

Recuperação de Pd(II) de catalisadores automotivos exauridos sobre a resina de troca iônica 2-vinilpiridina-divinilbenzeno

Pd(II) recovery from exhausted automotive catalysts using 2-vinylpyridine-divinylbenzene ion exchange resin

Juvan Pereira da Silva e Aparecido Ribeiro de Souza*

Universidade Federal de Goiás
* aparecido_souza@ufg.br

Submetido em 01/06/2015; Versão revisada em 17/07/2015; Aceito em 20/07/2015

Resumo

Este trabalho apresenta o estudo sobre a lixiviação e extração de Pd de catalisadores automotivos exauridos (CAE). O catalisador foi caracterizado por difração de raios-X (DRX) e fluorescência de raios-X (FRX) sendo identificado como o mineral cordierita. A lixiviação dos metais nobres do suporte catalítico foi avaliada em solução de água-régia (3:1 v/v, HCl para HNO₃) e mistura sulfonítrica (1:1 v/v, HNO₃ para H₂SO₄) em diferentes tempos. A separação dos componentes da mistura lixiviada foi realizada com uma resina de troca iônica de 2-vinilpiridina-divinilbenzeno (DVB-2-VPY) e os metais eluídos foram determinados por espectrometria de absorção atômica (EAA). A capacidade de troca da resina foi determinada para os íons [PdCl₄]²⁻ e [PtCl₆]²⁻ sendo 1,74 mmol/g, e a melhor eficiência de extração foi alcançada para o paládio em 83,1%.

Palavras Chave: Catalisador automotivo, paládio, troca iônica, metais do grupo da platina

Abstract

This work presents a study about leaching and extraction of Pd and Pt from exhausted automotive catalysts (EAC). The catalyst was characterized by X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) and it was identified as cordierite. The leaching of the supported noble metal catalysts was evaluated in aqua regia solution (3:1 v/v, HCl to HNO₃) and sulfonitric mixture (1:1 v/v, H₂SO₄ to HNO₃) at different time. The separation of the components of a mixture leached was carried through with an ion exchange resin to 2-vinylpyridine-divinylbenzene (DVB-2-VPY) and metal eluted from the resin were analyzed by atomic absorption spectrometry (AAS). The exchange capacity of the resin was determined for [PdCl₄]²⁻ and [PtCl₆]²⁻ ions 1.74 mmol/g, and the highest extraction efficiency achieved was 83.1% for palladium.

Key Word: Automotive catalytic converter, palladium, ion exchange, platinum group metals

INTRODUÇÃO

O paládio, um metal branco prateado parecido com a platina, ocorre em baixos teores na natureza como os outros elementos dos metais do

grupo da platina (MGP), do qual fazem parte seis elementos químicos: platina, paládio, ródio, rutênio, ósmio e irídio; que, juntamente, com o ouro e a prata, são conhecidos como metais preciosos ou metais nobres (COTTON, 1997).

O paládio e os outros MGPs possuem propriedades físicas e químicas semelhantes, são refratários, quimicamente inertes a elevadas temperaturas, possui alta resistência a corrosão e alto ponto de fusão. Essas propriedades conferem aos MGPs diversas aplicações como, por exemplo: na microeletrônica, em células combustíveis, na medicina e em catálise, bem como em jóias e no mercado de investimentos (BLACK, 2000; MUROI, 2012; BATZER e COPPONNEX, 2014).

Atualmente, a maior demanda pelo paládio é na fabricação de catalisadores automotivos de três vias (WOLOWICZ e HUBICKI, 2011), que reduzem o nível de gases indesejáveis exauridos pelos escapamentos dos automóveis, tais como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não queimados (HC) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (RANGEL e CARVALHO, 2003).

Embora o paládio esteja presente em quantidade muito pequena nos catalisadores, dentre os MGPs é o que possui maior concentração (ca. 88% em relação aos MGPs) (AMATAYAKUL e RAMNÄS, 2001) sua recuperação é incentivada devido ao seu valor intrínseco e a demanda irrefutável na indústria química (BÖCK, 2006).

As tecnologias de recuperação de MGP dos catalisadores exauridos foram revisadas nas últimas décadas (BÖCK, 2006; BERNARDIS, et al., 2005; BARAKAT, 2006) e dois processos, comercialmente viáveis, já estão em operação em alguns países; o pirometalúrgico e o hidrometalúrgico.

O processo pirometalúrgico (FORNALCZYK e SATERNUS, 2013) envolve a fusão em altas temperaturas do catalisador automotivo triturado em um cadinho contendo um metal coletor (geralmente, ferro ou cobre). Os MGPs são separados da escória com os metais coletores que são mais densos e se depositam na base do cadinho.

Numa segunda etapa, os MGPs são separados do metal coletor por dissolução com água-régia, seguido de separação por redução com

outros metais. Os principais problemas deste processo estão relacionados ao elevado número de etapas, com consumo de muitos materiais e energia (BENSON, et al., 2000).

No processo hidrometalúrgico (ABERASTURI, et al., 2011), os MGPs são dissolvidos na maior parte sob a forma de cloro-complexo e separados da solução por redução com outros metais, tais como Al, Fe ou Zn ou extração por solvente. A introdução do metal como agente redutor, apesar de ser uma das tecnologias praticadas, com bons rendimentos e baixo custo, gera uma quantidade elevada de resíduos indesejáveis.

Por isso a extração por solventes tem sido proposta como alternativa viável, contudo o pré-requisito para este processo é que a concentração de cada MGP em solução aquosa seja superior a 100 ppm. No entanto, as concentrações das soluções dos MGPs obtidos por lixiviação com água-régia são geralmente inferiores. Assim, a pré-concentração de MGP na solução é necessária e podem ser alcançadas utilizando resinas de troca iônica.

Em função disso, alguns trabalhos tem sido desenvolvidos no sentido de utilizar diferentes sistemas oxidantes para a solubilização dos MGPs (ABERASTURI, et al., 2011), bem como diferentes sistemas de separação de outros metais presentes no suporte catalítico que são solubilizados juntamente com os MGPs (PARODI, et al., 2008 e SWAIN, et al., 2010, NIKOLOSKI, 2015).

Dentre estes, destacam-se as resinas a base de vinilpiridina, devido a sua alta estabilidade em meio oxidante (KONONOVA, et al., 1998).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de duas misturas oxidantes na lixiviação de Pd e Pt presentes em catalisadores automotivos exauridos, em escala de bancada e em seguida separar o Pd dos outros metais presentes na solução de lixiviação por meio da adsorção na resina de troca iônica, a 2-vinilpiridina-divinilbenzeno (2-Vpy-DVB).

PARTE EXPERIMENTAL

Materiais

Todos os reagentes utilizados neste trabalho foram de grau analítico. O catalisador automotivo exaurido foi obtido de um automóvel com motor a álcool a explosão com 08 anos de uso. Ele foi caracterizado por difração (DRX) e fluorescência de raios-X (FRX). Os difratogramas de raios-X foram obtidos pelo método do pó em um equipamento Shimadzu, modelo XRD 6000, utilizando-se radiação Cu-K α ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). A fluorescência de raios-X foi obtida do catalisador *in natura* em um equipamento Shimadzu, modelo XRF-1800, utilizando fonte de ródio. Os teores dos íons metálicos em solução foram determinados por Espectrometria de Absorção Atômica (EAA), em um equipamento Perkin Elmer, modelo Analyst 200. A chama utilizada para todos os metais foi produzida por uma mistura de ar/acetileno, exceto para platina e alumínio, que foi utilizado por uma mistura de acetileno/óxido nítrico. Todos os padrões utilizados foram da marca Merck e Titrisol, bem como lâmpada de cátodo oco para cada um dos metais. As concentrações dos íons em solução foram determinadas usando curva de calibração.

Lixiviação do paládio do catalisador automotivo exaurido

Com o objetivo de determinar a melhor condição para a lixiviação do Pd contido no catalisador, foram estudados dois tipos de misturas oxidantes: mistura sulfonítrica, HNO₃:H₂SO₄ 1:1 (v/v), e solução de água-régia, HNO₃:HCl 1:3 (v/v). Volumes iguais de solução oxidante foram adicionadas sobre catalisador exaurido previamente triturado, na razão 10:1 (v/m) e aquecido por uma hora. As soluções resultantes foram filtradas e determinados os teores de Pt e Pd por EAA.

Ao verificar que a solução de água régia foi a melhor solução para extração de Pd, avaliou-se o melhor tempo de lixiviação. Assim, repetiu-se o

procedimento anterior para diferentes tempos entre 1 a 12 horas. Todas as soluções obtidas foram filtradas e aos sobrenadantes adicionados porções de 50 mL de água destilada, com aquecimento, para eliminação dos vapores de NO_x. Em seguida, as soluções produzidas foram avolumadas para 50 mL e analisados os teores de Pt e Pd por EAA.

Separação e extração do paládio com resina aniônica

O paládio lixiviado foi separado dos outros íons por adsorção e dessorção seletiva em resina de troca aniônica, do tipo copolímero 2-vinilpiridina-divinilbenzeno (2-VPy-DVB), previamente preparado (COUTINHO, RABELO, 1992). A adsorção foi realizada colocando-se em contato 20 mL do produto de lixiviação com cinco diferentes quantidades de resina acidificada: 0,0233, 0,1165, 0,2330, 0,3350 e 0,4660 e 0,6990 g, a 45°C por 24 h. Em seguida, as resinas foram separadas por filtração e secas à 70 °C por 3 h. A resina correspondente ao quinto ensaio de adsorção (0,4660g) foi então empacotada em uma coluna cromatográfica, lavada com três porções de 20 mL de HCl 0,1 mol/L e eluída com 50 mL de solução água/álcool a 10 % de tiourea (0,1 mol/L).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Descrição do catalisador automotivo exaurido

O catalisador automotivo exaurido foi caracterizado por DRX e FRX. Nos difratogramas de raios-X (Figura 1) observa-se sinais bastante intensos referentes a cordierita (JCPDS No. 13-0294), que tem como fórmula química, 2MgO₂Al₂O₃5SiO₂. Adicionalmente aos sinais da cordierita observa-se, também, sinais referentes a CeO₂ (JCPDS No. 34-0394) e ZrO₂ (JCPDS No. 49-1642), que são adicionados para aumentar a área superficial e estabilizar a estrutura do suporte catalítico (ABERASTURI, et al., 2011). Esta composição é relatada na literatura

(MARTÍN et al., 2003), que determina a presença da cordierita como fase principal e óxido de cério dopado com óxido de zircônio como fase secundária.

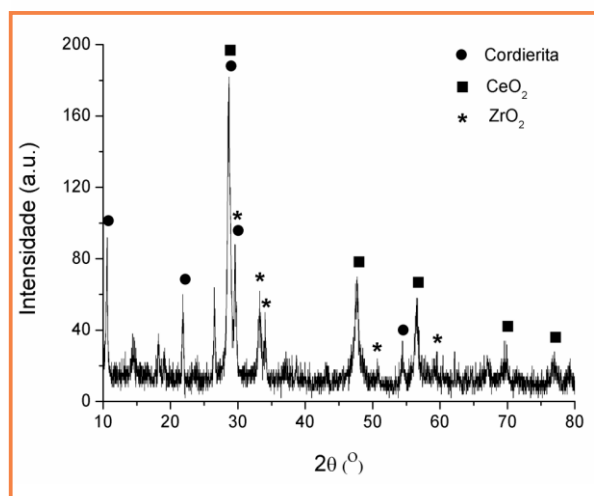


Figura 1. Difratograma de raios-X, método do pó, do catalisador automotivo exaurido.

A composição química elementar do catalisador foi determinada por fluorescência de raios-X e os resultados apresentados na Tabela 1. A presença dos elementos oxigênio, alumínio e silício em teores maiores (33,0%, 24,7% e 16,4%, respectivamente) confirma que o suporte catalítico utilizado é realmente a cordierita. A presença de outros elementos é devido a impregnação de óxidos, como CeO₂, MgO e ZrO₂, que são utilizados para melhorar o desempenho dos catalisadores, bem como outros oriundos de aditivos de óleos lubrificantes e combustíveis queimados na câmara de combustão e que ficam aderidos ao suporte catalítico na exaustão dos gases (MARTÍN, et al., 2003).

Tabela 1
Composição química elementar do catalisador automotivo exaurido determinada por fluorescência de raios-X

Elementos	Teor %
O	33,04
Al	24,74
Si	16,49
Ce	11,33
Mg	4,19
P	3,34
F	2,50
S	1,29
Fe	0,95
Zr	0,84
Ca	0,53
Ti	0,35
Zn	0,25
K	0,10
Ni	0,08

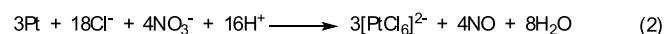
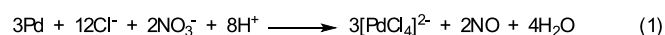
Lixiviação de platina e paládio do catalisador exaurido

Inicialmente, foram avaliadas duas soluções oxidantes para a lixiviação de platina e paládio: solução sulfonítrica e solução de água-régia. Em ambas, tanto a platina quanto o paládio foram lixiviados, dentro dos limites de detecção da técnica utilizada, enquanto o ródio não foi detectado (Tabela 2).

Tabela 2
Concentração de Pt e Pd em diferentes meios de lixiviação

Solução de lixiviação	Concentração (mg/L)	
	Pd	Pt
Sulfonítrica	62,0	2,9
Água régia	127,0	1,0

A lixiviação com água régia mostrou-se mais eficiente para o paládio, uma vez que, no mesmo tempo de reação, foi extraído cerca de 50 % a mais de Pd que a solução sulfonítrica. A mesma possui um forte agente oxidante, o HNO₃, e uma elevada concentração de íons cloretos que combinados oxidam os metais em seu estado maior de oxidação e formam cloro-complexos estáveis com paládio e platina, [PdCl₄]²⁻ e [PtCl₆]²⁻, respectivamente (Eq. 1 e 2). Assim, os demais experimentos foram realizados utilizando-se solução de água régia como agente de lixiviação.



O tempo de lixiviação com solução de água régia foi, também, estudado e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3
Concentração de íons platínicos e paládicos em diferentes tempos de lixiviação com água régia.

Elementos	Concentração em mg/L					
	1h	2h	3h	4h	5h	12h
Pd	198	213	230	220	265	200
Pt	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	2,0

Observa-se que os tempos de melhor rendimento de lixiviação são diferentes para platina e paládio. Para a platina foram necessárias 12 horas de reação, enquanto que para o paládio seu melhor rendimento ocorreu em cinco horas de reação, com a ressalva que em tempos entre quatro a cinco horas, há necessidade de se repor a solução de água régia que evapora durante o processo. Resultados similares foram relatados na literatura para o sistema: ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio (BARAKAT, et al., 2006).

Extração de paládio com resina aniônica

Embora o objetivo da lixiviação fosse extrair exclusivamente o paládio, o procedimento também lixivia outros metais do catalisador, além da platina, como: K, Mg, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn e Al; tornando-se necessário a extração do paládio dessa mistura. Para isso, utilizou-se a resina 2-VPy-DVB, um copolímero bloco do tipo gel, com grupos piridina, que em meio ácido, são protonados transformando a resina em trocadora de ânions. A estrutura carregada dessa resina está representada na figura 2

Assim, ao passar o produto da lixiviação sobre a resina, as espécies aniônicas, como o $[PdCl_4]^{2-}$ e o $[PtCl_6]^{2-}$, são extraídas por adsorção eletrostática com os grupos catiônicos presentes na superfície da resina.

A capacidade de troca da resina foi

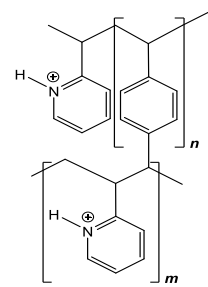


Figura 2. A estrutura monomérica do copolímero 2-vinilpiridina-divinilbenzeno (2-VPy-DVB)

determinada conforme procedimentos descritos na literatura (SINGARE, et al., 2009) e o valor determinado para a espécie $[PdCl_4]^{2-}$ e $[PtCl_6]^{2-}$ foi 1,74 mmol/g de resina. A adsorção de íons metálicos por grama de resina (Tabela 4) foi obtida utilizando-se massas crescentes de resina colocadas em contato com a solução de lixiviação a 45 °C por 2 h.

Observa-se uma tendência crescente da adsorção de íons metálicos e a quantidade de resina para todos os íons, sendo o paládio e platina os íons que apresentam a melhor extração na seguinte ordem Pt > Pd > Zn > Ca > Fe > Mg > Ni (com percentuais de adsorção de 100%, 83,1%, 23,8%, 23,4%, 23,2%; 20% e 9,3%, respectivamente). A resina não adsorve os íons de K, Cu e Al. Uma maior adsorção de Pd é provavelmente impedida devido a presença dos outros metais na solução de lixiviação (PARODI, et al., 2008). Contudo, a adsorção de 83,1% de paládio obtida é superior a determinada em outros trabalhos (KONONOVA, et al., 1998) que usam resinas comerciais com 50 % em vinilpiridina.

Tabela 4
Concentração de adsorção dos metais presentes na solução de lixiviação do catalisador automotivo exaurido após 24 h de contato com a resina 2-VPy-DVB a 45°C.

Massa de resina (mg)	% (m/m) de metais adsorvidos na resina								
	Pd	Pt	Fe	Ni	Zn	Mg	K	Cu	Ca
0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,3	41,4	Nd*	37,1	28,9	28,8	24,1	7,5	17,4	30,8
116,5	53,5	Nd*	39,7	29,6	36,7	16,5	0	16,9	39,5
233,0	69,3	Nd*	38,5	27,5	45,8	17,8	0	10,8	35,1
349,5	74,4	Nd*	38,6	28,2	48,2	16,5	0,4	6,7	37,5
466,0	80,5	Nd*	38,6	27,5	39,1	17,7	2,1	2,3	38,7

* abaixo do limite de detecção.

em outros trabalhos (KONONOVA, et al., 1998) que usam resinas comerciais com 50 % em vinilpiridina.

Eluição dos íons metálicos adsorvidos na resina

Os íons metálicos adsorvidos na resina foram eluídos em duas etapas com objetivo de recuperar paládio com maior grau de pureza, ou seja, uma solução de paládio isenta dos outros íons lixiviados. Com isso, numa primeira etapa utilizou-se solução de HCl 0,1 mol/L para dessorver todos os íons catiônicos (Fe^{2+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} , Zn^{2+} e Ca^{2+}), deixando preso na resina os íons cloro-complexos de paládio e platina que se apresentam na forma de um ânion complexo. Numa segunda etapa, o ânion-complexo de paládio foi dessorvido utilizando-se uma solução de tiouréia 0,1 mol/L dissolvida em solução alcoólica a 10 %, porém não foi possível detectar platina que provavelmente permaneceu adsorvida na resina. De acordo com a literatura (SWAIN, et al., 2010) a tioureia complexa com sais de paládio, formando o complexo neutro, $\text{PdCl}_2[(\text{NH}_2)\text{CS}]_2$, que é rapidamente dessorvido da resina.

Os resultados da recuperação dos metais em solução estão na Tabela 5. Observa-se uma elevada adsorção de 80 % de paládio, mas que não alcança uma eficiência maior devido provavelmente a competição com outros íons (SWAIN, et al., 2010).

Por outro lado, a recuperação do paládio foi bastante elevada, cerca de 99 %, com menos de 1%

de impurezas de outros metais.

Resultados similares foram obtidos (MATSUBARA, et al., 2000) utilizando resina de troca aniônica para recuperar traços de Au(III), Pd(II) e Pt(IV) de uma mistura de íons metálicos.

CONCLUSÕES

A mistura sulfonítrica lixivia melhor a Pt, enquanto que o Pd é melhor lixiviado pela solução de água régia, sendo o melhor tempo de lixiviação 2 horas. A resina 2-VPy-DVB mostrou-se bastante seletiva a separação do íon $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ de misturas complexas, contendo outros íons.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem ao prof. Dr. Denilson Rabelo (IQ-UFG) pelo fornecimento da resina 2-VPy-DVB, ao grupo Votorantim Metais de Niquelândia-GO pelas análises de FRX e ao suporte financeiro do CNPq.

REFERÊNCIAS

ABERASTURI, D.J.; PINEDO, R; LARRAMENDI, I.R.; LARRAMENDI, J.I.R; ROJO, T., Recovery by hydrometallurgical extraction of the platinum-group metals from car catalytic converters. *Miner. Eng. v. 24*, p. 505–513, 2011.

Tabela 5
Massa de metais na solução estoque, resina e eluição com HCl e tioureia. presentes e rendimentos de recuperação dos metais da solução estoque.

Elementos	Massa (mg)					% de recuperação ^(f)
	Estoque ^(a)	Resina ^(b)	Filtrado ^(c)	HCl ^(d)	Tiouréia ^(e)	
Pd	4,30	3,46	0,84	0,450	3,010	(99,1)
Pt	0,01	0,01	Nd*	Nd*	Nd*	Nd*
Fe	1,43	0,33	1,10	0,328	0,003	(0,08)
Ni	0,28	0,03	0,26	0,024	0,003	(0,08)
Zn	0,66	0,16	0,50	0,155	0,003	(0,08)
Mg	3,16	0,63	2,26	0,628	0,004	(0,13)
K	0,36	0,01	0,35	0,005	0,005	(0,16)
Cu	0,18	0,01	0,17	0,002	0,003	(0,08)
Ca	1,11	0,26	0,85	0,257	0,003	(0,09)
Al	36,0	1,00	35,0	0,997	0,003	(0,14)

a) em 20 ml de solução; b) adsorvido em 0,466 g de resina; c) presentes no filtrado d) após eluição com HCl; e) após eluição com tiouréia; f) teor na solução final; * abaixo do limite de detecção.

- AMATAYAKUL, W.; RAMNÄS, O., Life cycle assessment of a catalytic converter for passenger cars. *J. Cleaner Prod.* v. 9, P. 395-403, 2001.
- BARAKAT, M.A.; MAHMOUND, M. H. H.; MAHROUS, Y. S., Recovery and separation of palladium from spent catalyst. *Appl. Catal. A.*, v. 301, p. 182–186, 2006.
- BATZER, N.; COPPONNEX, T. (Ed.), Precious Metals for Biomedical Applications. 1^a. ed., Cambridge, UK, Woodhead Publishing, 2014.
- BENSON, M. ; BENNETT, C.R. ; HARRY, J.E. ; PATEL, M.K. ; CROSS, M., The recovery mechanism of platinum group metals from catalytic converters in spent automotive exhaust systems. *Resour., Conserv. Recycl.* v. 31, p. 1–7, 2000.
- BERNARDIS, F.L.; GRANT, R.A.; SHERRINGTON, D.C., A review of methods of separation of the platinum-group metals through their chloro-complexes. *React. Funct. Polym.* v. 65, p. 205–217, 2005.
- BLACK, W., The Platinum Group Metals Industry, 1^a. ed., Cambridge, UK, Woodhead Publishing, 2000.
- BÖCK, R. Use and Demand of Palladium for the Industry. In: ZEREINI, F.; ALT, F. (Ed.) Palladium Emissions in the Environment, 1^a. Ed, Springer Berlin Heidelberg, p. 39-51, 2006.
- COTTON, S.A., Chemistry of Precious Metals. 1^a. ed., London, UK, Blackie Academic & Prof., 1997.
- COUTINHO, F. M. B.; RABELO, D., Scanning electron microscopy study of styrene-divinylbenzene copolymers. *Eur. Polym. J.* v. 28, p. 1553-1557, 1992.
- FORNALCZYK, A.; SATERNUS, M., Platinum recovery from used auto catalytic converters in electrorefining process. *Metabk* v. 52, p. 219-222, 2013.
- KONONOVA, O. N.; KHOLMOGOROV, A. G.; MIKHLINA, E. V., Palladium sorption on vinylpyridine ion exchangers from chloride solutions obtained from spent catalysts, *Hydrometallurgy* v. 48, p. 65-72, 1998.
- MARTÍN, L.; ARRANZ, J. L.; PRIETO, O.; TRUJILLANO, R.; HOLGADO, M. J.; GALÁN, M. A.; RIVES, V., Simulation three-way catalyst ageing Analysis of two conventional catalyst. *Appl. Catal., B.* v. 44, p. 41-52, 2003.
- MATSUBARA, I.; TAKEDA, Y.; ISHIDA, K., Improved recovery of trace amounts of gold(III), palladium(II) and platinum(IV) from large amounts of associated base metals using anion-exchange resins. *Fresenius J. Anal. Chem.* 366, 213-217, 2000.
- MUROI, T. Role of precious metal catalysts. In: SU, Y.-H. (Ed.) Noble metals, 1^a. Ed, Intech, 2012.
- NIKOLOSKI, A.N; ANG, K.-L.; LI, D., Recovery of platinum, palladium and rhodium from acidic chloride leach solution using ion exchange resins. *Hydrometallurgy* v.152, p. 20–32, 2015.
- PARODI, A.; VINCENT, T.; PILSNIAK, M.; TROCHIMCZUK, A. W.; GUIBAL, E., Palladium and platinum binding on an imidazol containing resin. *Hydrometallurgy* v. 92, p. 1-10, 2008.
- RANGEL, M. C.; CARVALHO, M. F. A. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. *Quím. Nova* v. 26, p. 265-277, 2003.
- SINGARE, P.U.; LOKHANDE, R.S.; VANMALI, N.P., Ion Exchange equilibrium study using strongly basic anion Exchange resin doulite-101D. *Rasayan J. Chem.* v. 2, p. 901-906, 2009.
- SWAIN, B.; JEONG, J.; KIM, S.-k.; LEE, J., Separation of platinum and palladium from chloride solution by solvent extraction using Alamine 300. *Hydrometallurgy* v. 104, p. 1-7, 2010.
- WOLOWICZ, A.; HUBICKI, Z., Investigation of macroporous weakly basic anion exchangers applicability in palladium(II) removal from acidic solutions – batch and column studies. *Chem. Eng. J.* v. 174, p. 510-520, 2011.