

# Carvão e Meio Ambiente

Centro de Ecologia

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Carvão e meio ambiente* é fruto da colaboração de inúmeros grupos de trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, tendo contado com pesquisadores de outras instituições com o objetivo de estudar os efeitos da exploração e do uso do carvão sobre o meio ambiente, na Região Carbonífera do baixo Jacuí, no Rio Grande do Sul.

A Região, nos seus aspectos ambientais e sociais, é tratada de modo global na primeira parte do livro, que relata sobre a geologia, o clima, os solos, a vegetação e as características demográficas, econômicas e jurídico-políticas.

A partir da descrição geral busca-se uma síntese dos aspectos ambientais e socioeconômicos, visando analisar a sustentabilidade econômica e ambiental da exploração e do uso do carvão.

Estudos sobre as conseqüências da queima do carvão, na atmosfera local, no solo e na água, são abordados nos tópicos ligados ao meio físico. Especial atenção

está voltada para a recuperação de áreas mineradas e com sugestões para os tomadores de decisão quanto ao monitoramento e ao gerenciamento ambiental.

Animais e plantas foram alvo de estudos específicos com objetivo de identificar indicadores dos impactos de atividades carboníferas sobre os organismos vivos, bem como os aspectos relacionados à saúde pública.

A organização social da região e seu engajamento na melhoria do ambiente ocorreram através de estudos sobre as ações de educação ambiental promovidas por escolas e associações comunitárias.

Quer pela caracterização geral da região, quer pelos estudos específicos, *Carvão e meio ambiente* trata de forma aprofundada e original os mais diversos tópicos associados à problemática da exploração e do uso do carvão e suas conseqüências sobre o meio físico, os organismos vivos e a sociedade.

# Carvão e Meio Ambiente

---

Centro de Ecologia

---

da Universidade Federal  
do Rio Grande do Sul



Editora  
da Universidade

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS

© dos autores  
1ª edição: 2000

Direitos reservados desta edição  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Capa: Paulo Antonio da Silveira  
Foto da capa: Geraldo Mario Rohde  
Editoração eletrônica: William Wazlawik  
Toni Peterson Lazaro  
Fernando Piccinini Schmitt

---

C397c Centro de Ecologia/UFRGS  
Carvão e meio ambiente/ Centro de Ecologia/UFRGS. – Porto Alegre : Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

1. Carvão – Meio ambiente. I. Título.

CDU 622.33:634.0.11

---

Catálogo na publicação: Mônica Ballejo Canto – CRB 10/1023

ISBN 85-7025-563-2

CARV  
C 332

# Carvão

e Meio Ambiente

RESERVA TÉCNICA  
Editora da UFRGS



**UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL**

Reitora

**Wrana Maria Panizzi**

Vice-Reitor

**Nilton Rodrigues Paim**

Pró-Reitor de Extensão

**Luiz Fernando Coelho de Souza**

**EDITORA DA UNIVERSIDADE**

Diretor

**Geraldo F. Huff**

**CONSELHO EDITORIAL**

**Anna Carolina K. P. Regner**

**Christa Berger**

**Eloir Paulo Schenkel**

**Georgina Bond-Buckup**

**José Antonio Costa**

**Livio Amaral**

**Luiza Helena Malta Moll**

**Maria da Graça Krieger**

**Maria Heloisa Lenz**

**Paulo G. Fagundes Vizontini**

**Geraldo F. Huff, presidente**



**Editora da Universidade/UFRGS** • Av. João Pessoa, 415 - 90040-000 - Porto Alegre, RS - Fone/fax (51) 224-8821, 316-4082 e 316-4090 - E-mail: [editora@orion.ufrgs.br](mailto:editora@orion.ufrgs.br) - <http://www.ufrgs.br/editora> • **Direção:** Geraldo Francisco Huff • **Editoração:** Paulo Antonio da Silveira (coordenador), Carla M. Luzzatto, Cláudia Bittencourt, Maria da Glória Almeida dos Santos, Najára Machado • **Administração:** Julio Cesar de Souza Dias (coordenador), José Pereira Brito Filho, Laerte Balbinot Dias, Norival Hermeto Nunes Saucedo • **Apoio:** Idalina Louzada, Laércio Fontoura.

# REMOÇÃO POR BIOLIXIVIAÇÃO DE ENXOFRE DE CARVÕES DO RS COMO FORMA DE ATENUAÇÃO NAS EMISSÕES DE SO<sub>2</sub>

Luis Carlos Zancan Filho  
Sérgio João de Luca

## INTRODUÇÃO

O aumento da atividade antrópica no planeta está intimamente associada ao crescimento da demanda energética. Esta crescente necessidade de energia faz com que maiores quantidades de combustíveis fósseis sejam exploradas e consumidas. O carvão mineral por meio da termoelectricidade e pelo uso em caldeiras industriais mostra-se como uma forma de suprimento desta carência energética. O aumento do consumo do carvão traz, contudo, problemas de ordem ambientais decorrentes da grande quantidade de cinzas geradas e principalmente da presença de pirita (FeS<sub>2</sub>) nele contido.

A pirita do carvão é parcialmente removida por meio de métodos convencionais de separação gravimétrica. Nos processos de separação da pirita do carvão, parte deste FeS<sub>2</sub> é retirado, compondo o que é usualmente denominado rejeito e outra parte, que não é removida, acompanha o carvão até a combustão.

A oxidação destes rejeitos piritosos de carvão torna-se extremamente nociva ao meio ambiente devido a formação da drenagem ácida de mina, responsável pelo comprometimento da qualidade das águas dos recursos hídricos locais.

A queima da pirita que não conseguiu ser removida do carvão nos processos de separação gravimétrica, gera o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). O trabalho de CALVERT e STOCKWELL (1983) mostram que as propriedades termodinâmicas dos óxidos de enxofre indicam que o dióxido de enxofre tem forte tendência para reagir com o oxigênio do ar sobre condições troposféricas normais.



Desta forma,  $[SO_3] / [SO_2] @ 8 \times 10^{11}$  atinge o equilíbrio no ar a uma atmosfera e 25 C°. Termodinamicamente também nos é mostrado que para a umidade normal encontrada na baixa troposfera, o  $SO_3$  produto da reação (1) será intensamente convertido em ácido sulfúrico  $[H_2SO_4 (aq)]$ :



O  $SO_2$  na atmosfera pode participar ainda de inúmeras reações de oxidação com os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos, que além da precipitação ácida de  $H_2SO_4$  e  $HNO_3$ , podem propiciar a formação do ozônio troposférico, nitrato de peróxido acetilo e muitos outros compostos extremamente poluentes. O trabalho de DE DEUS (1997) mostrou que a alteração do pH, na precipitação da região metropolitana de Porto Alegre, RS, Brasil, propiciou uma alteração das concentrações complexadas dos íons metálicos como chumbo cádmio e cobre. Sabe-se ainda que a concentração dos metais complexados aumenta proporcionalmente com o pH, e que quanto mais baixo o pH, maior é a concentração de íons metálicos livres, e conseqüentemente o grau de toxicidade e mutagenicidade da chuva.

A resolução do CONAMA nº3 de 28/06/90 dispõe dos padrões Nacionais de Qualidade do Ar, e numa tentativa de restringir a combustão de combustíveis fósseis com altos teores de enxofre, estabelece que a quantidade limite de  $SO_2$  no ar ambiente é de 0,03 ppm (80mg/m<sup>3</sup>), como concentração média aritmética anual; e que um máximo de 9,14 ppm (365mg/m<sup>3</sup>) em 24 horas, não poderá ser excedido mais de uma vez no ano.

Em virtude da grande quantidade de pirita que vem sendo depositada em pilhas de rejeitos e, principalmente pela quantidade de dióxido de enxofre que é gerado na combustão do carvão, se faz necessário o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, economicamente viáveis, que permitam a dessulfuração pré - queima destes carvões. Processos de dessulfuração pré - queima do carvão possibilitam o aproveitamento da pirita, extraíndo componentes potencialmente poluentes destes carvões e transformando-os em componentes que possam ter valor comercial ou que apresentem menor risco de poluição ambiental.

A biolixiviação ou lixiviação bacteriana constitui-se um processo de metalurgia extrativa na qual a ação oxidativa de bactérias acidófilas quimiolitotróficas, já descritas no trabalho de MARQUES (1986), transforma sulfetos insolúveis em sulfatos solúveis. Segundo o trabalho de GARCIA JR. (1996), esses microrganismos obtêm energia para sua subsistência a partir desse processo.

Bactérias enxofre - ferro oxidantes, principalmente do gênero *Thiobacillus* - das espécies *Thiobacillus ferrooxidans* e *Thiobacillus thiooxidans*, dissociam a molécula de pirita, solubilizando o enxofre e o ferro. Além dos *Thiobacillus*, a microflora de uma pilha de biolixiviação de carvões, segundo os estudos de BELY E BROCK (1974), HARRISON JR (1978) e DE LUCA (1992), pode apresentar *Enterobacter*, *Leptospirillum*, *Pseudomonas*, *Beijerinckia*, *Sulfolobulus*, *Metallogenium*, *Desulfovibrio* e *Caulobacter*.



## METODOLOGIA

Neste estudo em escala piloto, foram instaladas duas pilhas isoladas de 50 toneladas de carvões do Rio Grande do Sul (Figura 1). Este processo de dessulfuração por biolixiviação ocorre em circuito fechado (Figura 2), onde a lixívia bacteriana de cada pilha é recirculada no sistema, sem entrar em contato uma com a outra. O sistema por ser impermeabilizado por polietileno de alta densidade, impede a perda de lixívia bacteriana para o meio ambiente (Figura 3). Essa lixívia, por ser inúmeras vezes reaspergida sobre a pilha de carvão, possui um pH muito baixo, concentração de nutrientes mais elevada que o normal e há possibilidade de ocorrência significativa de metais pesados que não os íons de ferro.



Figura 1. Disposição das pilhas A(esquerda) e B(direita).

As diferentes formas de enxofre dos carvões de teste foram analisadas de acordo com as normas da ASTM D 2492 e as análises de pH, condutividade, acidez, potencial redox, cloretos, sulfatos, nitratos, fósforo total, ortofosfato e *Thiobacillus ferroxidans* da lixívia foram realizadas seguindo as técnicas do “STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTE WATER”, em sua 18ª edição, 1995.

Nesse estudo o carvão da pilha “A” foi exposto efetivamente ao contato da lixívia bacteriana por 78 dias e o carvão da pilha “B” por 106 dias.

O carvão da pilha “A” apresentou inicialmente granulometria de 0 x 20mm (Figura 4), 0,46% de enxofre total (b.s.), 0,11% de enxofre pirítico (b.s.) e 0,35% de enxofre orgânico (b.s.). Na pilha “B”, o carvão apresentou granulometria de 0 x 50mm (Figura 5), 2,92% de enxofre total (b.s.), 2,72% de enxofre pirítico (b.s.), 0,16% de enxofre orgânico (b.s.) e 0,04% de enxofre sulfático (b.s.).

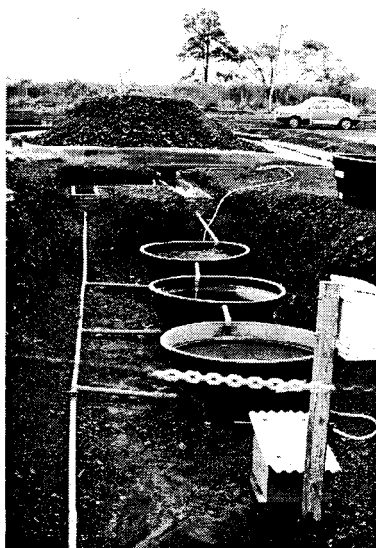


Figura 2. Sistema fechado de recirculação da lixívia

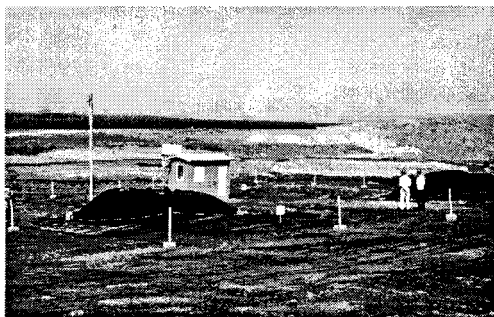


Figura 3. Impermeabilização da área das pilhas com manta de P. E. A. D.

Figura 4. Carvão da pilha A  
(0 X 20 mm)

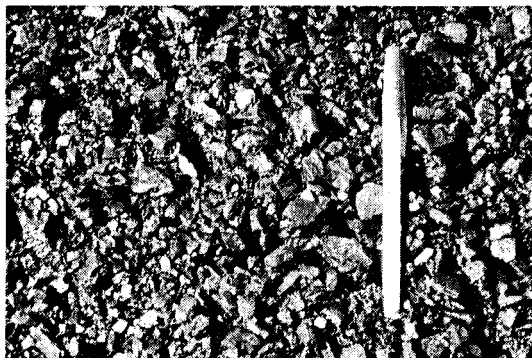
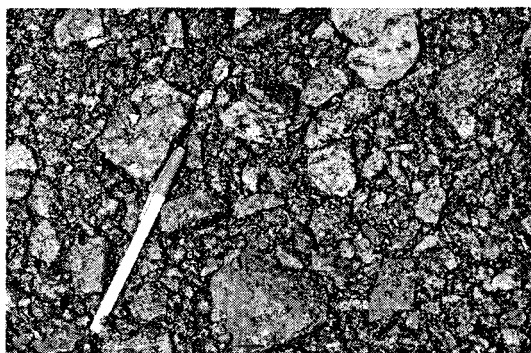


Figura 5. Carvão da pilha B  
(0 X 50mm)

## RESULTADOS

Neste estudo verificou-se que a existência de materiais alcalinos, como a calcita, no carvão, força a adição de ácido sulfúrico na lixívia como forma de se manter o pH próximo a 2,3. Tal custo de adição de ácido torna-se necessário, pois, segundo os trabalhos de DUTRIZAC e MCADONALD (1974), BENJAMIN(1983) e FRELLO(1998), se o pH fosse superior a 2,5, ocorreria a precipitação de óxidos e hidróxidos férricos sobre a superfície da pirita, impedindo o acesso do oxigênio e da lixívia bacteriana à superfície mineral, prejudicando desta forma o rendimento do processo de dessulfuração do carvão.

Na pilha “A” verificou-se que não houve reduções nos teores de enxofre total e pirítico não justificando, portanto, os custos de acidificação controles analíticos de variáveis físicas, físico - químicas, químicas ou biológicas da lixívia e do carvão, manutenção e operação do sistema em escala comercial.

Segundo CYBIS (1986), DE LUCA(1992) e FRELLO (1998), aplicando-se um modelo de cinética de “pseudo” primeira ordem pode-se relacionar as concentrações de enxofre total e pirítico remanescente no carvão ao tempo. Tal equação (3) pode ser expressada por:

$$- \frac{dC}{dt} = kC \quad (3)$$

onde o sinal negativo indica a perda de material com o passar do tempo, C é a concentração em um dado tempo, e k é a constante da taxa para a reação de “pseudo” primeira ordem.

Aplicando-se o modelo acima aos dados de remoção enxofre total obtidos na pilha “B” podemos dizer que a taxa de remoção de enxofre total para este carvão foi de 0,00675 dias<sup>-1</sup>.

A taxa de remoção de enxofre pirítico para o carvão da pilha “B” foi de 0,01182 dias<sup>-1</sup>.

Segundo o trabalho de ZANCAN FILHO e outros (1997), o rendimento na taxa de oxidação melhora utilizando regime de aspersão da lixívia com fluxo intermitente. A operação intermitente inclui períodos com ou sem fluxo. Os sulfetos são oxidados num ambiente aeróbio úmido, sendo que os produtos da oxidação são solubilizados na solução que envolve os fragmentos ou mantidos entre ou dentro dos fragmentos. No período com fluxo, os produtos da oxidação são removidos pela solução lixiviante à medida que esta percola pelo material que está sendo lixiviado. Em período seco, os produtos da oxidação tem chance de vir para a superfície do fragmento juntamente com a água que, com a evaporação, apresenta um movimento de dentro para fora no fragmento. A extensão do tempo de descanso é determinada pela taxa de evaporação e a concentração de sais na fase líquida em volta dos fragmentos. Quando estes dois fatores tornam-se críticos, o material deve ser molhado novamente.

A pirita no carvão da pilha “B” apresentou vários tipos de hábitos cristalinos, tanto framboidal, que segundo EVANGELOU (1995) apresenta alto grau de permeabilidade e biolixiviabilidade, como também de hábito maciço e prismático de lixiviação mais lenta.

Diferentemente de FRELLO (1998) que trabalhou com potenciais redox em torno de 634 mV ao estudar a biolixiviação em carvões de Santa Catarina, neste estudo de carvões do Rio Grande do Sul apresentaram potenciais redox 401 mV para pilha A e 449 mV para pilha B.

As tabelas 1 e 2 mostram as concentrações de metais pesados durante o processo de lixiviação bacteriana nas pilhas A e B respectivamente:

**Tabela 1**  
CONCENTRAÇÕES DE METAIS PESADOS  
NA LIXÍVIA BACTERIANA NA PILHA "A".

Metal	Unidade	1° amostragem	2° amostragem	3° amostragem	4° amostragem	5° amostragem
Manganês	mg/l	0.58	1.3	5.17	4.73	4.21
Cobre	mg/l	n.d.	n.d.	n.d.	1.08	12.97
Chumbo	mg/l	2.15	0.07	n.d.	n.d.	n.d.
Cromo	mg/l	0.9	1.66	0.86	10.71	14.08
Mercúrio	mg/l	2.62	1.44	0.96	0.31	n.d.
Arsênio	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Selênio	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

**Tabela 2**  
CONCENTRAÇÃO DE METAIS PESADOS  
NA LIXÍVIA BACTERIANA NA PILHA "B".

Metal	Unidade	1° amostragem	2° amostragem	3° amostragem	4° amostragem	5° amostragem
Manganês	mg/l	1.57	1.96	7.03	9.49	10.08
Cobre	mg/l	n.d.	2.92	5.49	1.09	72.87
Chumbo	mg/l	n.d.	4.51	n.d.	2.53	5.25
Cromo	mg/l	2.73	15.81	5.55	0.03	26.74
Mercúrio	mg/l	0.55	0.94	3.38	0.21	n.d.
Arsênio	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	0.014
Selênio	mg/l	0.001	0.001	0.001	0.001	n.d.

As concentrações de metais observadas neste trabalho, ao serem comparadas com os valores de concentrações para a inibição da atividade do *Thiobacillus ferrooxidans* (LUNDGREN & SILVER, 1980), mostraram que possivelmente não houve inibição da atividade bacteriana.

## CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados apresentados, podemos concluir que na pilha “B” foi possível atingir taxas de redução de enxofre total na ordem de 0,00675 dias<sup>-1</sup> e de enxofre pirítico em torno de 0,01182 dias<sup>-1</sup>. Na pilha “A”, a remoção de enxofre total e pirítico não foram satisfatórias, não justificando o uso da biolixiviação.

Observou-se que a eficiência na taxa de dessulfuração de carvões está intimamente relacionada à presença de ganga mineral alcalina e ao hábito cristalino da pirita presente no carvão. Ainda influem nesta redução de enxofre, variáveis relacionadas à lixívia, como pH, potencial redox, concentração de bactérias, a taxa e o tipo de aspersão.

O tempo de exposição do carvão é fator determinante nos custos do processo.

A concentração de metais, que não íons de ferro, na lixívia é relativamente baixa, e dependendo da precipitação destes metais nos tanques de sedimentação, torna-se possível a utilização dos precipitados sulfatados na indústria de fertilizantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLY, R. T.; BROCK, T. D. Ecology of iron - oxidizing bacteria in pyritic materials associated with coal. *Journal of Bacteriology*, n.117, p.726-32, 1974.
- BENJAMIN, M. M. Adsorption and surface precipitation of metals on amorphous iron oxyhydroxide. *Environment Science of Technology*, n.17, p.686 -92, 1983.
- CALVERT, J. G.; STOCKWELL, W. R. Mechanism and rates of the gas - phase oxidations of sulfur dioxide and nitrogen oxides in the atmosphere. SO<sub>2</sub>, NO and NO<sub>2</sub> oxidations mechanisms: atmospheric considerations. *Acid Precipitation Series*, v.3, n.2, p.1-62, 1983.
- CYBIS, Luiz Fernando de Abreu. *Lixiviação microbiológica aplicada ao controle da poluição na mineração de carvão*. Porto Alegre, 1987. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento/UFRGS. 150p.
- DE DEUS, A. B.; DE LUCA, S. J. *Avaliação qualitativa e quantitativa de metais complexados em chuvas ácidas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. *Anais...*, n.4, p.2294-300, 1997.
- DE LUCA, Sérgio João. *Biolixiviação de carvão antracitoso*. 1992. Relatório de Pesquisa para o CNPq.
- DUTRIZAC, J. E.; MACDONALD, R. J. C. Ferric ion as a leaching medium. *Min. Science Eng.*, v.6, n.2, p.59-100, 1974.
- EVANGELOU, V. P. 1995. *Pyrite oxidation and its control*. Boca Raton: CRC Press, 1995. 293p.
- FRELLO, Albertino. *Avaliação da biodessulfurização do carvão mineral de Santa Catarina por intemperismo natural, lixiviação com água ácida de mina e inoculação microbiana*. Florianópolis, 1998. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/UFSC. 122p.
- GARCIA JR., Oswaldo. *Interação entre metais e microorganismos*. Anais do Workshop sobre biorremediação. Campinas, p.55 - 73, 1996.
- HARRISON JR, A. P. Microbial succession and mineral leaching in an artificial coal spoil. *Applied Environmental Microbiology*, n.36, p.861-69, 1978.
- LUNDGREN, D. G.; SILVER, M. Ore leaching by bacteria. *Annual Review of Microbiology*, n.34, p.263-83, 1980.
- MARQUES, David Manuel Lelinho da Motta. *Lixiviação microbiológica de rejeitos da mineração de*

*carvão*. Porto Alegre, 1986. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Ecologia/ UFRGS. 58p.

ZANCAN FILHO, L. C.; DE LUCA, S. J.; MARQUES, D. M. L. Aplicação da biolixiviação para a remoção de enxofre de carvões brasileiros no controle da poluição do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. *Anais...*, n.4, p.2301-06, 1997.