

DANIELLA CARDOSO BUZZI

APLICAÇÃO DA ELETRODIÁLISE  
NO TRATAMENTO DA DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS  
VISANDO A RECUPERAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO

São Paulo

2012

DANIELLA CARDOSO BUZZI

APLICAÇÃO DA ELETRODIÁLISE  
NO TRATAMENTO DA DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS  
VISANDO A RECUPERAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia

São Paulo

2012

DANIELLA CARDOSO BUZZI

APLICAÇÃO DA ELETRODIÁLISE  
NO TRATAMENTO DA DRENAGEM ÁCIDA DE MINAS  
VISANDO A RECUPERAÇÃO DE ÁCIDO SULFÚRICO

Tese apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:

Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Professor Titular

Jorge Alberto Soares Tenório

São Paulo

2012

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.**

**São Paulo,     de dezembro de 2012.**

**Assinatura do autor** \_\_\_\_\_

**Assinatura do orientador** \_\_\_\_\_

## FICHA CATALOGRÁFICA

**Buzzi, Daniella Cardoso**

**Aplicação da eletrodialise no tratamento da drenagem ácida de minas visando a recuperação de ácido sulfúrico/ D.C. Buzzi. – ed.rev. -- São Paulo, 2012.  
137 p.**

**Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.**

**1. Eletrodialise 2. Carvão mineral 3. Drenagem em minas 4. Tratamento de águas residuárias 5. Ácido sulfúrico I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II. t.**

Àqueles que sonharam comigo o sonho de ser doutora, pai e mãe, essa vitória é nossa!

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e antecipadamente peço desculpas aos que foram esquecidos nominalmente, pelo nervosismo do momento.

Aos meus pais, que com amor e apoio incondicional, me incentivaram todo o tempo, sempre acreditando no meu potencial.

A Nessa e Carol, irmãs tão amadas, agradeço pela amizade e apoio.

A minha vó Victória, que sempre vibrou com minhas conquistas.

Ao meu orientador, Professor Jorge Alberto Soares Tenório, pelas oportunidades oferecidas, confiança, amizade, apoio e orientação na conclusão deste trabalho.

À Professora Andrea Moura Bernardes que me acolheu no LACOR-UFRGS durante parte do desenvolvimento deste trabalho. Agradeço pela orientação, amizade, paciência e por acreditar na minha capacidade.

Ao Professor Valentín Pérez Herranz que me recebeu em seu grupo de pesquisa na Universidade Politécnica de Valencia, agradeço pela orientação e grandes contribuições para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço aos demais professores que me auxiliaram durante todos estes anos, com incentivos e sugestões, são eles: Marco Antônio Siqueira Rodrigues, Denise Croce Romano Espinosa, Jane Zoppas Ferreira, Emma Maria Ortega Navarro, Ivo André Homrich Schneider, Álvaro Meneguzzi, Hugo Marcelo Veit, entre outros.

A toda minha família, tios, tias e primos, pelo carinho e palavras de incentivo.

Aos queridos amigos da USP, Viviane, Luciana, Kellie, Adriana, Victor, Eduardo, Fernando, Denis e Girley, que muito contribuíram nesta caminhada, dividindo bons e maus momentos. Em especial a Flávia Paulucci Cianga Silvas e Hugo Hashimoto, grandes amigos, que estiveram presentes ajudando no possível e no que muitas vezes parecia impossível.

Aos amigos da UFRGS, José Luiz, Patrícia, Kátia, Tiago, Jean, Angeli, Rodrigo, Lenisa, Vicente, que estiveram presentes durante o desenvolvimento deste trabalho,

incentivando nos momentos de desespero e compartilhando muitas risadas. Em especial, a Tatiane Benvenuti e Carolina de Moraes da Trindade, amigas que tantas vezes me deram força para continuar e companheiras de tantos experimentos.

Ao Lucas Stéphano Viegas, aluno de Iniciação Científica, fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

Ao querido amigo Martín Bischoff, que sempre esteve disponível ajudando no que fosse preciso.

Ao meu professor de inglês Marlo Fauri, que ajudou na tradução de artigos, ensaios de apresentação e que se tornou um amigo muito especial.

Aos amigos da Universidade Politécnica de Valencia, Ramón, Jordi, Isaac, Carlos, Cristina, Virgínia e Marie Pierre que carinhosamente me receberam em seu grupo de estudo. Em especial ao Manuel César Martí-Calatayud, meu chefinho e grande amigo.

Aos demais amigos com os quais dividi ótimos momentos em Valencia, Álvaro, Rubens, Inês, entre tantos outros.

À Carbonífera Criciúma S/A e ao SIECESC pela disponibilização de informações e por permitir a coleta de amostras.

À CAPES, pela concessão das bolsas de estudo no Brasil e também no exterior na Universidade Politécnica de Valencia.

Por fim, e mais importante, agradeço a Deus, por ter me feito capaz de concluir este doutorado e por colocar em minha caminhada estas pessoas maravilhosas que tive o privilégio de conviver nos últimos quatro anos.

Muito obrigada!

*"Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas. O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles."*

*Augusto Cury*



## RESUMO

O principal impacto causado pela atividade de mineração de carvão é a poluição hídrica proveniente da drenagem ácida de minas (DAM), que pode ter efeitos toxicológicos nos ecossistemas aquáticos, como mortalidade, disfunções no crescimento, menores taxas de reprodução, deformidades e lesões. A DAM é formada através da oxidação de minerais de sulfeto, principalmente pirita ( $\text{FeS}_2$ ) e caracteriza-se por uma solução de pH ácido e metais dissolvidos (Fe, Al e Mn). Novas metodologias para o tratamento de efluentes contaminados com metais estão sendo estudadas e a eletrodialise (ED) surge como uma destas tecnologias que tem se mostrado eficaz para a recuperação de água e concentração de eletrólitos. É considerada uma tecnologia atrativa aos mais diversos segmentos, uma vez que apresenta muitas vantagens sobre os processos tradicionais, tais como: não exige mudanças de fases; funciona de forma contínua; não necessita da adição de reagentes e não gera resíduos poluentes ao ambiente. A ED é uma técnica de separação por membranas, na qual espécies iônicas em solução são transportadas através de membranas de troca-iônica por influência da aplicação de um campo elétrico que permite a separação de ânions e cátions metálicos com a vantagem de remover os metais contaminantes e simultaneamente recuperar água e outros compostos de interesse industrial, como o ácido sulfúrico. No entanto, para a aplicação da ED alguns parâmetros devem ser estudados, buscando as melhores condições de uso. O parâmetro mais importante a ser analisado é o transporte dos íons através das membranas, avaliado no presente estudo através da cronopotenciometria e da obtenção das curvas de corrente-potencial (CVCs). Curvas cronopotenciométricas foram obtidas a partir de soluções sintéticas que representavam a composição de uma DAM a fim de se avaliar a passagem de ânions sulfato através de uma membrana aniônica (HDX 200), e o transporte de cátions metálicos, tais como  $\text{Na}^+$  e  $\text{Fe}^{3+}$ , através de uma membrana catiônica (HDX 100). E as CVCs foram obtidas a partir das próprias DAMs também para a avaliação do transporte de íons e determinação de densidade de corrente limite a ser empregada na ED. Os resultados mostraram que os cátions avaliados desempenharam um papel significativo para o equilíbrio químico que leva à formação de diferentes espécies de complexos de cargas e mobilidade distintas. Diagramas de especiação em conjunto com os cronopotenciogramas permitiram a identificação de espécies complexas que conduzem a um transporte lento de íons através das membranas. A ED mostrou-se eficaz para a recuperação de água, removendo mais de 97,00 % dos contaminantes, e para a recuperação de ácido sulfúrico a partir da DAM, sendo obtidos percentuais de concentração de sulfatos superiores a 38,55 % e incrementos na acidez de até 236,88 %.

**Palavras-chave:** drenagem ácida de minas, eletrodialise, tratamento de efluentes ácidos, recuperação de ácido sulfúrico.

## ABSTRACT

The main impact caused by coal mining activity is water pollution from acid mine drainage (AMD), that can have serious toxicological effects on aquatic ecosystems, such as mortality, growth disorders, lower rates reproduction, deformities and injuries. The AMD is formed by the oxidation of sulfide minerals, mainly pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) and is characterized by a acid pH and dissolved metals (Fe, Al and Mn). New approaches for the wastewater contaminated with metals treatment are being studied and electro dialysis (ED) emerges as a new technology and has proven effective for the recovery of water and electrolyte concentration. The ED is considered an attractive technology to some segments since it presents several advantages on the traditional processes, such as: does not require phase changes; runs continuously, does not need reagents addition and does not generate waste polluting environment. Electro dialysis is a membrane separation technique in which ionic species in solution are transported, through ion-exchange membranes, under the influence of an electric field which allows anions and metallic cations separation, possessing the advantages of removing contaminant metals and simultaneously recovering water and other compounds of industrial interest, such as sulfuric acid. However, to implement the ED some parameters should be studied seeking the best conditions. The most important parameter to be studied is the ions transport across membranes, assessed in this study by chronopotentiometry and obtaining the current-voltage curves (CVCs). Chronopotentiometry curve were obtained from synthetic solutions representing the AMD composition in order to assess the passage of anions sulfate through a membrane anion (HDX 200), and transport of metallic cations such as  $\text{Na}^+$  and  $\text{Fe}^{3+}$ , through a cation membrane (HDX 100). The CVCs were obtained from raw AMD also to evaluate the ions transport and determination of threshold current density to be employed in ED. The results showed that the cations evaluated played a significant role in the chemical balance which leads to the formation of different species of complexes of different fillers and mobility. Speciation diagrams with chronopotentiograms allowed the identification of complex species that lead to a slow ions transport across membranes. The ED was effective for water recovery removing more than 97.00 % of contaminants and to sulfuric acid recovery from the AMD, where has been obtained percentage of sulfate concentration above 38.55 % and an increase in acidity up to 236.88 %.

**Keywords:** acid mine drainage, electro dialysis, wastewater treatment acids, sulfuric acid recovery.

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

