

# 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.

# **AVALIAÇÃO DE UMA ÁREA DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE CARVÃO COM VISTAS A BIOINDICADORES VEGETAIS PARA METAIS PESADOS**

Tania Renata Prochnow  
Maria Luiza Porto

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar as condições ambientais de uma área com rejeitos de carvão e a interferência desta sobre diferentes áreas vegetadas próximas, vem como sobre corpos d'água formados sobre esta área e na sua interface com áreas contíguas. Foi selecionada para este fim uma área com rejeitos denominada Capão da Roça, com aproximadamente 140ha, localizada no município de Charqueadas, RS, sendo também incluídos: um eucaliptal, um campo banhado e uma mata nativa sem contaminação aparente.

Foram realizadas análises físicas e químicas e determinados os metais pesados Fe, Cr, Pb e Mn para amostras de água, substrato, sedimento e vegetação destas áreas; o resultado final das análises e posterior tratamento matemático deu origem a mapas indicativos dos gradientes de contaminação ambiental e a indicação de prováveis bioindicadores vegetais para metais pesados.

## **INTRODUÇÃO**

O impacto da atividade humana sobre a ecosfera terrestre é hoje um dos assuntos mais discutidos do mundo. A partir da Revolução Industrial e do uso dos combustíveis fósseis, a humanidade se transformou no principal fator de alteração geológica do planeta (Fonseca, 1989).

A atividade humana tem interferido nos processos naturais com atividades industriais e mineradoras que alteram, entre outras a ciclagem de elementos não essenciais,

ainda que os primeiros não tenham valor algum para os organismos. Por semelhança química com elementos específicos vitais, em diversos tecidos ocorre a concentração de elementos não essenciais. Portanto, em decorrência das atividades humanas, devemos nos preocupar também com a ciclagem de muitos destes elementos (Odum, 1971).

Em áreas com depósito de minerais, áreas mineradas e áreas com rejeitos de mineração, onde ocorrem as maiores concentrações de metais pesados, ocorre durante esta ciclagem uma maior concentração em organismos vivos, principalmente plantas com sistema radicular profundo (Malyuga, 1964).

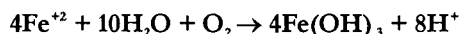
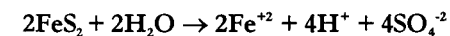
Alguns destes metais são úteis aos organismos vivos, em percentagem muito pequena, tornando-se mais ou menos tóxicos em percentagens mais elevadas. Todos eles se concentram ao longo das cadeias alimentares (Friedel, 1980). Alguns destes metais, como o mercúrio, o cádmio e o chumbo, são tóxicos mesmo em concentrações muito baixas. O cromo, o níquel, o cobalto e vários outros são tóxicos e demonstram ser carcinogênicos mesmo em quantidades mínimas (Raw, 1981; Wagner, 1985). Mesmo os metais pesados essenciais aos organismos vivos se tornam tóxicos quando em concentrações elevadas. Esta toxicidade dos metais se origina na capacidade de substituir íons centrais em enzimas e fermentos de organismos vivos, provocando assim distúrbios em suas funções de catalisadores para reações bioquímicas (Sanson, 1981 apud Wagner, 1985).

Vários estudos têm sido realizados sobre as concentrações típicas destes elementos em cada região e em diversos compartimentos, como os trabalhos de Malyuga, 1964, Mathis e Cumming, 1973, Taylor 1974 e 1976, Forstner e Wittmann, 1983 e outros.

Os metais pesados podem ter suas concentrações alteradas em um ambiente por causas naturais, como erupções vulcânicas, intemperização das rochas e solos, cheias periódicas de grandes cursos d'água, entre outras. Mas, sem dúvida, as ações antrópicas são as que mais contribuem para alterar as concentrações de metais em algumas áreas, como mostram os estudos realizados por Anderson, 1992, nos Estados Unidos e por Corson, 1993, no mar Báltico.

A mineração de carvão pode alterar as concentrações de metais pesados em todos os compartimentos do ecossistema, não apenas das áreas mineradas mas também através de resíduos gerados pela mineração ou pela utilização do carvão em usinas termelétricas ou em outros processos industriais (Mason, 1966; Pulford e Ducan, 1975b; Lawrey, 1976; Dimber e outros, 1978; Coles, Ragaini e Ondov, 1979; Wadge e Hutton, 1987).

Rejeitos recentes do carvão têm, usualmente, pH neutro ou levemente alcalino, que começa a decrescer quando a pirita se oxida. A oxidação da pirita a sulfato ocorre por ação de microrganismos em presença de ar, variações térmicas e variações de umidade (chuvas, infiltrações, drenagem), causando o aumento do caráter ácido que ocorre segundo a reação:



Devido a esta oxidação, as áreas com rejeito de carvão não queimado passam por diversos estágios onde o potencial de acidez, inicialmente alto, vai decrescendo. O pH inicialmente alto vai baixando até tornar-se extremamente ácido, aumentando depois gra-



dativamente, até se esgotar o potencial de acidez; a quantidade de sulfato livre é inicialmente baixa e vai aumentando até o último estágio.

Este processo não ocorre com rejeitos queimados, pois durante a combustão ocorre a oxidação da pirita sem a produção de rejeitos sólidos ácidos.

Em decorrência destes processos de oxidação, a mineração de carvão e depósitos com rejeitos de carvão freqüentemente causam poluição de corpos d'água, águas subterrâneas e outros problemas ambientais (Kumber et al, 1978; Pulford e Ducan, 1975b).

Ocorre uma diferença de propriedades entre as áreas queimadas e não queimadas: nas áreas queimadas foram encontradas concentrações mais altas de alumínio (Al) e cromo (Cr), enquanto que, nas áreas não queimadas, ocorre uma maior concentração de outros elementos como o níquel (Ni), cobalto (Co), chumbo (Pb), manganês (Mn), potássio (K), magnésio (Mg) e cobre (Cu).

Áreas de mineração de carvão e depósitos com rejeitos de carvão apresentam uma série de alterações tais como: alterações nos componentes biológicos que regulam os processos de decomposição do litter, em virtude de uma baixa biomassa bacteriana e de fungos, causada pela presença das concentrações elevadas de metais pesados (Bahya e Cornfield, 1972; Ruhling e Tyler, 1973; Daft e Nicolson, 1974; Jordan e Lechevalier, 1975; Lawreu, 1976); as baixas condições de pH destas áreas contribuem para a crescente solubilização de numerosos elementos-traço do substrato, particularmente metais, e são fatores limitantes no estabelecimento da vegetação natural ou introduzida nestes *habitats*.

Assim, várias espécies de organismos terrestres e aquáticos acumulam metais pesados, cada um destes em partes específicas de su organismo (Lawrey, 1975; Whitton et al, 1982; Caines e Wells, 1985). Algumas plantas superiores também sofrem alterações em seus parâmetros celulares quando crescem em áreas mineradas (Porto, 1983).

Ocorre também, nestas áreas de rejeito com pH baixo, a formação de óxido de ferro amorfo que impede a absorção de fosfatos fertilizantes pelas plantas (Pulford e Ducan, 1975).

Algumas plantas, capacitadas para tolerar concentrações altas de metais pesados, acumulam estes elemento em quantidades freqüentemente tóxicas para herbívoros, tendo sido observadas altas concentrações destes elementos nestes organismos em áreas contaminadas com rejeitos ou pela mineração do carvão (Lindsay, 1974; Wagner, 1985; Porto, 1981, 1983, 1986 e 1989; Zoche, 1985; Zanardi, 1990; Bustamante, 1993).

O Rio Grande do Sul é o Estado que comporta as maiores reservas carboníferas do país. Até agora apenas uma parcela destas reservas tem sido exploradas; com o crescimento do consumo energético, a tendência é incrementar o uso do carvão como fonte de energia mais barata. Este carvão, numa associação significativa com o enxofre e material mineral, precisa ser beneficiado; isto gera uma série de resíduos causadores de impacto ambiental. Também a feração de energia pelo carvão gera uma série de materiais impactantes, como o "fly ash", material particulado fino com elevada concentração de SO<sub>2</sub> e elementos traço, além das cinzas provenientes da queima do carvão.

Poucos trabalhos tem sido realizados no Brasil sobre áreas mineradas, recuperação destas áreas, degradação de ecossistemas ou relações entre alteração do meio e reestabelecimento de comunidades vegetais nestas áreas (Sháfer, 1978; Lewgoy, 1980; Klippel, 1982; Sanches e Pintaude, 1983; Machado, 1987; Zoche, 1989; Zanardi, 1990; Porto inédito).

Estando o município de Charqueadas situado na bacia hidrográfica do rio Jacuí, onde se apresentam algumas das maiores alterações fisionômicas provocadas pela mineração e utilização do carvão no Rio Grande do Sul, foi escolhido para a realização deste trabalho, que tem por objetivos:

-Realizar o zoneamento da área de depósitos de rejeitos de carvão, considerando os agrupamentos vegetais e as condições físico-químicas do ambiente.

-Avaliar a interferência desta área sobre diferentes manchas de vegetação localizadas sobre ou próximas a esta área, bem como nos corpos d'água formados sobre a mesma e a ela interligados, e na sua interface com áreas contíguas.

-Estimar a semelhança entre a vegetação das diversas áreas, a área com rejeito de carvão e as áreas contíguas, e testar as concentrações dos metais pesados Cr, Pb, Mn e Fe, em plantas nativas e em cultivadas, com vistas à bioindicação.

-Verificar a correlação entre as concentrações dos metais pesados no solo, nas águas e nas plantas das espécies selecionadas.

-Mapear a situação de forma sintética, fornecendo subsídios para o manejo, recuperação e utilização de áreas afetadas pela mineração de carvão.

## **ÁREA DE ESTUDO E CARACTERÍSTICAS REGIONAIS**

A área de estudo está localizada no município de Charqueadas, no setor gaúcho da Depressão do Paraná, conhecido por Depressão Central Gaúcha. Por esta Depressão, caracterizada por pequenas variações altimétricas onde as maiores cotas se situam ao redor de 200m, passam as águas do rio Jacuí e seus afluentes.

O clima dominante da região é mesotérmico superúmido, sem estação seca, do tipo temperado (Nimer, 1989). A temperatura média anual se situa em torno dos 18° C, com temperaturas máximas absolutas ultrapassando os 40° C e mínimas absolutas inferiores a 4° C, sendo janeiro o mês geralmente mais quente e julho o mais frio do ano.

A precipitação média anual é de 1500 a 1750mm, sendo julho, agosto e setembro os meses de concentração máxima da precipitação (IBGE, Reg. Sul, 1990).

Charqueadas está localizada na Formação Rio Bonito, que integra a Cobertura Sedimentar Gonduânica da Bacia do Paraná, na qual estão situadas as jazidas e ocorrências de carvão mineral, sendo que as jazidas de Charqueadas-Guaíba-Santa Rita, situadas a 40 Km a oeste de Porto Alegre, compõe a maior jazida carbonífera da bacia de São Jerônimo Canoas. É nela que se localiza o Poço Otávio Reis, de onde provém parte do rejeito depositado na área de aterro do Capão da Roça, Charqueadas, escolhido como área de estudos deste trabalho.

O carvão de Charqueadas foi caracterizado como tipo betuminoso, de alto volátil C, não aglomerante (Ferreira, Süffert e Santos, 1978) e é, em sua quase totalidade utilizados para alimentar usinas termelétricas.

O solo da área de localização da jazida é classificada pelo IBGE (1990) como Planossolo, típico de áreas baixas onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário, ocasionando fenômenos de redução que resultam no desenvolvimento de perfis com cores cinzentas indicativas de gleização. São geralmente solos mal ou imper-

feitamente drenados cujas característica marcante é a presença de horizonte superficial aluvial de textura arenosa ou média, que contrasta abruptamente com o horizonte subadjacente B, de elevada concentração de argila.

As formações vegetais originais da região sofreram alteração, tanto pela agricultura como pelo pastoreio, reflorestamento com espécies exóticas e a expansão urbana. Localizada em Área de Tensão Ecológica (contatos), a região tem como caracterização vegetal, um contato entre a região da Floresta Estacional Decidual (Caducifólia) e a Savana. No Rio Grande do Sul encontram-se grandes áreas de Savanas associadas aos derrames ácidos (IBGE, 1990).

Grande parte das espécies características dos campos do Rio Grande do Sul relacionados por Araújo (1978) é encontrada ainda hoje, com bastante frequência, destacando-se as dos gêneros *Andropogon*, *Aristida*, *Elyonurus*, *Elyanthus*, *Paspalum*, *Schizachirium* e *Trachypogon*.

A alteração dos campos do município foi gradativa, com a multiplicação dos rebanhos e a introdução de culturas, onde se destacam: arroz, milho, trigo, cana-de-açúcar, batata, ao lado do reflorestamento com *Eucaliptus* sp. E *Acácia* sp.

O município de Charqueadas está localizado às margens do rio Jacuí, a 70 Km de Porto Alegre. Seu limite com Guaíba é demarcado pelo Arroio dos Ratos, localizado a leste; a oeste fica São Jerônimo, cuja divisa com Charqueadas é demarcada pelo Arroio Passo do Leão. Ao norte de Charqueadas, na margem oposta do rio Jacuí, está localizado o município de Triunfo, onde está situado o Pólo Petroquímico.

A área de trabalho, o Capão da Roça, está localizado na periferia da zona central da cidade urbana entre as vilas residenciais Aços Finos Piratini e a COHAB. Ao norte desta área fica a zona central da cidade e ao sul, área de campos de criação de gado e áreas reflorestados com eucaliptos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho selecionamos uma área de aterro com rejeito de carvão denominada Capão da Roça, área esta constituída por aproximadamente 80% de rejeitos de lavagem do carvão da Mina do Recreio e o restante, da mina de profundidade de Charqueadas (Poço Eduardo Reis) e rejeitos da Aços Finos Piratini. Nesta área está localizada uma pequena elevação com mata nativa, não contaminada pelos rejeitos, que foi utilizada como área controle para vegetação e substrato.

As demais coletas das amostras de vegetação e substrato foram realizadas em: eucaliptal adjacente à área de aterro, localizado no início do declive do mesmo; área de artificialmente pela COPELMI, ambas localizadas sobre a área de aterro; declive do aterro até à borda do canal de drenagem igualmente sem cobertura vegetal; campo banhado localizado além do canal de drenagem da COPELMI.

Estas coletas foram realizadas no verão e inverno de 1993, em áreas teste de 100m de largura por 520m de comprimento, demarcada sobre as manchas acima citadas.

As amostras de água, sedimento e macrófitas aquáticas foram realizadas no mesmo período, tendo sido coletadas amostras em: pequeno corpo d'água que tem ca-

racterísticas de lagoa rasa, estável mas de tamanho variável determinado pelo regime pluvial, formada por represamento provocado pelo aterro de carvão, por um antigo aterro de cinzas da Termelétrica de Charqueadas coberto por eucaliptal, e uma elevação natural do terreno igualmente coberta por eucaliptal, e a mancha de mata nativa; canal de drenagem escavado pela COPELMI para receber as águas lixiviadas do aterro; arroio Passo do Leão, ao qual o canal de drenagem lança suas águas; rio Jacuí que recebe as águas do arroio Passo do Leão.

Para o estudo morfológico e topográfico foi feito pelo Sistema Geográfico de Informação (GIS), em computadores utilizando *software* PC-ARC/INFO, versão 3.3, o mapa da área total do aterro e suas abrangências, tendo como base a carta dos terrenos da CEFMSJ em Charqueadas (COPELMI), em escala 1:8000 (Apêndice 7).

A demarcação e mapeamento da área teste, perímetro e curvas de nível, foi confeccionado pelo serviço de topografia da COPELMI. A partir deste mapa, com base nos pontos de coordenadas e a altitude, foi feito o mapa tridimensional da área utilizando *software* ARC/INFO-SEM.

A localização dos pontos de coleta de água e sedimento no canal de drenagem, arroio Passo do Leão e rio Jacuí, foi feita com auxílio de fotos aéreas 1:25.000, medições com bússola prismática YMC-PAT-LENSATIC COMPASS LIQUID FILLED e trena RICHTER de 50m (fig. 1).

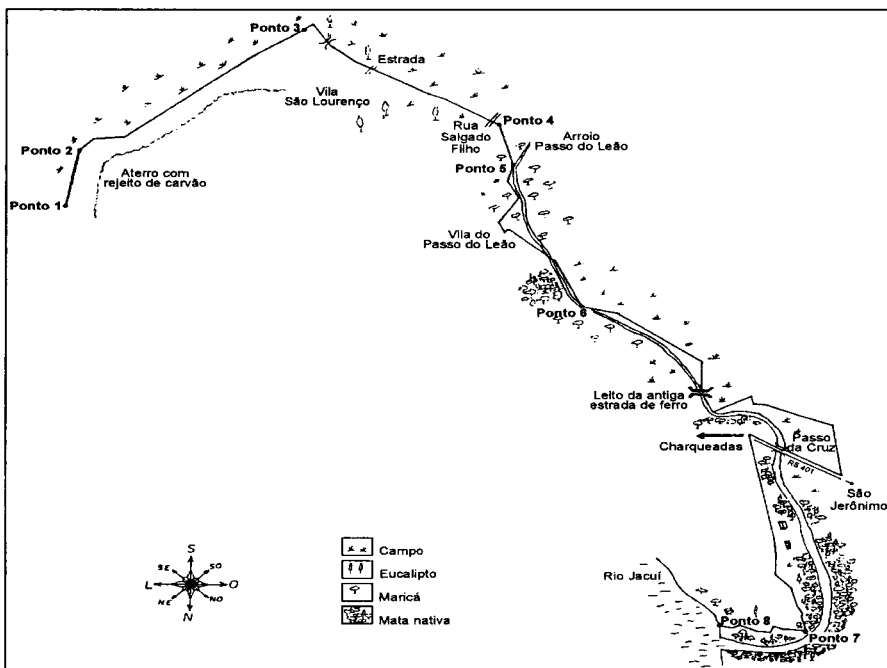


Figura 1

As coletas de água foram realizadas em nove pontos, a uma profundidade aproximada de 15 cm, assim distribuídos: pontos 1, 2, 3 e 4, no canal de drenagem (início, área teste, final do aterro e após a entrada do esgoto da COHAB); pontos 5, 6 e 7, arroio Passo do Leão (antes da confluência com o canal, área de banhado e maricazal após receber as águas do canal, e após o Passo da Cruz, onde o arroio é largo, com mata ciliar diversificada e diversas macrófitas aquáticas); ponto 8, rio Jacuí, abaixo do arroio Passo do Leão, considerado como controle para águas e sedimentos; ponto 9, pequena lagoa sobre a área de aterro.

Após as medições de campo em cada um dos pontos, foram coletadas amostras em frascos de polietileno, acidificadas com ácido nítrico concentrado e conservadas sob refrigeração até as demais análises. Os parâmetros analisados foram os seguintes: temperatura, oxigênio dissolvido, percentagem de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, matéria orgânica, dureza, alcalinidade, nitrogênio total e fósforo total. Os equipamentos utilizados foram: termômetro Precision Mustidigital Thermometer, para temperatura de água e ar, oxímetro Jenway, modelo 9070 com sensor H-90, para oxigênio dissolvido, condutivímetro Analion modelo C 702 com eletrodo C-801/1-1491, para a condutividade elétrica, e pHmetro WTW PH 522 com eletrodo tipo G56 para as medidas de pH. As demais análises foram realizadas utilizando os métodos da Petrobras e APHA (1985). A saturação de oxigênio foi calculada a partir de fatores utilizados por Schäfer (1985) e a condutividade corrigida para 20 °C.

A análise dos metais pesados foi realizada em espectrofotômetro Perkin Elme 2380, após a digestão das amostras com 2 ml de ácido nítrico concentrado, filtração e avolumação da mostra até 500 ml com água destilada. O cromo e o chumbo foram analisados em forno de grafite HGA 400 e o ferro, o manganês e o potássio, em chama.

O sedimento foi coletado nos mesmos pontos de coleta de água, quando a profundidade permitia. O substrato foi coletado com pá de polietileno, a uma profundidade média de 10 cm, junto aos pontos de coleta vegetais. Nas áreas sem vegetação por serem muito extensas, foram demarcados pontos de 10 em 10 metros, numerados e a coleta foi realizada em 10 destes pontos em cada mancha, por sorteio.

As amostras passaram por secagem em estufa a 60 ° C e moagem em gral de porcelana. Para a análise dos metais pesados 0,25g do substrato e colocados em bombas de Tolg, sob pressão, com 2ml de ácido nítrico concentrado e 1 ml de ácido fluorídrico 0,1N, e digeridas em bloco digestor Bergof, a 100°. C, durante 3 horas; após esfriar, a solução resultante foi filtrada em papel Whatmann 42 e avolumada a 25 ml com água destilada, tendo sido analisados por espectrofotometria de absorção atômica os mesmos elementos das amostras de água. Os macronutrientes N, P e o enxofre (totais), foram determinados segundo a APHA (1985).

Nas áreas vegetadas, onde os vegetais se distribuem em manchas distintas, foram selecionados indivíduos característicos de cada mancha e, quando possível, indivíduos comuns ao maior número possível de manchas. As espécies selecionadas foram: na lagoa, a macrófita aquática *Ludwigia sp.*, por ser abundante em todas as épocas de amostragem; no eucaliptal, folhas e galhos finos de *Eucalyptus sp.*; na área vegetada sobre o aterro, folhas e galhos finos de *Acácia nearnsii Wild.*, na área considerada como controle, a mancha de mata nativa denominada Capão da Roça, no campo revegetado e no campo banhado após o canal de drenagem, foram selecionados indivíduos (raiz, caule e folhas) de *Paspalum pumiliatum Nees*, espécie de gramínea comum às três áreas.

Após lavagem abundante com água e ultra-som, utilizando secagem e homogeneização de raízes, caules e folhas de cada mostra, forma pesados 0,3g do material de cada mancha, os quais forma acondicionados em bombas de teflon com 2 ml de ácido nítrico concentrado e digeridos como as amostras de substrato. Após a filtração e avolumação das amostras com água destilada e deionizada até 25ml, foram analisados os mesmos metais pesados, por espectrofotometria de absorção atômica.

Foram também realizados levantamentos botânicos em três manchas: lago sobre o aterro, o campo banhado e o campo revegetado. Neste levantamento foram coletados indivíduos de todas as espécies presentes na época do levantamento botânico, em janeiro de 1994, ao longo de transeccionis nos bordos e centro de cada mancha.

Os resultados obtidos nas análises físico químicas e de metais pesados nas diversas áreas e corpos d'água estudados, bem como as espécies identificadas pela caracterização e mapeamento da vegetação destas áreas, sofreram um tratamento matemático e estatístico, com utilização do MICROSOFT GRAF FOR WORD 2.0, identificando as prováveis bioindicadores para os metais pesados analisados, sendo assim possível gerar também um mapeamento das áreas com gradientes de contaminação.

## RESULTADOS

O levantamento florístico foi realizado com o objetivo de caracterizar a fisionomia da vegetação da área de aterro com rejeitos de carvão, bem como das diferentes áreas e corpos d'água adjacentes sujeitos à interferência da área de estudo. Dentre as espécies coletadas, constatou-se a presença de 22 famílias, 47 gêneros e 60 espécies.

Na área revegetada com acácias, cujo desenvolvimento é alterado e muitas arboretas secaram, foi encontrada apenas a gramínea *Cynodon dactylon*. Na área de campo revegetado, também foi observada a alteração da vegetação implantada por sementeira de diversas espécies integrantes do estrato herbáceo, com vários pontos sem vegetação e baixa diversidade de espécies: 6 famílias, 10 gêneros e 11 espécies, destacando-se as famílias *Gramineae* e *Asteraceae*, sendo que a gramínea *Paspalum pumilium* Nees apresenta a maior percentagem de cobertura na área. Como foram encontradas grandes quantidades de fezes de lebres nesta área, a alteração da vegetação pode ter sofrido a interferência do pastoreio destes animais que parecem demonstrar preferência por esta área, já que poucas fezes foram observadas nas áreas contíguas.

A vegetação da pequena lagoa sob a área de aterro foi coletada apenas próximo aos bordos de sua parte estável. A lagoa apresenta grande quantidade de macrófitas aquáticas e ali também proliferam grande quantidade de pequenos peixes e diversas espécies de insetos. As macrófitas crescem mais intensamente junto ao aterro de cinzas (margem leste) e ao Capão da Roça, onde a lagoa forma uma área de banhado (margem norte). A vegetação coletada na lagoa totalizou 7 famílias, 8 gêneros e 10 espécies, sendo que a onagrácea *Ludwigia sp* e a ciperácea *Eleocharis sp*. Se encontram abundantemente distribuídas por toda a lagoa, formando a onagrácea uma densa vegetação de superfície e a ciperácea uma compacta vegetação de fundo.

A análise da vegetação do campo banhado localizado na margem do canal de drenagem, na área teste, apresentou 42 espécies agrupadas em 16 famílias e 33 gêneros,

destacando-se a família *Gramineae*, com 6 gêneros e 10 espécies. A gramínea *Paspalum pumilum* Nees, testada com bioindicador neste trabalho, apresenta cobertura significativa nesta área, principalmente próximo ao canal de drenagem.

A tabela 1 apresenta os parâmetros físico-químicos, macronutrientes, enxofre total e metais pesados Cr, Pb, Mn, Fé determinados para as amostras dos nove pontos de coleta de águas, tanto no inverno como no verão.

**Tabela 1**

Parâmetros físicos, químicos, macronutrientes (N, P, K) e metais pesados (Cr, Pb, Mn e Fé) determinados para as amostras dos nove pontos de coleta de águas (verão e inverno)

Parâmetros analisados	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9
Temperatura verão (°C)	23,5	24,7	23,9	24,0	23,1	23,1	23,5	25,0	25,0
Temperatura inverno (°C)	19,1	17,5	17,1	17,0	17,0	17,3	18,1	23,1	16,0
pH verão	2,40	2,12	2,02	2,22	5,30	3,71	4,90	6,01	6,40
pH inverno	2,02	2,25	2,24	2,68	5,62	3,12	3,21	5,27	6,32
Parâmetros analisados	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7	Ponto 8	Ponto 9
Condutividade (mS/20°C) verão	1,72	4,31	3,71	1,96	0,06	0,28	0,31	0,20	0,34
Condutividade (mS/20°C) inverno	2,40	3,60	4,25	2,22	0,04	0,23	0,32	0,11	0,15
Mat. orgânica (ppmO <sub>2,rem</sub> ) verão	108,0	120,0	120,0	134,8	129,0	133,0	137,6	144,0	144,0
Mat. orgânica (ppmO <sub>2,rem</sub> ) inverno	105,2	109,0	109,8	132,7	117,6	129,3	131,4	143,3	139,0
DO <sub>2</sub> (mg/l) verão	3,1	3,0	4,3	2,0	2,5	2,7	2,8	3,7	3,0
DO <sub>2</sub> (mg/l) inverno	3,0	3,2	4,0	1,7	2,0	2,5	2,8	3,2	3,3
% O <sub>2</sub> verão	37	31	52	25	30	32	31	43	30
% O <sub>2</sub> inverno	32	33	41	18	21	26	30	37	33
K total (mg/l) verão	7,72	7,63	6,63	18,10	2,97	2,86	3,61	3,20	6,01
K total (mg/l) inverno	5,72	9,44	3,63	8,54	1,38	2,38	2,62	3,19	4,33
N total (mg/l) verão	11,47	6,87	7,53	29,48	13,10	5,24	6,55	0,00	5,89
N total (mg/l) inverno	6,74	5,32	5,73	12,10	8,45	5,18	2,62	2,62	5,24
P total (mg/l) verão	125,08	47,17	1,63	276,32	52,55	0,00	4,71	0,00	97,23
P total (mg/l) inverno	88,84	21,69	0,08	15,13	0,00	0,00	10,89	0,00	0,00
Cr total (mg/l) verão	0,05	0,05	0,02	0,03	0,006	0,008	0,006	0,03	0,03
Cr total (mg/l) inverno	0,15	0,04	0,02	0,01	0,007	0,007	0,008	0,03	0,03
Pb total (mg/l) verão	0,007	0,007	0,009	0,01	0,009	0,008	0,01	0,05	0,01
Pb total (mg/l) inverno	0,05	0,05	0,01	0,009	0,006	0,006	0,007	0,01	0,09
Mn total (mg/l) verão	1,34	2,28	3,32	1,46	0,08	0,11	0,18	0,03	0,61
Mn total (mg/l) inverno	2,31	2,28	3,70	1,85	0,02	0,25	0,23	0,09	0,30
Fé total (mg/l) verão	3,42	14,63	14,56	13,77	1,89	1,39	5,39	1,77	6,48
Fé total (mg/l) inverno	14,98	15,04	14,73	14,15	1,56	7,94	7,30	0,81	10,60

**Pto. 1:** início do canal

**Pto. 2:** canal, área de trabalho

**Pto. 3:** canal após aterro

**Pto. 4:** canal após COHAB

**Pto. 5:** arroio P. do Leão

**Pto. 6:** arroio/campo banhado

**Pto. 7:** arroio após P. da Cruz

**Pto. 8:** Rio Jacuí jus. P. do Leão

**Pto. 9:** lagoa sobre o aterro

O pH do canal de drenagem apresentou valores muito baixos, em média 2,19 no verão e 2,29 no inverno. Isto se deve à dissociação do ácido sulfúrico proveniente da oxidação da pirita presente no aterro, sendo este material trazido ao canal pela água da chuva acidificada pelo rejeito, juntamente com diversos íons solubilizados, entre os quais, íons de metais pesados. O arroio que apresenta pH bem mais elevado antes de receber as águas do canal de drenagem (5,30 no verão e 5,62 no inverno), tem uma queda brusca neste parâmetro passando a 3,71 no verão e 3,12 no inverno. Com a passagem do arroio em área de banhado, com densa vegetação formada principalmente por gramíneas e maricazal que fazem efeito de um filtro, o pH vai aumentando gradativamente até se igualar ao do rio Jacuí, onde desemboca (ver fig. 1).

Entretanto, o pH que mais chamou atenção é o da pequena lagoa sobre a área de aterro, que fica praticamente estável durante o ano, em torno de 6,40, apesar de estar parcialmente sobre o rejeito de carvão e de receber as águas pluviais acidificadas pelo mesmo. O pH fortemente ácido destas águas é neutralizado pelas águas pluviais provenientes de uma área aterrada com cinzas de carvão da termelétrica de Charqueadas, localizada na outra margem. Pelas normas brasileiras de classificação das águas interiores, o pH destas águas deve estar entre cinco e dez; os pontos de coleta 1, 2, 3, 4, 6, e 7 ficaram abaixo destes limites. Os efeitos letais para os organismos aparece quando o pH fica maior que 5,5 ou menor que 9,5 (Wetzel e Likens, 1990), ainda que alguns organismos apresentem tolerância restrita em pH extremos. Em microscopia realizada nas amostras de água, foi constatada a ausência total de plâncton nas amostras 1,2 e 3, sendo observadas apenas grande número de mistelas coloidais de hidróxido de ferro. O ponto 4 evidenciou os efeitos letais de um pH tão baixo, pois todos os microorganismos provenientes do esgoto da COHAB, localizado um pouco acima, não mais apresentavam movimento. Os demais pontos apresentaram presença de microorganismos, sendo que o ponto 9, da pequena lagoa sobre o aterro, com pH mais elevado (6,40), apresentou maior diversidade e quantidade de organismos. As mistelas de hidróxido de ferro, presentes em grande quantidade no canal, vão diminuindo gradativamente nos demais pontos, sendo que no rio Jacuí (ponto 8), estão praticamente ausentes.

A percentagem de oxigênio dissolvido foi bastante baixa em todos os pontos, atingindo um valor mínimo de 25% no ponto 4, canal de drenagem após o recebimento do esgoto da COHAB. A condutividade elétrica, determinada pela concentração de eletrólitos na água, apresentou valores bastante elevados em alguns pontos, predominantemente no verão, o que se deve provavelmente à redução do volume de líquido nesta época, aumentando a concentração de sais dissolvidos.

A dureza total das águas do canal de drenagem é bastante elevada, atingindo o valor de 290mg/l  $\text{CaCO}_3$ , decrescendo aceleradamente até o rio Jacuí (28mg/l). No inverno os valores de dureza total forma inferiores aos de verão, em todos os pontos.

A matéria orgânica no canal de drenagem apresentou valores muito baixos, aumentando gradativamente sua concentração, até chegar ao rio Jacuí, com um pico no ponto 4, devido à adição de esgoto da COHAB. Esta matéria orgânica engloba todos os compostos orgânicos dissolvidos, grandes agregados de partículas de matéria orgânica e formas microscópicas de material vivo e morto.

Como a maioria dos compostos que formam as estruturas celulares nos organis-



mos vivos têm nitrogênio e fósforo, também foram analisados os macronutrientes em águas, pois se a disponibilidade for menor que a demanda biológica, os recursos ambientais podem regular ou limitar a produção de organismos em ecossistemas aquáticos (Wetzel e Likens, 1990). A quantidade total destas substâncias por litro varia naturalmente de acordo com as características geológicas e a topografia da bacia hidrográfica do curso d'água.

As concentrações de potássio, tanto no inverno como no verão, foram sensivelmente maiores na água do canal, em todos os pontos de coleta, e na pequena lagoa, em relação à concentração deste elemento no rio Jacuí (a relação é de 2 a 3:1). O Arroio Passo do Leão, antes de receber a água do canal, tem concentração de K mais baixa que a do rio. Foi observado um pico na concentração deste elemento no ponto 4 (canal com águas do esgoto da COHAB). As quantidades de potássio em águas naturais não poluídas é em geral muito pequena, segundo alguns estudos, entre 0,25 e 2,39mg/l (Kleerekoper, 1990). Comparadas com estes valores, as concentrações de K da maioria das amostras analisadas ficou bem acima.

Os valores de nitrogênio total foram bem diversificados em todas as estações do ano e sempre, em todos os pontos, superiores aos valores de N total encontrados no rio Jacuí. Os valores de fósforo total também foram bem diversificados, sendo os pontos 1 e 4 os de maiores concentrações. Nos pontos 6 e 8 os valores de P total foram iguais a zero, não detectáveis pelo método. Apesar da importância bioquímica destes elementos, o fósforo é encontrado em quantidades muito pequenas, tanto na forma solúvel como na insolúvel em águas não poluídas; no caso do nitrogênio, a maior parte deste em águas esta sob a forma de gás nitrogênio (inerte), não diretamente aproveitável por organismos aquáticos (Kleerekoper, 1990).

Existe uma correlação negativa entre as quantidades de fósforo e cálcio na forma de carbonatos nas águas naturais; plantas aquáticas transformam, pela fotossíntese, bicarbonatos em carbonatos, o que pode explicar a baixa concentração de fósforo nas águas naturais.

Foram também realizadas análises de metais pesados totais em águas, para ferro, chumbo, cromo e manganês estão dentro das faixas de normalidade consideradas por diversos autores, mas a concentração de ferro fica bem acima dos valores indicados como máximos por estes mesmos autores. Observamos também, de modo geral, concentrações maiores durante o inverno. A concentração do ferro no canal de drenagem foi cerca de 8 vezes maior do que a concentração do rio Jacuí, durante o verão. No inverno esta diferença aumentou para 18 vezes. Apesar desta diferença, a concentração do ferro vai diminuindo gradativamente no percurso das águas, até chegar ao rio, mesmo assim ainda chega numa concentração com no mínimo 3 vezes maior do que a do rio.

A concentração do cromo foi 3 vezes maior que a do rio apenas no inverno, no ponto 1; no ponto 1 e 2, durante o verão, estas concentrações foram apenas um pouco maiores que as do rio. Nos demais pontos, as concentrações de cromo ficaram sempre abaixo das do rio. Para o chumbo, as amostras de inverno dos pontos 1, 2 e 9 apresentaram concentrações de 5 a 9 vezes maiores que as do rio. O manganês, no canal de drenagem, apresentou concentrações que chegaram a ser 100 vezes maiores que as do rio durante o verão, e 40 vezes maiores no inverno. Estas concentrações foram maiores que as do rio em todas as amostras, inclusive no ponto 7 antes do

arroio lançar suas águas no rio (ponto 8), onde a concentração ainda é 6 vezes maior no verão e 3,5 vezes maior no inverno.

Na tabela 2, encontramos os valores médios de enxofre,  $S(SO_4^{2-})$ , macronutrientes e metais pesados das análises efetuadas em sedimentos. Foram analisados apenas os sedimentos dos pontos 1, 2, 3 e 9, diretamente sujeitos a influência da área de aterro, do ponto 6, onde o arroio Passo do Leão passa por um “filtro biológico” formado por um banhado e maricazai, antes de chegar ao rio, e o ponto 8, rio Jacuí.

**Tabela 2**  
VALORES MÉDIOS DE ENXOFRE ( $S/SO_4^{2-}$ ), MACRONUTRIENTES E METAIS PESADOS DAS ANÁLISES EFETUADAS EM SEDIMENTOS (VERÃO E INVERNO)

Parâmetros analisados	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 6	Ponto 8	Ponto 9
S/ $SO_4^{2-}$ (mg/kg) verão	321,4	535,7	2 946,4	142,8	64,3	107,1
S/ $SO_4^{2-}$ (mg/kg) inverno	27.821,4	21 924,2	3 150,0	71,4	66,1	121,4
K total (mg/kg) verão	1.240	2.360	1.530	3.687	4.830	2.860
K total (mg/kg) inverno	712	473	870	1.220	3.240	2.150
N total (mg/kg) verão	1.197,00	946,54	759,63	2.216,66	1.950,44	2.821,98
N total (mg/kg) inverno	3 286,10	1 348,03	1.208,74	6 421,77	1.919,97	3 610,06
P total (mg/kg) verão	2,0	2,0	2,0	20,0	14,0	14,0
P total (mg/kg) inverno	3,0	2,0	2,0	10,0	10,0	4,0
Cr total (mg/kg) verão	22,7	26,3	10,5	22,7	7,36	27,8
Cr total (mg/kg) inverno	30,3	10,2	15,2	23,1	22,0	24,7
Pb total (mg/kg) verão	9,82	22,5	6,0	15,5	6,85	17,1
Pb total (mg/kg) inverno	11,3	4,0	11,6	14,2	12,7	19,1
Mn total (mg/kg) verão	34,6	33,3	14,7	66,3	36,8	31,0
Mn total (mg/kg) inverno	46,3	25,6	37,3	78,8	54,3	41,3
Fe total (mg/kg) verão	1.368	1.462	1.490	1.364	1.212	1.431
Fe total (mg/kg) inverno	1.418	1.492	1.530	1.401	1.355	1.374

**Pto. 1:** início do canal

**Pto. 2:** canal, área de trabalho

**Pto. 3:** canal após aterro

**Pto. 6:** arroio/campo banhado

**Pto. 8:** Rio Jacuí

**Pto. 9:** lagoa sobre o aterro

O aspecto dos sedimentos nos pontos 1, 2 e 3 é de um lodo ferruginoso, devido a grande concentração de hidróxido de ferro depositado no fundo do canal de drenagem nestes pontos; no ponto 6 o sedimento se apresenta como um lodo negro, de cheiro forte e penetrante, carregado de material orgânico em decomposição, típico do banhado; o ponto 8, rio Jacuí, tem sedimento arenosos típico deste rio e a lagoa, ponto 9, apresenta sedimento de coloração escura, bastante compacto.

Nos sedimentos, as concentrações de potássio foram inferiores as do rio em todos os pontos, sendo que as concentrações mais baixas foram encontradas no sedimento do canal, na área de aterro. No ponto 6 pode ser observado um considerável aumento na concentração de potássio. O nitrogênio teve maiores concentrações nos pontos

6 e 9, arroio no campo banhado e lagoa sobre aterro, respectivamente. As concentrações de fósforo total no canal de drenagem foram em geral menores que as do rio; no ponto 6 esta concentração chegou a ser bem maior que a do rio, e na lagoa sobre o aterro, praticamente igual.

Em relação ao enxofre, as concentrações deste elemento no canal de drenagem na área de aterro apresentaram concentrações que chegaram a ser 300 a 400 vezes maiores que as do rio, diminuindo rapidamente no ponto 6, arroio em área de banhado; na pequena lagoa, a concentração chega ao dobro do rio.

Para os metais pesados analisados, observamos em geral um aumento na concentração destes elementos no ponto 6, quando comparamos os valores com os do ponto 3, evidenciando a retenção destes elementos na área de banhado. Observamos também maiores concentrações de chumbo e cromo no sedimento da lagoa sobre o aterro.

Comparando as concentrações dos metais pesados nos sedimentos com os valores considerados normais por diversos autores, observamos que, a concentração do manganês esta dentro da faixa de normalidade, enquanto que os valores de cromo ficaram acima desta faixa em todos os pontos, inclusive no rio durante o inverno; o chumbo apresentou valores altos nos pontos 2 e 9. Se porém compararmos estes valores com os de Forstner e Wittmann (1983), todos os valores, inclusive os de ferro estão dentro da faixa de normalidade considerada por estes autores.

A tabela 3 apresenta os valores médios de pH, enxofre, macronutrientes e metais pesados determinados para o substrato em cada área amostral, isto é, para as diferentes manchas de vegetação e áreas sem vegetação. Como controle para o substrato, foi selecionada a área com mata nativa denominada Capão da Roça, não afetada pelo rejeito, com solo avermelhado e de aspecto argiloso. O pH médio desta área varia de 4,42 no verão e 5,38 no inverno. O pH em todas as áreas foi mais baixo (mais ácido) no verão. O pH da área de campo banhado localizado na borda do canal de drenagem é apenas um pouco mais baixo que o do controle, porém nas outras áreas o pH foi sempre bem mais baixo que este, com exceção do campo revegetado pela COPELMI, que sofreu adição de calcário e solo argiloso, apresentando por isto um pH mais elevado que o controle.

**Tabela 3**  
VALORES MÉDIOS DE PH, ENXOFRE, MACRONUTRIENTES  
E METAIS PESADOS DETERMINADOS PARA O SUBSTRATO  
EM CADA ÁREA AMOSTRAL (VERÃO E INVERNO)

Parâmetros analisados	Controle	Eucaliptal	Aterro Carvão	Acácia	Campo Reveget.	Declive Carvão	Campo Banhado
pH verão	4,42	2,78	2,49	3,25	5,10	2,76	4,10
pH inverno	5,38	3,66	2,77	4,12	5,65	3,05	5,12
Sulfato (mg/kg) verão	37,5	267,9	114,3	105,4	85,7	160,7	133,9
Sulfato (mg/kg) inverno	30,4	125,0	151,8	85,7	96,4	169,8	76,8
K total (mg/kg) verão	965	870	640	580	780	410	580
K total (mg/kg) inverno	990	910	610	420	640	400	630

(continuação da tabela 3)

Parâmetros analisados	Controle	Eucaliptal	Aterro Carvão	Acácia	Campo Reveget.	Declive Carvão	Campo Banhado
N total (mg/kg) verão	5.585,70	5.544,17	2.755,12	1.637,48	1.006,92	2.114,77	629,05
N total (mg/kg) inverno	1.979,40	2.320,89	1.749,89	1.540,21	1094,86	1.748,59	635,65
P total (mg/kg) verão	6,0	3,0	6,0	4,0	29,0	3,0	6,0
P total (mg/kg) inverno	9,0	2,0	2,0	5,0	38,0	1,0	4,0
Cr total (mg/kg) verão	15,4	18,3	23,6	22,9	13,7	23,6	13,4
Cr total (mg/kg) inverno	11,8	19,0	26,7	24,0	23,7	27,2	12,0
Pb total (mg/kg) verão	10,2	11,1	12,6	12,3	14,4	17,4	8,33
Pb total (mg/kg) inverno	8,34	10,9	16,0	16,0	14,2	15,6	8,24
Mn total (mg/kg) verão	168,0	34,7	23,7	24,4	87,1	24,8	44,3
Mn total (mg/kg) inverno	194,3	34,8	23,9	23,9	90,8	19,4	49,8
Fe total (mg/kg) verão	1.343	1.323	1.194	1.212	1.326	1.357	1.357
Fe total (mg/kg) inverno	1.201	1.340	1.381	1.295	1.340	1.412	1.317

\* *Controle*: área não contaminada, Capão da Roça

O enxofre,  $S(SO_4^{-2})$ , também foi analisado para o substrato, sendo que todas as áreas analisadas apresentaram concentrações muito superiores ao controle, que apresentou concentrações entre 30 e 40 ppm. As áreas mais contaminadas foram o eucaliptal adjacente à área de aterro, cujo solo tem aspecto semelhante ao da área controle, porém bastante alterado com resíduos de carvão, e a área do declive do aterro. A oxidação do enxofre é ocasionada principalmente por certos tipos de bactérias, sendo que os sulfatos resultantes são a fonte da maioria do enxofre captado pelos vegetais superiores.

Comparando os resultados destas análises com o trabalho de Pulford e Duncan, 1975, que classifica os rejeitos de carvão em: recentes (pH alto, sulfato baixo), jovem (pH médio, sulfato baixo), material ácido (pH baixo, sulfato alto), material oxidado (pH médio, sulfato alto) e material velho (pH alto, sulfato alto), onde o pH alto caracteriza um rejeito menos ácido e pH baixo, um rejeito mais ácido, podemos enquadrar a área de aterro com rejeito de carvão no Capão da Roça, como material ácido, pois seu pH é baixo, de 2,50 a 3,00, e a concentração de sulfato é alta, de 3 a 6 vezes maior que a área não contaminada.

Para os macronutrientes, as concentrações de potássio foram sempre inferiores ao controle, sendo que o eucaliptal apresentou concentrações próximas a esta e a área que apresentou as menores concentrações foi o declive do aterro de carvão. Segundo Brady, 1975, as concentrações de potássio em solos de regiões úmidas ficam em torno de 1,70%; comparadas com este valor, todas as amostras analisadas ficaram abaixo do mesmo.

E relação ao controle, todas as concentrações de nitrogênio total foram inferiores à desta área, fazendo exceção o eucaliptal, que apresentou uma concentração maior no inverno e próxima a do controle no verão. O campo banhado apresentou as menores concentrações, apesar de apresentar solo escuro e úmido, com elevada quantidade de matéria orgânica em decomposição. Brady indica como valor de nitrogênio normal para solos de região úmida, o valor de 0,15%; comparados com este, todos os valores analisados ficaram abaixo.

Também para o fósforo total as concentrações de todas as áreas, com exceção do campo revegetado que sofreu a adição de insumos, ficaram abaixo da concentração da área controle, e todos os valores se situaram bem abaixo do valor apresentado por Brady como representativo para solos de regiões úmidas (0,04%).

Verificando o trabalho realizado por diversos autores (Malyuga, 1964; Kovalkij, 1974; Brooks, 1983, entre outros). Constatamos uma variedade de faixas consideradas normais para a concentração de metais pesados no solo: 150, 180, 200 ou de 5 a 1000 ppm para o cromo, 10 ou de 2 a 200 para o chumbo, 850 ou de 400 a 3000 para o manganês e até 25000 ou até 38000 para o ferro. Se nos restringirmos a estes valores, todas as amostras analisadas ficaram dentro destas faixas. Mesmo considerando as faixas mais severas, ainda assim o cromo, o ferro e o manganês estão abaixo destes valores: apenas o chumbo, na maior parte das áreas estudadas, está acima destas concentrações.

Porém se compararmos as concentrações de metais pesados das amostras com a área controle, está isenta de contaminação e é representativa da região, observamos um aumento da concentração do ferro, cromo e chumbo em todas as áreas analisadas, apenas o campo banhado apresenta concentrações semelhantes ou um pouco mais baixas: O manganês apresenta uma concentração de 7 a 9 vezes menores outras áreas em relação à área controle.

Na maioria dos solos, as concentrações de metais pesados nos seus vários horizontes estão longe de ser constantes: estas concentrações e distribuições são influenciadas pela rocha mãe e diversos outros fatores importantes, como o clima, a mobilidade relativa dos elementos, composição dos solos, bactérias e algumas plantas que produzem substâncias que atacam os minerais, liberando íons metálicos.

Para as amostras de vegetais coletados foram realizadas de macronutrientes, enxofre e dos metais pesados ferro, cromo, chumbo e manganês (tabela 4). As análises foram realizadas tanto nas espécies coletadas com vistas à bioindicação como em outras espécies, para estabelecer comparação entre as mesmas.

**Tabela 4**  
VALORES MEDIOS DO ENXOFRE (SULFATO), MACRONUTRIENTES  
E METAIS PESADOS, DETERMINADOS PARA AS AMOSTRAS  
DE VEGETAÇÃO EM CADA ÁREA AMOSTRAL (VERÃO E INVERNO)

Parâmetros analisados	Macrófita aquática	Campo Banhado	Controle	Campo Reveget.	Acácia	Eucalipto
Sulfato (mg/kg) verão	0,22	0,82	0,36	0,71	0,24	0,29
Sulfato (mg/kg) inverno	0,33	0,29	0,31	0,86	0,25	0,33
K total (mg/kg) verão	7.900	8.540	15.810	6.800	10.500	3.240
K total (mg/kg) inverno	7.510	8.360	14.240	6.540	10.360	3.240
N total (mg/kg) verão	6.280,00	3.651,35	16.729,68	7.730,99	10.856,69	14.730,67
N total (mg/kg) inverno	16.272,05	9.753,22	11.787,57	9.858,96	26.781,60	12.480,50
P total (mg/kg) verão	900	600	1.100	2.100	2.000	800
P total (mg/kg) inverno	1.200	800	800	1.900	1.900	700
Cr total (mg/kg) verão	6,96	1,35	2,52	2,53	1,81	1,07
Cr total (mg/kg) inverno	1,70	2,30	3,16	1,35	3,44	1,20
Pb total (mg/kg) verão	4,80	0,90	0,35	0,71	0,70	0,46
Pb total (mg/kg) inverno	0,60	0,29	1,17	0,40	0,69	0,29
Mn total (mg/kg) verão	3.055,0	90,3	286,5	214,8	26,1	1.586,0
Mn total (mg/kg) inverno	1.068,0	133,6	274,6	30,8	32,8	2.156,0
Fe total (mg/kg) verão	6.889,0	1.200,0	760,0	830,3	393,1	67,5
Fe total (mg/kg) inverno	1.108,0	567,4	561,0	562,6	511,8	141,7

**Macrófita aquática:** onagrácea *Ludwigia sp.*

**Campo banhado, Campo Revegetado e área Controle (Capão da Roça):** gramínea *Paspalum pumilium* Nees

A gramínea *Paspalum pumilium* Nees foi selecionada por aparecer tanto na área controle como no campo banhado localizado no bordo do canal de drenagem e também no campo revegetado sob a área do aterro. Também foram analisadas amostras de acácias, do eucalipto e da macrófita aquática *Ludwigia sp.*. Todas as amostras foram lavadas abundantemente com água corrente e ultra som, para eliminar partículas de poeira ou provenientes do solo; após isto passaram por secagem em estufa a 60°C, sendo então trituradas (raízes, folhas e caules ou talos), formando uma única amostra para cada mancha de vegetação.

As concentrações de potássio foram mais altas no verão, quando o solo apresentava pH mais ácido, sendo que a área controle apresentou a maior concentração deste elemento na gramínea. Apesar da maior concentração do potássio no substrato do campo revegetado (de pH mais elevado), na vegetação a concentração foi maior no campo banhado.

As acácias, apesar da menor concentração de potássio do solo, apresentaram maior concentração do que os eucaliptos. A macrófita aquática apresentou uma concentração de potássio bastante elevada, o que ocorre também com o sedimento da lagoa.

Em relação ao nitrogênio total, para as gramíneas, a maior concentração ocorreu na área controle e a menor concentração ocorreu no campo banhado. As acácias e a macrófita apresentaram um aumento na concentração de nitrogênio no inverno em proporção inversa ao substrato.

Para o fósforo total as maiores concentrações foram observadas no *Paspalum pumilium* Nees coletado no campo revegetado que recebeu adubação. A *Ludwigia* sp. apresentou maiores concentrações no inverno, quando a concentração era menor no sedimento. As acácias acumularam uma quantidade de fósforo bem mais elevada que os eucaliptos.

As maiores concentrações de enxofre na forma de sulfato ocorreram na gramínea, no campo revegetado; as demais amostras apresentaram concentrações semelhantes ao controle ou até menores.

O acúmulo de metais pesados ocorre em maior concentração em órgãos específicos das plantas; gramíneas e também algumas plantas superiores costumam concentrar metais pesados nas raízes (Zocche, 1989; Zanardi, 1991; Kabata Pendias e Pendias, 1986), há no entanto conflito de evidências na determinação do órgão que contém as mais altas concentrações de elementos traçam, que também sofrem interferência de outros fatores, como idade do órgão da planta, saúde da planta, profundidade da raiz no solo, pH do solo, e outros. Neste trabalho, as concentrações de metais pesados foram determinados em amostras obtidas pela homogeneização de diversos órgãos dos vegetais, com finalidade de comparar estas concentrações por área amostral e por espécies estudadas, e não a concentração em cada órgão.

Comparando as espécies analisadas, podemos observar um comportamento distinto entre as mesmas. A macrófita aquática *Ludwigia* sp. foi, durante o verão, a espécie que mostrou maior acúmulo de metais pesados, mas todas estas concentrações tiveram um grande decréscimo no inverno. A acácia e o eucalipto mostraram maiores concentrações de metais pesados no inverno (exceto o chumbo, no eucalipto), mas se compararmos estas duas espécies entre si, observamos diferentes tendências nestas acumulações; enquanto o eucalipto acumulou grandes quantidades de manganês, a acácia apresentou maior concentração de outros metais, especialmente ferro. A gramínea *Paspalum pumilium*, coletada nas três áreas (controle, campo banhado e campo revegetado), apresentou comportamento diverso em cada uma delas; observamos maior acúmulo de chumbo, cromo e manganês nas amostras da área controle, principalmente durante o inverno. O ferro teve, durante este período, concentrações semelhantes nas amostras de gramínea das três áreas, porém no verão, esta concentração foi bem maior nas amostras do campo banhado e do campo revegetado, onde o solo é mais ácido.

Com exceção do chumbo que, durante o inverno apresentou maiores concentrações na gramínea, as demais espécies concentraram menos metais pesados que a onagrícea *Ludwigia* sp.. As gramíneas acumularam mais metais pesados que as acácias e os eucaliptos, sendo exceções o manganês, que teve maiores concentrações no eucalipto, e o cromo, que teve maior concentração nas acácias durante o inverno.

Fazendo a relação entre as concentrações de metais pesados totais nas plantas e as concentrações destes mesmos metais nos substratos ou sedimentos respectivos, podemos observar melhor a tendência de cada espécie vegetal estudada no que se refere à absorção e acúmulo de cada tipo de metal em seus tecidos.

Nenhuma das espécies selecionadas é bioindicadora ideal para o chumbo e o cromo, pois não houve correlação positiva entre as quantidades destes metais acumuladas nas plantas e as quantidades dos mesmos no substrato ou sedimento, mas a *Ludwigia*

*sp.* tem maior tendência para acumular estes dois metais que as outras espécies. Esta mesma espécie parece ser boa indicadora para o ferro, que está presente em grandes concentrações no tecido da planta, principalmente nas amostras de verão; no inverno, estas concentrações diminuem significativamente.

Para o manganês podemos considerar como prováveis bioindicadoras: *Eucalyptus sp.*, espécie que acumulou elevadas concentrações deste metal em todas as épocas amostrais; segue-se a onagrácea *Ludwigia sp.* e, com menores concentrações, a gramínea *Paspalum pumilum* Nees. A acácia (*Acacia nersii* Wild) foi a única das espécies estudadas em que não se evidenciou a bioindicação para nenhum dos metais pesados analisados.

## DISCUSSÃO

A absorção de macronutrientes (N, P, K) pelas plantas, nas áreas analisadas, não ocorreu de maneira proporcional às concentrações dos mesmos no substrato. No substrato, estas concentrações decresceram na ordem: Área controle>Eucaliptal, Campo revegetado>Campo banhado>Acácias, enquanto que na vegetação, a ordem foi: Área controle, Acácias>Campo revegetado>Campo banhado>Eucaliptal. Estas inversões na ordem das concentrações de N, P, K no substrato e na vegetação devem estar relacionadas às concentrações de sulfato nas amostras de substrato e com o pH das mesmas.

As concentrações de sulfato crescem na ordem: Área de controle<Campo revegetado<Acácias<Campo banhado<Eucaliptal, enquanto o aumento de acidez, avaliado pelo decréscimo de pH, ocorre na ordem: Campo revegetado>Área controle>Campo banhado>Acácias>Eucaliptal.

Relacionando as concentrações dos macronutrientes, sulfato e pH do substrato, com as dos macronutrientes encontrados na vegetação, se pode observar que no eucaliptal, onde as condições de sulfato e pH são as mais adversas, mesmo com as maiores concentrações de N, P, K no substrato, as mesmas são as menores na vegetação. As gramíneas apresentaram, em todas as amostras, quantidades de nutrientes nas plantas proporcionais às quantidades dos mesmos no substrato e às condições de pH e sulfato. As acácias apresentam concentrações de nutrientes acentuadas, ainda que estas concentrações, o pH e o sulfato no substrato tenham sido favoráveis. Não podemos no entanto atribuir as diferenças nestas concentrações apenas às condições do substrato, pois se tratam de três espécies vegetais diferentes, com capacidades de acumulação de nutrientes diversas.

A área de controle foi a que apresentou as menores concentrações de metais pesados, com exceção do manganês foi menor enquanto que as concentrações dos outros metais foram maiores, sendo que a área mais contaminada por ferro, chumbo e cromo foi a área do declive do rejeito de carvão; esta área é a que apresentou as menores concentrações de manganês no substrato.

Sobrepondo os gradientes estabelecidos pelas análises para macronutrientes, pH, sulfato e metais pesados totais, podemos verificar que a área com melhores condições ambientais, é a área de controle, a pequena mata nativa denominada Capão da Roça. Esta área apresenta maiores concentrações de macronutrientes, melhores condições de pH e sulfato, e as mais baixas concentrações de metais pesados.



Dentre todas as áreas analisadas, a que apresentou as piores condições ambientais (menos nutrientes, piores condições de pH e sulfato, e a mais elevada concentração de metais pesados) foi a área de maior declive do aterro com rejeito de carvão, junto com o canal de drenagem da COPELMI. Das áreas vegetadas, as condições mais adversas foram encontradas no eucaliptal localizado na extremidade da área teste; nesta área, apesar das condições médias de nutrientes, o pH e sulfato apresenta as piores condições das áreas vegetadas e também as maiores concentrações de metais pesados.

Para estabelecer os gradientes de contaminação dos ambientes aquáticos analisados, o canal de drenagem escavado pela COPELMI, o arroio Passo do Leão e o rio Jacuí, foram considerados os resultados obtidos tanto nas amostras de águas como nas respectivas amostras de sedimento analisadas.

O ponto 8, considerado como controle para as análises de água e sedimento, localizado no rio Jacuí, a jusante do arroio passo do Leão, foi o que apresentou as menores concentrações de macronutrientes, Este parâmetro apresentou concentrações mais significativas no ponto 4, onde o canal de drenagem recebe o esgoto da COHAB. Os pontos 1, 2 e 3, com concentrações elevadas de metais pesados, baixo pH e alto sulfato, apresenta concentrações de macronutrientes mais elevadas que as do arroio Passo do Leão e rio Jacuí.

O ponto que apresentou a menor contaminação por metais pesados, sulfato e menor alteração de pH, foi o ponto 5, arroio Passo do leão antes de receber as águas do canal de drenagem. O ponto mais contaminado, com maiores concentrações de metais pesados e sulfato, pH mais baixo, foi o ponto 2, canal de drenagem dentro da área teste. A qualidade das águas do rio Jacuí, no ponto 8, é mais baixa que a dos pontos 5 (arroio Passo do Leão) e 6 (arroio com as águas do canal em área de campo banhado).

A pequena lagoa sobre a área de aterro apresentou, de um modo geral, concentrações de nutrientes maiores que as do rio e do arroio. A contaminação por metais pesados e sulfato é maior na lagoa, mas o pH é mais alto que destes dois outros corpos d'água. Esta elevação de pH, devido à localização de um antigo aterro com cinzas de carvão em uma de suas margens, associada a uma boa concentração de nutrientes em suas águas e sedimento, permitiu o desenvolvimento de uma biota bem diversificada.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observando o Apêndice 7 e os gradientes de contaminação ambiental das áreas analisadas, podemos verificar que alguns procedimentos evitam danos maiores do ambiente em áreas de depósito de rejeitos de carvão. Ficou evidenciado que o campo banhado, contíguo à área de aterro e ao canal de drenagem, é a área menos contaminada pelo rejeito, quando comparamos os valores obtidos nas análises com os da área controle, apesar de estar separado do declive do aterro apenas pelo canal de drenagem. O sedimento deste canal apresentou elevadas concentrações de metais pesados em relação aos demais pontos analisados e pH próximo a 2. O declive do aterro apresentou as mais altas concentrações de metais pesados e sulfato e o pH mais baixo dentre todas as amostras de substrato analisadas. Apesar desta contiguidade, as concentrações de metais pesa-

dos do campo banhado não diferem muito das encontradas na área controle, sendo que as concentrações de Cr, Pb e Mn ficaram até mesmo abaixo destas.

Nas coletas de inverno, após período de chuvas, as amostras do campo banhado foram coletadas com o campo alagado, com as águas do canal extravasando de seus bordos. Estas amostras apresentaram pH mais baixo e maior concentração de sulfato, decorrentes deste alagamento. Foi também nestas amostras que a gramínea *Paspalum pumiliium* apresentou a mais elevada concentração de ferro. Podemos concluir que, se o canal fosse mais profundo e não extravasasse em períodos chuvosos, as condições ambientais do campo banhado poderiam ser ainda melhores.

O eucaliptal, que recebe as águas lixiviadas do aterro, diretamente, sem a proteção de um canal de drenagem, é a área mais contaminada dentre as áreas vegetadas analisadas.

O campo revegetado e a plantação de acácias da COPELMI sobre a área de aterro, que receberam adição de calcário e argila, apresentam em média melhores condições ambientais que o eucaliptal, apesar de apresentarem desenvolvimento vegetal bastante baixo. Um melhor resultado poderia ser obtido com a utilização de uma camada mais espessa de argila e adição de maiores quantidades de calcário ou cinzas de carvão para neutralizar a acidez do substrato.

Nas análises também foi constatada uma relação inversa entre as concentrações de ferro e manganês: na área controle, sem contaminação aparente, ocorre uma elevada concentração de Mn e baixa concentração de Fe; nas demais áreas, com a diminuição do pH (aumento de acidez), ocorre um aumento nas concentrações de sulfato e metais pesados, principalmente Fe, e a diminuição da concentração de Mn. Esta mesma relação entre as concentrações destes metais pode ser observada na gramínea *Paspalum pumiliium* e, de forma mais moderada, na acácia. O eucalipto teve um comportamento diferente destas, acumulando grandes concentrações de Mn e pouco Fe, independente das concentrações do substrato. Esta relação inversa entre as concentrações destes dois metais é, sem dúvidas, merecedora de maiores estudos.

Nos pontos de coleta de água e sedimento, a grande contaminação do canal de drenagem é diminuída pela passagem no campo banhado, rico em macrófitas aquáticas diversas, após o qual a qualidade das águas e sedimentos fica bastante próxima à do rio Jacuí, utilizado como controle para estas análises. Fica evidente a importância destes ecossistemas como reguladores naturais da contaminação. Após a passagem pelo banhado, apenas as concentrações do Mn e do Fe ainda chegam maiores que as concentrações destes metais no rio.

A lagoa sobre o aterro, cujo pH é semelhante e até mesmo um pouco maior que o do rio, apresentou concentrações de chumbo e cromo semelhantes às deste, mas as concentrações de ferro e manganês foram bem mais elevadas. No sedimento da lagoa porém aconteceu o inverso com as concentrações destes metais em relação às do rio. As amostras da macrófita *Ludwigia* sp. coletadas na lagoa, não se evidenciaram como concentradoras de Cr e Pb, mas apresentaram altas concentrações de Fe e Mn, que mantiveram correlação, não com as concentrações destes metais na água, mas sim com as do sedimento. O sedimento mostrou ser o melhor compartimento a ser relacionado com a absorção de metais pesados por macrófitas aquáticas enraizadas no mesmo.

Um fato que chama a atenção é o de que na lagoa, apesar da grande concentração de metais pesados e do recebimento direto das águas lixiviadas do aterro, ocorre uma neutralização do pH das águas pelo material resultante da lixiviação do depósito de cinzas localizado na margem adjacente. isto permitiu o desenvolvimento de uma biota bastante diversificada, sendo este pequeno ambiente merecedor de estudos mais detalhados, por apresentar possivelmente soluções de manejo de áreas degradadas por contaminantes de características diferentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANAT, K.; FÖRSTNER, V.; MÜLLER, G. Schwermetalle in Sedimenten von Donau, Rhein, Ems, Weser und Elbe im Bereich der Bundesrepublik Deutschland. *Die Naturwissenschaften*, n.59, p.525-528, 1972.
- BRANDY, N.C. *Natureza e propriedade dos solos*. 5.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1979. 647p.
- BROOKS, R. R. *Biological methods of prospecting for minerals*. New York: Wiley Interscience, 1983. 322p.
- BUSTAMANTE, M. M. C. *Biomonitoring of heavy metals using higher plants growing at former mining sites*. Trier, Fachbereich VI, Geographie, Geowissenschaften der Universität Trier. 1993. 197p.
- CAINES, L. A.; WATT, A. W.; WELLS, D. E. The uptake and release of some trace metals by aquatic bryophytes in acidified waters in Scotland. *Environmental Pollution* (Series B), n.10, p.1-18, 1985.
- COLES, D. G.; RAGANI, R. C.; ONDOW, J. M. Chemical studies of stack fly ash from a coal-fired power plant. *American Chemical Society*, v.13, n.4, p.455-459, 1979.
- CORSON, W. H. *Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente*. São Paulo: Augustus. 1993. 413p.
- DAVISON, A.; JEFFERIES, B.J. 1966. Some experiments on the nutrition of plants growing on coal mine waste heaps. *Nature*, n.210, p.649-650.
- FONSECA, O. J. M. *Levantamento da qualidade da água da região de Candiota, RS*. Porto Alegre: UFRGS/CIENTEC/CEEE, 1989. 64 p. Relatório final.
- FRIEDEL, H. *Dicionário de ecologia e do meio ambiente*. Porto: Lello & Irmão, 1987. 273p.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v.2, 420p.
- KIMBER, A. J.; PULFORD, I. D.; DUNCAN, H. J. Chemical variation and vegetation on coal waste tip. *Journal of Applied Ecology*, n.15, p.627-633, 1976.
- KLEERENKOPER, H. *Introdução ao estudo da limnologia*. 2.ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1990. 329p.
- KLIPPEL, F. Mineração do carvão recupera o solo. *Me e P*, n.21, p.21-25, 1982.
- KOVALSKIJ, V. V. M. *Geochemische ökologische Biochemie*. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1977. 352p.
- LAWREY, J. D. The relative decomposition potential of habitats variously affected by surface coal mining. *Can. J. Bot.*, n.55, p.1544-1552, 1976.
- LAWREY, J. D.; RUDOLPH, E. D. Lichen accumulation of some heavy metals from acid surface substrates of coal mine ecosystems in southeastern Ohio. *The Ohio Journal of Science*, v.75, n.3, p.114-117, 1975.
- LEWGOY, F. O carvão sulino como risco ambiental e humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 21. *Anais...*, 1980. p.1-12.

- MACHADO, J. L. F. Estudos geoquímicos e geohidroquímicos relacionados com a poluição hídrica por carvão mineral: considerações e proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1. *Anais...*, Porto Alegre, 1987. p.155-164.
- MALYUGA, D. P. *Biochemical methods of prospecting*. New York: Consultants Bureau. 1964. 205p.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, p.195-263.
- ODUM, E. P. *Fundamentos de ecologia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1971. 927p.
- PEREIRA, D. N. Aspectos da poluição dos estuários por metais pesados. In: SEMINÁRIO SOBRE POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS, 1. Ministério do Interior, Secretaria Especial do Meio Ambiente, Secretaria Adjunta de Ciência e Tecnologia. *Anais...*, 1979. p.65-83.
- PFEIFFER, W.C. Transito do cromo em ecossistemas aquáticos. In: SEMINÁRIO SOBRE POLUIÇÃO POR METAIS PESADOS, 1. Ministério do Interior, Secretaria Especial do Meio Ambiente, Secretaria Adjunta de Ciência e Tecnologia. *Anais...*, 1979. p.29-37.
- PORTO, M. L. *Beiträge zur Schwermetallvegetation von Rio Grande do Sul, Brasilien*. Ulm: Universität Ulm, 1981. 76p.
- PORTO, M. L. *Aerolevanteamento e seus reflexos sobre o desenvolvimento e segurança nacionais*. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 1983. 102p. (Departamento de Estudos: TE-83)
- PORTO, M. L. Vegetação metalófila e o desenvolvimento do setor mineral. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1. *Anais...*, Belém, 1986. v.2, p.167-183.
- PORTO, M. L.; SILVA, M. F. F. Tipos de vegetação metalófila em áreas da Serra dos Carajás e de Minas Gerais, Brasil. *Acta Botanica Bras.*, v.3, n.2, p.13-19, 1989.
- PULFORD, I. D.; DUNCAN, H. J. Predicting the potential acidity in reclaimed coal mine waste. *Surveyour*, n.31, p.36-37, 1975.
- RAW, I.; FREEDMAN, A.; MENNUCCI, L. 1981. *Bioquímica: fundamentos para ciências biomédicas*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981. 755p.
- SANCHES, J. C. D.; PINTAUDE, D. 1983. Arsênio, selênio e mercúrio em carvões sul-rio-grandenses. *Carvão, Informação e Pesquisa*, n.6, p.67-72.
- SCHÄFER, A. E. *A qualidade das águas superficiais na região carbonífera de Santa Catarina*. Porto Alegre: UFRGS/FATMA, 1978. p.199-240. Relatório final.
- TAYLOR, D. Distribution of heavy metals in the sediment of an unpolluted estuarine environment. *The Science of the Total Environment*, n.6, p.259-264, 1976.
- WADGE, A.; HUTTON, M. The leachability and chemical speciation of selected trace elements in fly ash from combustion and refuse incineration. *Environmental Pollution*, n.48, p.85-99, 1987.
- WHITTON, B. A.; SAY, P. J.; JUPP, B. P. Accumulation of zinc, cadmium and lead by the aquatic liverwort *Scapania*. *Environmental Pollution (Series B)*, n.3, p.299-316, 1982.
- WILFRIED, E. *Schwermetallvegetation der Erde*. Stuttgart: Gustav Fischer, 1974. 194p.
- ZANARDI JÚNIOR, V. *Avaliação de lagoas de mineração de carvão a céu aberto, com ênfase nas concentrações de metais pesados em água, planta e substrato*. Porto Alegre, 1990. Dissertação de Mestrado Pós-Graduação em Ecologia/UFRGS. 98p.
- ZOCCHÉ, J. J. *Comunidades vegetais de campo e sua relação com a concentração de metais pesados no solo em áreas de mineração de carvão a céu aberto na Mina do Recreio, Butiá, RS*. Porto Alegre, 1989. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Ecologia/UFRGS. 159 p.