

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 - <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.

ECOSSISTEMAS CRIADOS (BANHADOS): IMPORTÂNCIA DOS MACRÓFITOS NO CONTROLE DE pH DE DRENAGEM ÁCIDA

David M. L. da Motta Marques
Márcio Suminsky
Clebes Pinheiro Brum

INTRODUÇÃO

A mineração de carvão é uma atividade de grande importância no Estado do Rio Grande do Sul, pois este contém 87% das reservas brasileiras, sendo que aproximadamente 90% da produção de carvão do Estado é obtida através de minas de superfície (SILVA, 1987), as quais abrangem grandes áreas e requerem grande movimentação de solo. Os rejeitos resultantes do processamento *in situ* do carvão, juntamente com as cinzas produzidas pelas usinas termoelétricas, são depositados, de uma maneira geral, sem qualquer confinamento, podendo gerar enormes quantidades de drenagem ácida (ADM) devido à oxidação dos minerais piríticos. Como a região carbonífera do Rio Grande do Sul é associada, em parte, com áreas de solos hídricos essa lixívia ácida é prontamente escoada para os corpos d'água adjacentes, causando alterações nesses ecossistemas.

Uma alternativa para o controle de drenagens ácidas resultantes das atividades de mineração é a utilização de sistemas de terras úmidas criados/construídos (*banhado/wetland*), os quais, agindo como zonas tampão e sistemas auto-sustentados, podem contribuir significativamente para uma melhoria da qualidade da água. Esses sistemas utilizam estruturas e funções dos ecossistemas naturais, sendo uma alternativa atraente sob o ponto de vista econômico, além de possuírem valores adicionais tais como restauração paisagística e manutenção de biodiversidade (MOTTA MARQUES e outros, 1994).

Pesquisas realizadas no sentido de avaliar a adequação e eficiência de banhados criados/construídos para a remoção de poluentes e características nocivas de efluentes têm sido feitas em escala real, ou em micro e mesocosmo, e onde os macrófitos têm sido considerados fundamentais (PULLIN e HAMMER, 1991; BRIX e SCHIERUP, 1989).

O presente trabalho teve como objetivo verificar a capacidade de sistemas de terras úmidas criados, em escala piloto, para a elevação do pH de drenagens ácidas, sendo avaliada a influência da densidade de macrófitos.

MATERIAL E MÉTODOS

Mesocosmos foram construídos em reservatórios d'água, revestidos internamente com epóxi, capacidade nominal de 1000 litros e área útil de 1,25 m². Substrato de areia grossa (f médio = 0,5 mm) foi escolhido para facilitar o fluxo superficial do afluente e reduzir a possibilidade de interações complexas. A cobertura vegetal era composta pelo macrófito emergente *Typha latifolia* L. (densidades 30 e 48 plantas).

Um *run off* ácido artificial (pH 4), cuja composição foi determinada a partir de amostras de água coletada em áreas de mineração de carvão típica do Rio Grande do Sul, foi aplicado em cada cosmo (carga 2,4 cm/d). Valores de pH do efluente foram determinados após cada coleta (Standard Methods, 1992) ao longo de 250 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de *wetlands* (terras úmidas) construídos como instrumento para controle de drenagem ácida de mina (AMD) e a recuperação de áreas mineradas e drenagem associada, tem aumentado em popularidade, principalmente nos estados produtores de carvão nos Estados Unidos, como uma alternativa ecotecnológica a métodos convencionais de recuperação baseados em produtos químicos (Brodie *et al.*, 1993; Fennessy e Mitsch, 1989). Como consequência, várias centenas de *wetland* têm sido construídos para minimizar o impacto de águas ácidas de minas de carvão (Kolbash e Romanoski, 1989; Kleinmann e Hedin, 1989).

No entanto, somente 20% dos sistemas de *wetland* construídos descarregam água que estão dentro dos limites impostos nos Estados Unidos, como acidez líquida zero e pH entre 6 e 9 (Kleinmann e Hedin, 1989). As causas para a variabilidade observada na eficiência não são ainda bem entendidas. Como resultado persiste uma incerteza quanto aos critérios de projeto, previsão de eficiência, permanência do sistema e estimativa de custo *versus* benefício potencial (Henrot *et al.*, 1989). Este fato é estendido também para sistemas a serem projetados sob os princípios da ecotecnologia.

Deste modo, os esforços para entender e projetar esses sistemas têm estimulado o desenvolvimento de vários estudos, em escala de mesocosmos e *wetland* em escala real, naturais ou construídos, para investigar o papel desses sistemas para o controle de AMD (Brodie *et al.*, 1993; Fennessy e Mitsch, 1989). No entanto, estudos referentes a sistemas baseados no princípio de *self-organization* de ecossistemas são praticamente inexistentes, sendo neste contexto que se insere este trabalho.

A aplicação de AMD a mesocosmos tipo banhado, com pH nominal de 4, teve como resultado um efluente com seu pH elevado para valores entre 6 e 6,5 (Fig. 1).

Vários sistemas *wetland* construídos têm mostrado um desempenho similar, ao elevar o pH de drenagem ácida, com pH entre 3 e 3,7, para um efluente com pH 6,5 e 9, ficando portanto dentro dos padrões estabelecidos para este tipo de atividade nos Estados Unidos (Gross *et al.*,1993; Hedin e Naim,1993; Fennessy e Mitsch,1989; Henrot *et al.*,1989; Werenick *et al.*,1989). Esses valores foram obtidos em sistemas cujo substrato era composto, em diferentes combinações, de pedra calcária e vários tipos de resíduos orgânicos e turfa, em contraste com o substrato arenoso (areia grossa) dos sistemas desse experimento e sem fonte externa de alcalinidade e matéria orgânica.

Verificou-se, em AMD com valores de pH acima de 6, que os processos de oxidação abióticos dominam os processos bióticos, enquanto que em AMD com valores de pH menores que 5 a relação é inversa (Hedin e Naim,1993). Deste modo, a elevação do pH verificada no experimento estudado pode ser atribuída à atividade biológica, embora o *run off* sintético aqui utilizado não contivesse matéria orgânica na sua composição e a concentração de sulfato fosse baixa. A redução bacteriana de sulfato foi observada ocorrendo numa drenagem com pH tão baixo como 2,6 (Bolis *et al.*,1994), um valor bem inferior ao pH 4 do *run off* sintético afluente.

Em condições de inverno, sistemas *wetland* construídos e com fluxo superficial, recebendo AMD com pH menor que 3, promoveram uma elevação do pH da água para perto da neutralidade, embora ocorra sazonalidade de uma maneira geral em sistemas *wetland* (Kleinmann e Hedin, 1989). A tendência verificada nesse estudo aponta para o mesmo comportamento uma vez que a metade final ocorreu no outono/inverno, tendo-se obtido valores de pH entre 6 e 6,4.

As variações de pH verificadas neste trabalho (fig. 1) não podem ser tomadas somente como validação desta variabilidade sazonal, uma vez que dizem respeito também ao *start-up* dos sistemas. É portanto necessário uma nova fase de testes para elucidar essa sazonalidade, embora seja esperado que o problema ocorra, não tão intensamente, uma vez que foi verificado o crescimento de *Typha latifolia* L. (brotos e folhas) durante o período pesquisado.

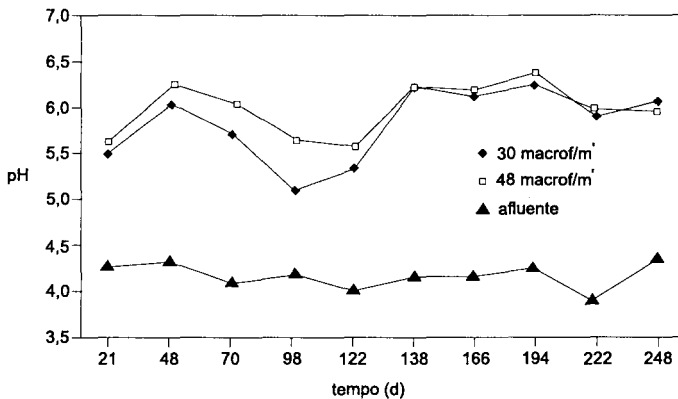


Figura 1 - Influência da densidade do macrófito *Typha latifolia* L. sobre os valores de pH e ORP em sistemas de terras úmidas que tratam drenagens ácidas.

O macrófito mais utilizado em sistemas *wetland* construídos tem sido a taboa, *Typha* spp. Este gênero é freqüentemente usado em sistemas para controle de AMD porque é cosmopolita, tolerante a águas ácidas e sobrevive em condições ambientais muitas vezes tóxicas (Fennessy e Mitsch, 1989), como a presença de metais pesados em solução. Outras adaptações dos macrófitos emergentes de interesse para o desenvolvimento de sistemas *wetland*, incluem altas taxas de evapotranspiração, desenvolvimento extensivo de rizomas e rápida produção de biomassa (Dykyjova e Kvet, 1978). Verificou-se que *Typha angustifolia* produz, em excesso, pela rizosfera de plantas em ambientes saturados, compostos orgânicos de fácil degradação (Brunel *et al.*, 1992).

O *run off* sintético possuía pH 4 e elevada concentração de vários metais, sendo semelhante às condições encontradas em áreas de mineração de carvão no RS. A elevada tolerância a metais, e a capacidade de *Typha* spp. de sobreviver em águas com pH entre 2,9 e 5,7 (Kalin e Van Everdingen, 1987 apud Klenmann e Hedin, 1989) permitiu aos macrófitos (*Typha latifolia* L.), implantados nos sistemas em estudo, sobreviverem ao transplante e formarem um denso estande sob as condições impostas.

As diferentes densidades iniciais do macrófito afetaram a capacidade de tamponamento, sendo que uma maior densidade (48 org./m²) promoveu uma elevação mais acentuada do pH do *run off* afluente (fig. 1). Essa diferença foi acentuada na primeira metade do experimento, contudo a metade final do teste *Typha latifolia* L. não promoveu mais esse diferencial no pH. A densidade do macrófito pode, então, influenciar positivamente o desempenho dos sistemas *wetland* durante a fase crítica do seu *start-up*, mas talvez, acima de uma certa densidade esta variação deixe de existir ao longo do tempo.

A acidez de ADM é neutralizada, em sistemas *wetland*, através da geração de alcalinidade. Dois processos geradores de alcalinidade em sistemas aquáticos, e ocorrendo no tipo de sistema testado, de acordo com Hedin e Naim (1993), são a dissolução de carbonato (1), processo abiótico, e a redução de sulfato (5), processo biótico.

Uma vez que os sistemas construídos não possuíam substrato alcalino nem adição passiva de alcalinidade, e o *run off* sintético era ácido, a redução biológica de sulfato pode ter prevalecido. Bactérias sulfato redutoras são inibidas por baixo pH, no entanto, a sua atividade eleva o pH do seu ambiente imediato, permitindo assim sua atividade sob águas ácidas extremas (Herlihy *et al.*, 1987). Considerando as condições de teste (pH 4 e sem matéria orgânica afluente), a redução de sulfato pode ter ocorrido, em particular em íntima associação com raízes e rizomas, suporte e única fonte de matéria orgânica no sistema (se for desconsiderada a precipitação seca). Uma grande cobertura de vegetação é portanto um potencial para neutralização (Ferrier *et al.*, 1992).

Aceptores de elétrons alternativos ao oxigênio podem ser adicionados a sistemas *wetland* construído para manipular o pH e precipitação de metais (Wetzel, 1993), através da promoção de condições anaeróbias e fornecimento de matéria orgânica, de diversas origens (urbana e rural) para os processos intermediados por bactérias.

Uma alternativa é a redução de Fe(III) intermediada biologicamente, com produção de alcalinidade, mas sem a redução líquida a sulfato (Vile e Wieder, 1993). Eger (1994) mostrou que esta última reação é efetiva e ocorre a taxas adequadas, em condições anaeróbicas, para diversos substratos orgânicos (resíduos). A redução bacteriana de sulfato é então potencialmente muito importante a longo prazo para sistemas *wetland* construí-

dos (Kleinmann e Hedin, 1989), bem como o papel contribuinte para este processo desempenhado pelos macrófitos, se estes sistemas devem ser auto-sustentados.

Compostos orgânicos complexos oriundos de macrófitos são outra alternativa oferecida pelos *wetland*. Essa matéria orgânica é reduzida a compostos simples para que os produtos dessa degradação possam ser utilizados pelas bactérias sulfato redutoras. Assim, deve existir ou propiciar-se uma associação com bactérias hidrolíticas/fermentativas para que a degradação da matéria orgânica colocada à disposição pelo macrófito, eventualmente, através da excreção feita pela rizosfera, no sistema, ou partes do macrófito, forneça o substrato específico. Nas condições de teste, essas foram as duas possíveis fontes de matéria orgânica dos sistemas de trabalho.

Portanto a adição de matéria orgânica, como resíduo de diversos tipos, em sistemas *wetland* construídos para controlar AMD tornam-nos dependentes de fontes externas de energia e não auto-sustentados, como é a característica básica de sistemas de ecotecnologia. Em contraste os ecossistemas *wetland* criados devem ser encarados e projetados como ecossistemas naturais integrados.

A elevação do pH nesse experimento mostra que esses mesocosmos, nas condições de criação e operacionais impostas, se auto-organizaram, possuindo similaridade de estrutura e função com sistemas naturais. Em sistemas ecotecnológicos o sistema deve organizar-se, a partir de condições de contorno impostas, para fornecer alcalinidade a uma taxa compatível com a carga de acidez afluyente. Para tanto, a estrutura e funções desse tipo de sistemas devem ser similares aos sistemas naturais, e também passíveis de manipulação para se levar o sistema a uma condição desejada, sendo esse o diferencial para sistemas construídos. Assim funções ou estruturas que determinam o direcionamento/comportamento desse tipo de sistema, as quais permitem a execução de tarefas ou aproveitamento de valores específicos, devem ser procuradas e gerenciadas.

A continuação da pesquisa para avaliação de sistemas *wetland* experimentais e operacionais, especialmente relativo a técnicas para aumentar sua capacidade de controle da qualidade de recursos hídricos é de fundamental importância. Nos sistemas ecotecnológicos o incremento da alcalinidade deve ser efetuada pelo próprio sistema através da ação do *self-organization*, o instrumento de trabalho dos ecossistemas, orientados através de práticas de gerenciamento adequadas. Os sistemas devem ser projetados e criados como sistemas naturais auto-sustentados, e serem auto-ajustáveis em resposta a mudanças dessa qualidade, fornecendo então um controle permanente da qualidade de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLIS, J. L.; WILDEMAN, T. R.; COHEN, R. R. The use of bench scale permeameter for preliminary analysis of metal removal from acid mine drainage by wetlands. In: CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY OF SURFACE MINING AND RECLAMATION. *Proceedings...*, Durango, USA, Mai, 1991.
- BRIX, H.; SCHIERUP, H. H. The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio*, v.18, n.2, p.100-107, 1989.

- BRODIE, G. A.; BRITT, C. R.; TOMASZEWSKI, T. M.; TAYLOR, H. N. Anoxic limestone drains to enhance performance of aerobic drainage treatment wetlands: experiences of the Tennessee Valley Authority. In: MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement. Proceedings*. Boca Raton: Lewis, 1993. p.129-138.
- BRUNEL, J. J. D.; LAANBROEK, H. J.; WOLDENDORP, J. W. Effect of transient oxic conditions on the composition of the nitrate-reducing community from the rhizosphere of *Typha angustifolia*. *Microb. Ecol.*, n.24, p.51-61, 1992.
- DYKYJOVA, D.; KVET, J. *Pond littoral ecosystems: structure and functioning*. New York: Springer Verlag, 1978.
- EGER, P. Wetland treatment for trace metal removal from mine drainage: the importance of aerobic and anaerobic processes. *Wat. Sci. Tech.*, v.29, p.249-256, 1994.
- FENNESSY, M. S.; MITSCH, W. J. Design and use of wetlands for renovation of drainage from coal mines. In: MITSCH, W. J.; JORGENSEN, S. E. (Eds). *Ecological engineering*. New York: Wiley, 1989. p.231-253.
- FERRIER, R. C.; MCMAHON, R. G.; WALKER, T. A. B.; HARRIMAN, R.; EDWARDS, A. C.; KING, D. Experimental stream acidification: the influence of sediment and streambed vegetation. *J. Hydrol.*, n.140, p.361-370, 1972.
- GROSS, M. A.; FORMICA, S. J.; GANDY, L. C.; HESTIR, J. A. Comparison of local waste materials for sulfate-reducing wetlands substrate. In: MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement. Proceedings*. Boca Raton: Lewis, 1993. p.179-185.
- HEDIN, R. S.; NAIRN, R. W. Contaminant removal capabilities of wetlands constructed to treat coal mine drainage. In: MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement. Proceedings*. Boca Raton: Lewis, 1993. p.187-195.
- HENROT, J.; WIEDER, R. K.; HESTON, K. P.; NARDI, M. P. Wetland treatment of coal mine drainage: controlled studies of iron retention in model wetland systems. In: HAMMER, D. A. *Constructed wetlands for wastewater treatment. Proceedings*. Chelsea: Lewis, 1989. p.793-800.
- HERLIHY, A. T.; MILLS, A. L.; HORNBERGER, G. M.; BRUCKER, A. E. The importance of sediment sulfate reduction to the sulfate budget of an impoundment receiving acid mine drainage. *Water Resources Res.*, n.23, p.287-292.
- KLEINMANN, R. L. P.; HEDIN, R. Biological treatment of mine water: An update. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF TAILINGS AND EFFLUENT MANAGEMENT. *Proceedings...*, Halifax: Can, Ago. 1989. p.173-179.
- KOLBASH, R. L.; ROMANOSKI, T. L. Windsor coal company wetland: an overview. In: HAMMER, D. A. *Constructed wetlands for wastewater treatment. Proceedings*. Chelsea: Lewis, 1989. p.788-792.
- MOTTA-MARQUES, D. M. L.; BRUM, C. P.; AMAZARRAY, M. T. R.; CYBIS, L. F. A. Sistemas de banhos criados para controle alternativo de drenagem ácida difusa. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6. *Anais...*, Rio de Janeiro: ABES, v.1, t.2, p.27-34, 1994.
- PULLIN, B. P.; HAMMER, D. A. Aquatic plants improve wastewater treatment. *Water Environmental Technology*, v.e, n.3, p.36-40, 1991.
- SILVA, Z. C. C. Jazidas de carvão no Rio Grande do Sul, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, *Atas...*, Curitiba, v.2, p.677-886, 1987.
- VILE, M. E.; WIEDER, R. K. Alkalinity generation by Fe(III) reduction versus sulfate reduction in wetlands constructed for acid mine drainage treatment. *Water, Air, Soil Pollut.*, n.69, p.425, 1993.
- WENWRICK, S. E.; STEVENS, S. E.; WEBSTER, H. J.; STARK, L. R.; DeVEAU, E. Tolerance of three wetland plants species to acid mine drainage: a greenhouse study. In: HAMMER, D. A. *Constructed wetlands for wastewater treatment. Proceedings*. Chelsea: Lewis, 1989. p.801-807.
- WETZEL, R. G. Constructed wetlands: scientific foundation are critical. In: MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement. Proceedings*. Boca Raton: Lewis, 1993. p.3-7.