, que é um fenômeno de superfície. Logo, o aumento da área superficial dos catalisadores heterogêneos torna o processo mais eficiente. Por isso, pode-se empregar nanopartículas que, devido às suas elevadas áreas superficiais, podem apresentar ótimos efeitos catalíticos (IRAN, 2012).

Devido ao fato das nanopartículas apresentam uma tendência espontânea a se aglomerarem, podem ser depositadas sobre um material sólido que se disperse no meio reacional (suporte). Em razão de boa parte do nióbio do mundo estar no Brasil (98% das reservas mundiais), o desenvolvimento de suportes à base de nióbio é uma estratégia que permite agregar valores econômicos aos seus produtos. Sendo assim, como suporte, pode-se empregar o niobato de potássio, que é um sólido cristalino de coloração branca, cuja obtenção pode ocorrer pela via hidrotérmica através da reação entre o óxido de nióbio (V) e o hidróxido de potássio (UCHIDA, 1998).

METODOLOGIA

Na síntese do niobato de potássio, pela via hidrotérmica, empregou-se um reator hidrotermal (tubo de teflon cilíndrico (100 cm³) e um cilindro espesso de aço). Os reagentes empregados foram óxido de nióbio (V) e hidróxido de potássio na razão molar 1:60, e água do tipo II.

Na síntese das nanopartículas, ocorreu a dissolução de uma dada massa do sal precursor do metal de transição em água e a dispersão do suporte (niobato de potássio), seguida de agitação e, após, a redução dos cátions à forma de valência zero.

Para a quantificação do gás hidrogênio produzido, empregou-se um sistema formado por um reator hermeticamente fechado acoplado a uma bureta, através de mangueiras. O deslocamento da água foi relacionado ao volume de gás hidrogênio produzido. A temperatura do sistema foi controlada durante todos os experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, apenas o material à base de Au (NPs) não apresentou efeito cinético, uma vez que a sua curva (em azul) se sobrepõe à curva do processo sem nenhuma influência externa (curva laranja), que é cineticamente desfavorável. Por outro lado, os demais materiais à base de NPs monometálicas de Pt, Pd, Co e Ni apresentaram efeito cinético na hidrólise da solução de NaBH₄.

Fonte: Autores (2023)

Figura 1. Avaliação do efeito cinético das nanopartículas monometálicas de metais de transição decoradas



em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Como as NPs monometálicas de Pt e de Ni apresentaram os melhores efeitos cinéticos em termos de taxa de reação e rendimento, novos ensaios foram realizados para investigar se havia efeito sinérgico entre elas. Para isso, avaliou-se o efeito das NPs bimetálicas (Ni,Pt) depositadas em KNbO_3 .

Fonte: Autores (2023)

Figura 2. Avaliação do efeito cinético da composição Ni/Pt de nanopartículas bimetálicas NiPt decoradas em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; proporção Ni/Pt 1:1, 1:3 e 3:1 mol/mol; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Em relação à composição (Ni:Pt) das NPs bimetálicas NiPt depositadas em KNbO_3 , o melhor efeito catalítico em termos de taxa de reação e rendimento foram obtidos quando se empregou 1:3, Ni:Pt (mol/mol), conforme apresentado na Figura 2 (curva em verde). Além disso, é possível perceber que o emprego de NPs bimetálicas Ni,Pt tornou a eficiência catalítica do processo superior em relação ao emprego das NPs monometálicas de Ni. Em relação às NPs monometálicas de Pt, somente quando se empregou a composição 1:3, Ni:Pt (mol/mol) é que se teve uma diferença significativa no rendimento do processo de geração de H_2 . Logo, é possível inferir que há um efeito sinérgico entre as NPs de Ni e de Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível obter materiais promissores a partir da deposição de nanopartículas de metais de transição (platina e níquel) em niobato de potássio, para emprego como catalisadores na evolução do hidrogênio a partir da solução aquosa do boro-hidreto de sódio. Para as composições monometálicas, os melhores resultados obtidos foram para as NPs de Pt e Ni, enquanto que, para as bimetálicas, foi para Ni:Pt (1:3, mol/mol).

REFERÊNCIAS

Schlapba L.; Zuttel, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 2001, 414, 353-358.

IRAN, L. Físico-Química I, vol.1. LTC, 2012.

UCHIDA, S. et al. Hydrothermal synthesis of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$. *Journal of Materials Science*, 1998, 33, 5125-5129.

FANGYU Fu et al. Highly Selective and Sharp Volcano-type Synergistic $\text{Ni}_2\text{Pt}@ZIF-8$ -Catalyzed Hydrogen Evolution from Ammonia Borane Hydrolysis. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140, 10034-10042



=====
Arquivo 1: [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Arquivo 2: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10904-019-01331-9> (2517 termos)

Termos comuns: 4

Similaridade: 0,09%

O texto abaixo é o conteúdo do documento [nanopartículas-niobato-evolução de hidrogênio-efeito catalítico.docx \(1488 termos\)](#)

Os termos em vermelho foram encontrados no documento

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10904-019-01331-9> (2517 termos)

=====
6

Citação (APA): Autor1, Autor2, & Autor3. (2023). Título. Brazilian Journal of Production Engineering, 9(3), 01-06.

SÍNTESE DE NANOPARTÍCULAS DE METAIS DE TRANSIÇÃO DEPOSITADAS EM KNBO3 E A AVALIAÇÃO DO EFEITO CATALÍTICO NA EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO A PARTIR DO NABH4

<https://doi.org/10.47456/bjpe.v8i4.37896>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Vol. X, N.º Y, p. aa-bb. (ano). Editora CEUNES /DETEC.

Disponível em: <http://periodicos.ufes.br/BJPE>

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional. Brazilian Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES /DETEC. ISSN: 2447-5580

ARTIGO INFO.

Recebido:

Aprovado:

Disponibilizado:

Palavras-chave: evolução de hidrogênio, niobato de potássio, nanopartículas, boro-hidreto de sódio

Keywords: hydrogen evolution, potassium niobate, nanoparticles, sodium borohydride

palabras clave: desprendimiento de hidrógeno, niobato de potasio, nanopartículas, borohidruo de sodio

*Autor Correspondente: Autor, Sobrenome abreviado.

RESUMO

O emprego de armazenadores de hidrogênio no estado sólido, como o boro-hidreto de sódio (NaBH₄), é uma estratégia que pode ser utilizada para o uso dessa fonte alternativa e promissora de energia. A partir da hidrólise do NaBH₄, tem-se a evolução do H₂, que é um processo espontâneo e cineticamente lento. Sendo assim, nanopartículas (NPs) de metais de transição depositadas em niobato de potássio (KNbO₃)



podem ser utilizadas como catalisadores. Assim, os objetivos do presente trabalho foram o desenvolvimento de catalisadores pela deposição de NPs de metais de transição em KNbO₃ e a avaliação da influência na evolução do H₂ a partir do NaBH₄. A síntese do suporte ocorreu pela via hidrotérmica, enquanto que a das NPs pela redução da solução sais precursores. Em relação às NPs avaliadas (Pt, Pd, Ni, Au e Co), os melhores efeitos observados foram para Pt e Ni. Em relação à composição bimetálica, o melhor efeito foi para a composição 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). A eficiência do processo aumentou com o aumento da dosagem do suporte e da temperatura. Conclui-se que foi possível desenvolver materiais promissores à base de nióbio, cuja maior reserva mundial se encontra no Brasil, para emprego na evolução do hidrogênio.

ABSTRACT

He use of solid state hydrogen stores, such as sodium borohydride (NaBH₄), is a strategy that can be used to use this alternative and promising source of energy. From the hydrolysis of NaBH₄, there is the evolution of H₂, which is a spontaneous and kinetically slow process. Therefore, **transition metal nanoparticles** (NPs) deposited in potassium niobate (KNbO₃) can be used as catalysts. Thus, the objectives of the present work were the development of catalysts for the deposition **of transition metal** NPs in KNbO₃ and the evaluation of the influence on the evolution of H₂ from NaBH₄. The synthesis of the support occurred via the hydrothermal route, while that of the NPs occurred via reduction of the precursor salt solution. Regarding the NPs evaluated (Pt, Pd, Ni, Au and Co), the best effects observed were for Pt and Ni. Regarding the bimetallic composition, the best effect was for the 1:3 composition (Ni:Pt, mol/mol). The process efficiency increased with increasing support dosage and temperature. It is concluded that it was possible to develop promising materials based on niobium, the largest world reserve of which is found in Brazil, for use in the evolution of hydrogen.

RESUMEN

El uso de depósitos de hidrógeno en estado sólido, como el borohidruro de sodio (NaBH₄), es una estrategia que puede utilizarse para aprovechar esta fuente de energía alternativa y prometedora. A partir de la hidrólisis del NaBH₄ se produce el desprendimiento de H₂, que es un proceso espontáneo y cinéticamente lento. Por lo tanto, las nanopartículas de metales de transición (NP) depositadas en niobato de potasio (KNbO₃) pueden usarse como catalizadores. Así, los objetivos del presente trabajo fueron el desarrollo de catalizadores para la deposición de NPs de metales de transición en KNbO₃ y la evaluación de la influencia en la evolución de H₂ a partir de NaBH₄. La síntesis del soporte se produjo por vía hidrotérmica, mientras que la de las NP se produjo mediante la reducción de la solución salina precursora. Respecto a las NP evaluadas (Pt, Pd, Ni, Au y Co), los mejores efectos observados fueron para Pt y Ni. En cuanto a la composición bimetálica, el mejor efecto fue para la composición 1:3 (Ni:Pt, mol/mol). La eficiencia del proceso aumentó al aumentar la dosis y la temperatura del soporte. Se concluye que fue posible desarrollar materiales prometedores a base de niobio, cuya mayor reserva mundial se encuentra en Brasil, para su uso en la evolución de hidrógeno.

8

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia que sejam renováveis e ambientalmente benignas tem-se intensificado nos últimos anos. Como fonte alternativa de energia, destaca-se o gás hidrogênio, porque apresenta uma elevada densidade energética, se comparada à dos demais combustíveis, e pelo fato da sua combustão liberar somente vapores de água. No entanto, a sua implementação efetiva como fonte de

energia tem sido um desafio no que tange ao seu armazenamento e transporte seguros (FANGYU Fu et al, 2018).

Como alternativa, pode-se empregar armazenadores de hidrogênio no estado sólido, que são substâncias sólidas que contém átomos de hidrogênio em sua constituição. Nesse caso, o gás hidrogênio pode ser produzido através da hidrólise ou termólise desses armazenadores, em um processo denominado evolução do hidrogênio (Schlapba, Zuttel, 2001).

Dentre os armazenadores de hidrogênio utilizado, destaca-se o boro-hidreto de sódio, porque apresenta uma elevada capacidade de armazenamento de hidrogênio (10,5 %, m/m), além de ser não tóxico e nem explosivo. Através da hidrólise do boro-hidreto de sódio, ocorre a evolução espontânea do hidrogênio nas condições ambientes, mas a cinética do processo é lenta (FANGYU Fu et al, 2018).

Para que seja utilizado para fins práticos, esse processo pode ter sua cinética aumentada através do emprego de catalisadores. Embora a catálise homogênea possa ser empregada (meio ácido), tem-se uma melhor eficiência quando se emprega a catálise heterogênea. Na catálise heterogênea, o catalisador e o meio reacional se encontram em fases distintas. O principal mecanismo responsável pelo efeito catalítico é a adsorção, que é um fenômeno de superfície. Logo, o aumento da área superficial dos catalisadores heterogêneos torna o processo mais eficiente. Por isso, pode-se empregar nanopartículas que, devido às suas elevadas áreas superficiais, podem apresentar ótimos efeitos catalíticos (IRAN, 2012).

Devido ao fato das nanopartículas apresentam uma tendência espontânea a se aglomerarem, podem ser depositadas sobre um material sólido que se disperse no meio reacional (suporte). Em razão de boa parte do nióbio do mundo estar no Brasil (98% das reservas mundiais), o desenvolvimento de suportes à base de nióbio é uma estratégia que permite agregar valores econômicos aos seus produtos. Sendo assim, como suporte, pode-se empregar o niobato de potássio, que é um sólido cristalino de coloração branca, cuja obtenção pode ocorrer pela via hidrotérmica através da reação entre o óxido de nióbio (V) e o hidróxido de potássio (UCHIDA, 1998).

METODOLOGIA

Na síntese do niobato de potássio, pela via hidrotérmica, empregou-se um reator hidrotermal (tubo de teflon cilíndrico (100 cm³) e um cilindro espesso de aço). Os reagentes empregados foram óxido de nióbio (V) e hidróxido de potássio na razão molar 1:60, e água do tipo II.

Na síntese das nanopartículas, ocorreu a dissolução de uma dada massa do sal precursor do metal de transição em água e a dispersão do suporte (niobato de potássio), seguida de agitação e, após, a redução dos cátions à forma de valência zero.

Para a quantificação do gás hidrogênio produzido, empregou-se um sistema formado por um reator hermeticamente fechado acoplado a uma bureta, através de mangueiras. O deslocamento da água foi relacionado ao volume de gás hidrogênio produzido. A temperatura do sistema foi controlada durante todos os experimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme os resultados apresentados na Figura 1, apenas o material à base de Au (NPs) não apresentou efeito cinético, uma vez que a sua curva (em azul) se sobrepõe à curva do processo sem nenhuma influência externa (curva laranja), que é cineticamente desfavorável. Por outro lado, os demais materiais à base de NPs monometálicas de Pt, Pd, Co e Ni apresentaram efeito cinético na hidrólise da solução de NaBH₄.

Fonte: Autores (2023)

Figura 1. Avaliação do efeito cinético das nanopartículas monometálicas de metais de transição decoradas

em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Como as NPs monometálicas de Pt e de Ni apresentaram os melhores efeitos cinéticos em termos de taxa de reação e rendimento, novos ensaios foram realizados para investigar se havia efeito sinérgico entre elas. Para isso, avaliou-se o efeito das NPs bimetálicas (Ni,Pt) depositadas em KNbO_3 .

Fonte: Autores (2023)

Figura 2. Avaliação do efeito cinético da composição Ni/Pt de nanopartículas bimetálicas NiPt decoradas em KNbO_3 na hidrólise da solução de NaBH_4 . Condições reacionais: NaBH_4 (1,0 mL, 0,5 mmol/L); 6,89 mmol% metal/ NaBH_4 ; proporção Ni/Pt 1:1, 1:3 e 3:1 mol/mol; KNbO_3 (25,0 mg); 21,4 °C.

Em relação à composição (Ni:Pt) das NPs bimetálicas NiPt depositadas em KNbO_3 , o melhor efeito catalítico em termos de taxa de reação e rendimento foram obtidos quando se empregou 1:3, Ni:Pt (mol/mol), conforme apresentado na Figura 2 (curva em verde). Além disso, é possível perceber que o emprego de NPs bimetálicas Ni,Pt tornou a eficiência catalítica do processo superior em relação ao emprego das NPs monometálicas de Ni. Em relação às NPs monometálicas de Pt, somente quando se empregou a composição 1:3, Ni:Pt (mol/mol) é que se teve uma diferença significativa no rendimento do processo de geração de H_2 . Logo, é possível inferir que há um efeito sinérgico entre as NPs de Ni e de Pt.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que foi possível obter materiais promissores a partir da deposição de nanopartículas de metais de transição (platina e níquel) em niobato de potássio, para emprego como catalisadores na evolução do hidrogênio a partir da solução aquosa do boro-hidreto de sódio. Para as composições monometálicas, os melhores resultados obtidos foram para as NPs de Pt e Ni, enquanto que, para as bimetálicas, foi para Ni:Pt (1:3, mol/mol).

REFERÊNCIAS

Schlapba L.; Zuttel, A. Hydrogen-storage materials for mobile applications. *Nature*, 2001, 414, 353-358.

IRAN, L. Físico-Química I, vol.1. LTC, 2012.

UCHIDA, S. et al. Hydrothermal synthesis of $\text{K}_4\text{Nb}_6\text{O}_{17}$. *Journal of Materials Science*, 1998, 33, 5125-5129.

FANGYU Fu et al. Highly Selective and Sharp Volcano-type Synergistic $\text{Ni}_2\text{Pt}@ZIF-8$ -Catalyzed Hydrogen Evolution from Ammonia Borane Hydrolysis. *Journal of the American Chemical Society*, 2018, 140, 10034-10042