

2006-004

## “PROCESSO DE REDUÇÃO ELETROQUÍMICA DE METAIS”

### Situação da Patente:

Documento depositado no Brasil em 27.12.2006, sob número PI 0605385-8.

### Pesquisadores / Inventores:

Prof. Dr. **LUIS AUGUSTO MARTINS RUOTOLO** (Engenharia Química – UFSCar)

Prof. Dr. **JOSÉ CARLOS GUBULIN** (Engenharia Química)

### Palavras-Chave:

Reator Eletroquímico, Otimização Do Processo, Eletrodeposição De Metais, Tratamento De Efluentes Industriais, Eletrodo Poroso, Engenharia Eletroquímica.

### Resumo da Patente:

É descrito um processo de redução eletroquímica de metais com recirculação contínua do efluente pelo reator eletroquímico e em presença de um eletrodo CVR opcionalmente recoberto com PANi, dito processo compreendendo dirigir um efluente de um íon metálico contido em um reservatório para um reator eletroquímico dotado de um eletrodo CVR poroso, aplicar corrente e manter a circulação do efluente entre o reator e o reservatório até que todo o íon metálico esteja em sua forma reduzida. A corrente ótima  $I$  a ser aplicada ao processo eletroquímico em função do tempo para 100% de eficiência de corrente é expressa pela equação (2):  $I = P_1 \cdot A \cdot s + P_2 \cdot (A \cdot s^2 / V) \cdot t + 0,000315 \cdot (A \cdot s^3 / V^2) \cdot t^2$ , pelo que, o sistema opera em regime de eficiência de corrente EC máxima e consumo energético CE mínimo. O processo é aplicável à redução de íons de qualquer metal que possa ser reduzido ou depositado eletroquimicamente, como Cr (VI), bem como a íons de metais como chumbo, zinco, cádmio, níquel, cobalto, prata, mercúrio, estanho, ouro, prata e platina.

## **Vantagens Comerciais da Tecnologia:**

O invento proposto torna o processo eletroquímico de remoção de íons metálicos uma alternativa interessante e competitiva comparado ao processo convencional, pois promove um aumento da eficiência de corrente e diminui o consumo energético, bem como o tempo de operação. Essas características foram alcançadas com extremo êxito aplicando-se um procedimento de otimização do processo baseado no controle da corrente elétrica aplicada. No caso da redução de cromo hexavalente, o desenvolvimento de um novo material, denominado CVR/PANI, foi necessário para que se obtivessem velocidades de reação que garantissem o uso de reatores eletroquímicos de pequeno porte que pudessem operar com 100% de eficiência e baixo consumo energético (da ordem de 7 kWh por kg de cromo hexavalente reduzido). O CVR/PANI consiste no recobrimento de um material carbonáceo (o Carbono Vítreo Reticulado), com um filme fino de polímero condutor (PANI), o qual atua como um catalisador da reação. Este mesmo sistema pode ser empregado para a remoção de metais preciosos como ouro e platina presentes em baixas concentrações, pois o efeito catalisador do polímero condutor garantirá uma grande taxa de remoção do metal.

No caso de metais como cobre, chumbo, prata, níquel, cádmio, entre outros, presentes em efluentes industriais, pode-se utilizar somente o eletrodo de CVR, sem a necessidade do recobrimento com o polímero condutor. Neste caso, apenas a elevada área superficial específica deste material poroso garantirá que os íons metálicos sejam depositados em sua forma metálica sobre sua superfície com grande eficiência e baixo consumo energético. À medida que o metal é eletrodepositado sobre o CVR, o metal presente no efluente industrial é removido e quando for atingida a concentração de descarte, este efluente poderá ser então encaminhado para o sistema de esgoto. Uma vantagem adicional deste processo é que o íon metálico é recuperado na sua forma metálica sobre o CVR e poderá então ser reutilizado.

O segundo aspecto inovador do invento é a otimização do processo em termos da corrente elétrica aplicada. Esse procedimento de otimização faz com o a eficiência do processo seja de aproximadamente 100% até concentrações do íon metálico da ordem de 5 ppm (partes por milhão). A otimização do processo trás duas vantagens

importantes. A primeira decorre do fato de que a implementação de um sistema de controle simples diminuirá a necessidade de mão-de-obra e a segunda consiste no baixo consumo de energia necessário no processo.

### **Contexto da Tecnologia:**

Os métodos utilizados para o tratamento de efluentes contendo íons metálicos baseiam-se na sua grande maioria na precipitação na forma de hidróxidos utilizando produtos químicos que são consumidos de maneira irreversível no processo. No caso do cromo hexavalente, produtos químicos também são empregados para sua redução ao estado trivalente. Outra linha de tratamento deste tipo de efluente, porém menos usual, é a adsorção, que o remove da água residuária utilizando um substrato sólido como adsorvente.

No caso da redução química, este é o processo convencional utilizado, sendo a cal o produto químico mais empregado na precipitação do íon metálico. Para a redução do cromo hexavalente, normalmente utiliza-se o metabissulfito de sódio. A desvantagem da técnica convencional é que na maioria das vezes o produto químico deve ser utilizado em grandes quantidades e não pode ser recuperado no final do processo. Outra desvantagem importante do processo convencional é que o material sólido resultante da precipitação do íon metálico deverá ser estocado ou então encaminhado a aterros de classe especial, o que implicará em custos adicionais ao tratamento do efluente. As tecnologias alternativas surgiram justamente para se evitar o uso destes produtos químicos visando diminuir custos e também para encontrar um processo mais compatível do ponto de vista ambiental. Assim, o principal objeto do presente pedido é a otimização do processo de remoção eletroquímica de metais, o cromo sendo exemplificado, mas não limitado a este, através do controle da corrente elétrica aplicada em função do tempo de operação. Eficiências da ordem de 100%, ao longo de quase todo o processo, que irão resultar num baixo consumo de energia, só são possíveis aplicando-se este procedimento de controle ao eletrodo de CVR/PANI ou então de CVR no caso da eletrodeposição de outros metais.

Na linha de adsorção existem diversos trabalhos em que são estudados substratos sólidos para a adsorção de metais. Numa linha de pesquisa estão as resinas poliméricas e em outra linha estão os substratos naturais, como algas e turfas. No caso das resinas poliméricas, essas são obtidas usando produtos químicos ou processos especiais que as encarecem demasiadamente, tornando-as desinteressantes diante dos outros processos existentes. O uso dos adsorventes não convencionais como algas e turfas esbarram em problemas associados à dessorção do material e a sua própria estabilidade química.

De maneira geral, os processos adsorptivos para a remoção de metais esbarram no fato de que estes substratos se saturam rapidamente dependendo da concentração de íons metálicos presente nos efluentes e também possuem a desvantagem de transferir o problema da remoção do metal da fase líquida para a fase sólida, a qual deverá ser devidamente tratada ou estocada após seu tempo de vida útil.

O processo eletroquímico para a remoção de metais surgiu como uma alternativa de baixo custo operacional que diminui a necessidade de mão-de-obra e, por se tratar de uma tecnologia limpa, satisfaz os requisitos de compatibilidade ambiental. Porém, a tecnologia eletroquímica aplicada à remoção de metais presentes em baixas concentrações esbarrava no problema da baixa eficiência de corrente. Adicionalmente, no caso da redução do cromo hexavalente, o uso de eletrodos convencionais de metais comuns (cobre, aço, níquel) ou grafite não se mostrava adequado devido à baixa eficiência que fazia com que o custo energético e o tempo de operação do processo fossem demasiadamente elevados.

Deste modo, apesar da tecnologia existente, a técnica ainda necessitava de um reator eletroquímico com condições operacionais otimizadas para a redução eletroquímica de metais. O uso de eletrodos com elevada área superficial, como o eletrodo de carbono vítreo reticulado (CVR), fez com que as dificuldades associadas à pequena taxa de remoção decorrente das baixas concentrações do íon metálico, típicas de efluentes industriais, pudessem ser superadas. No caso da redução de cromo hexavalente, o recobrimento do CVR com um filme fino de polímero condutor fez com que a taxa de redução triplicasse. Finalmente, a otimização do processo através do controle da corrente fez com que eficiências próximas a 100% pudessem ser garantidas ao longo de todo o processo de tratamento do efluente.

### **Planos Futuros:**

A atividade de pesquisa e desenvolvimento pode ser realizada em parceria com empresas, uma vez que pode ser levada ao mercado com um mínimo investimento.

**\*TECNOLOGIA DISPONÍVEL PARA LICENCIAMENTO COM OU SEM EXCLUSIVIDADE.**

### **Mercados Potenciais e Aplicação:**

Empresas de tratamento de efluentes ou diretamente com as empresas que gerem resíduos aquosos contendo íons metálicos (cromo hexavalente, cobre, chumbo, prata, cádmio, níquel, etc) como por exemplo, as indústrias de galvanoplastia, de mineração, de tratamento de superfície, entre outras. Uma segunda alternativa, que necessita, porém, de maiores estudos, é a utilização desta invenção para a remoção/recuperação de metais preciosos (ouro, platina) presentes em soluções muito diluídas. O alto valor agregado destes metais poderia justificar tal investimento.

### **Maiores Informações:**

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar  
Agência de Inovação da UFSCar – *Divisão de Propriedade Intelectual*

Rodovia Washington Luiz, km 235  
CEP 13565-905 São Carlos / SP, Brasil  
Telefone: (16) 3351-9040 / 3351-9041  
Fax: (16) 3351-9043

[inovacao@ufscar.br](mailto:inovacao@ufscar.br)  
[www.inovacao.ufscar.br](http://www.inovacao.ufscar.br)