

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.

CONTEÚDO DE ALUMÍNIO E COBRE NA BIOMASSA DE *TYPHA LATIFOLIA* L., NA REGIÃO CARBONÍFERA DE CHARQUEADAS E SÃO JERÔNIMO, RS

Marco Aurélio Locateli Verdade
Maria Teresa Raya Rodriguez
Maria Elaine de Oliveira

INTRODUÇÃO

São muitos os estudos de organismos indicadores de metais pesados em diferentes ambientes, bem como sobre o efeito dos mesmos sobre plantas, principalmente em termos de biomassa, produtividade e desvios morfológicos e fisiológicos (PHILLIPS, 1976; FOSTER, 1976; SEELIGER & EDWARDS, 1977; BURTON e PETERSON, 1979). No Brasil, podemos destacar o trabalho de PFEIFFER e outros (1982, 1986) que estudaram macrófitos aquáticos emergentes e flutuantes como bioindicadores de metais pesados.

O uso de plantas aquáticas para monitorar a poluição de ambientes aquáticos proporciona uma visão integrada de um determinado sistema e a acumulação de metais por plantas fornece uma melhor indicação da quantidade capaz de afetar o ecossistema (WHITTON, 1984). Estes trabalhos podem ajudar na remoção de metais em efluentes industriais e de mineração.

A importância dos macrófitos aquáticos na ciclagem de metais deve-se em grande parte à sua grande produtividade em lagos (REIMER, 1989) e, talvez, à sua capacidade de controlar a toxicidade de alguns elementos nas águas (MAYES *et al.*, 1977).

A aptidão das plantas em colonizar zonas contaminadas por metais pesados é invariavelmente uma consequência da evolução de genótipos tolerantes (ANTONOVICS e outros, 1971). A ocupação de *Typha* em diversos climas, se dá como uma consequência da

evolução dos ecótipos climáticos (Mc NAUGHTON 1966, 1970, 1974). *Typha* é hábil na ocupação de *habitats* industriais degradados dos mais variados tipos. Algumas peculiaridades da fisiologia de *Typha*, em comparação com outras plantas, confere uma resistência geral na tolerância de metais pesados. A analogia com genótipos tolerantes de outros macrófitos (TURNER, 1970) leva a crer que o mecanismo de precipitação do metal na parede celular pode ser um fator geral na fisiologia de *Typha* (Mc NAUGHTON e outros, 1974). A lixiviação de metais pesados em áreas de mineração é causada pela oxidação da pirita sob condições úmidas. Essa oxidação leva a um decréscimo no pH, fazendo com que aumente a solubilidade dos metais pesados. Essa lixiviação não é somente um problema local, mas os metais, tornando-se biodisponíveis, podem poluir as águas de drenagem das minas.

• Áreas de ocorrência de carvão podem ser consideradas ricas em metais pesados. O impacto ambiental causado pela mineração do carvão pode sofrer um aumento expressivo nos próximos anos. Os resultados deste estudo podem fornecer subsídios para o manejo, recuperação e utilização de áreas afetadas.

CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

No Rio Grande do Sul estão localizadas quatorze jazidas e sete ocorrências de carvão mineral. Entre as jazidas, três se destacam como as maiores do País, com mais de onze camadas de carvão: Hulha - Negra - Seival, Sul de Candiota e Candiota, que é a mais importante. As demais jazidas são: São Sepé, Iruí, Leão - Butiá, Arroio dos Ratos, Charqueadas - Guaíba - Santa Rita, Gravataí - Oeste, Gravataí - Leste, Morungava, Chico Lomã, Santa Teresinha e Torres.

O carvão, no Estado, representa uma reserva estimada de 18,826 bilhões de toneladas que constituem 87% dos recursos brasileiros (PROJETO PADCT - CIAMB, 1991).

As jazidas sul-rio-grandenses são constituídas de carvões gondwânicos situados na formação Rio Bonito, Grupo Guatan, Supergrupo Tubarão, Permiano Inferior da Bacia do Paraná. Esses depósitos formaram-se em turfeiras predominantemente subaquáticas, um ambiente que condicionou altos teores de matéria mineral (14 a 24%) que resultam em valores de cinza entre 34 e 68% (PROJETO PADCT - CIAMB, 1991).

Segundo FERREIRA, e outros (1978), o carvão de Charqueadas é do tipo betuminoso, de alto volátil C, não aglomerante, minerado pela Companhia de Pesquisas e Lavras Minerais - COPELMI e quase totalmente utilizado para alimentar usinas termelétricas.

A Depressão Central, onde se situa a área em estudo, possui cerca de 30 a 40 mil Km², representando a menor de todas as regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul. Abrange, praticamente, o curso médio e inferior do Rio Jacuí e de seus afluentes em sua área principal, sendo limitada ao sul pelo talude das serras graníticas, a oeste pelo divisor de águas entre o Jacuí e o Ibicuí, a leste pelo litoral arenoso, em pequenas faixas após acompanhar os rios Gravataí e Sinos, e finalmente ao norte pela Serra Geral (FERNANDES, 1990). A altitude média varia entre 100m a oeste, e pouco mais de 10m junto a Porto Alegre, a sudeste (RAMBO, 1956).

O solo é típico de áreas baixas (planossolo), com textura geralmente argilosa e relevo ondulado, segundo o Ministério da Agricultura. São solos profundos e quimicamente ácidos, podzolizados e seu uso com culturas anuais está relacionado a fertilidade dos mesmos.

O clima apresenta uma temperatura média anual de 19,4°C e uma velocidade geral média dos ventos de 1,5 a 2,0 m/s. Segundo o sistema de classificação de Koeppen predomina a variação climática Cfa (clima subtropical), (MOTA, 1951). Caracteriza-se ainda por um índice de umidade de 0 a 20% e de uma precipitação anual de 800 a 1500 mm (IBGE, 1986).

Ocorre uma predominância de gramíneas, compostas e leguminosas na cobertura vegetal da região, porém a vegetação nativa representa apenas cerca de 2,2% da área total (IBGE, 1977).

MATERIAL E MÉTODO

T. latifolia é uma planta aquática emergente cosmopolita, rizomatosa, herbácea perene, com vegetação reprodutiva acompanhada pela produção de rizomas laterais, os quais terminam em um sistema de folhas e estruturas florais. A unidade do crescimento vegetativo é o ramet; na *Typha*, o ramet consiste do rizoma submerso, associado às raízes e ao caule. Seu caule, pode exceder 2m em altura, e apresentar ou não uma inflorescência apical desenvolvida. Estruturas sexuais consistem de inflorescências masculinas e femininas separadas localizadas terminalmente (DICKERMAN e WETZEL, 1985).

As três populações de *Typha latifolia* envolvidas no presente estudo foram amostradas entre dezembro de 1992 e fevereiro de 1993 em três áreas distintas, abrangendo nos municípios de Charqueadas e São Jerônimo. Os locais de coleta constam na Figura 1. As fotos de 1 a 7 identificam os pontos amostrados:

A e B - em rejeito de área de mineração na estrada lateral a Aços Finos Piratini, em Charqueadas. Nestes pontos, o pH da água de drenagem oscilou entre 5,28 e 5,53. Além da zona de vegetação, a água apresentou um pH entre 2,92 e 3,19;

C e D - em rejeito com deposição de cinzas de cerca de 10 anos de utilização, em área da Usina da CEEE, em São Jerônimo. Nestes pontos, a vegetação encontrava-se encoberta por uma camada de 0,80 m de cinzas;

E e F - em rejeito antigo, na divisa da estrada entre Charqueadas e São Jerônimo. Nestes pontos, a água de drenagem apresentou um pH oscilando entre 2,67 e 3,10, sendo que na zona de vegetação o mesmo variou entre 3,64 e 5,18.

Em cada ponto foram amostrados dois quadrados de 1 m² cada. Os macrófitos, em cada quadrado, eram retirados com raízes, medidas em campo (altura e diâmetro a 10 cm de altura) e transportadas ao laboratório, onde eram seccionadas a cada 20 cm para efeitos da avaliação da biomassa. Folhas, raízes, inflorescência, caule e biomassa morta eram tratados e pesados separadamente.

Em laboratório, as plantas eram secas em estufa a 70°C até peso constante. A repesagem nos informou a biomassa a cada 20 cm de altura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na região carbonífera de Charqueadas e São Jerônimo, a densidade dos estandes das populações de *Typha latifolia* difere muito mais nos habitats amostrados do que a altura do caule. Isto é notoriamente observado na Tabela 1 que nos apresenta os valores de densidade e altura média obtidas nos seis pontos amostrados. As diferenças na densidade e no peso fresco do caule nas áreas amostradas demonstram que, para *Typha*, a biomassa pode estar dependente da densidade. DICKERMANN e WETZEL (1985), no entanto, têm observado uma independência entre tais parâmetros, confrontando com o proposto por ONDOK (1973), que estabelece uma correlação inversa entre produção e densidade de *Typha latifolia*. Através dos dados obtidos no presente estudo, observa-se que a correlação esperada entre produção (kg peso fresco) e densidade (n/m^2) (ONDOK, 1973) não foi constatada (Fig. 2). Causa provável seria a alteração nas condições ambientais na região carbonífera estudada.

Por outro lado, constatou-se uma alta e significativa correlação entre produção (kg peso fresco do caule) e a altura das plantas nos seis pontos estudados ($r=0,98$; $P<0.001$) (Fig. 3).

É conhecido que a taxa de produção de biomassa varia largamente em diferentes genótipos, em um mesmo habitat, e no mesmo genótipo em ambientes diversos (McNAUGHTON, 1974). Em populações de plantas a variação intragenotípica é um reflexo da plasticidade fenotípica dos indivíduos ao seu meio ambiente; a variação intergenotípica reflete a variação genética entre as populações (GRACE & WETZEL, 1981).

Os valores obtidos para biomassa de *Typha latifolia* na região de estudo variaram entre 608 e 2507 g/m^2 (média de 1780 g/m^2). As amostras foram retiradas de estandes uniformes, com quadrados representativos de vegetação com e sem inflorescência, sendo considerados como boa estimativa da produção de cada local.

McNAUGHTON (1966) reporta valores de biomassa variando entre 378 e 1338 g/m^2 para amostras de *Typha latifolia* coletadas na região central dos Estados Unidos. BRAY (1960) menciona valores médios de 1400 g/m^2 para amostras de *T. latifolia* em Minnesota, e BOYD & HESS (1970) reportam valores entre 428 e 2252 g/m^2 (média de 951 g/m^2) para *T. latifolia* ocorrente em áreas da planície de alagamento do rio Missisipi e adjacências. McNAUGHTON (1966) menciona que cerca de 50% ou mais da biomassa total é representada pelas raízes.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para a biomassa dos diferentes órgãos de *T. latifolia* nos pontos amostrados no presente estudo. Observa-se que a menor biomassa encontrada nos órgãos em senescência (biomassa morta) representa aquelas amostras coletadas na área de rejeito com depósito de cinzas de 10 anos de utilização, em São Jerônimo (Tabela 2, C e D).

O desenvolvimento dinâmico e as alterações na estrutura dos estandes de *T. latifolia* durante a estação de crescimento vegetal foram examinadas pelo método utilizado para espécies de banhado, ou seja, através da análise crescente utilizando a técnica estratificada. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para biomassa em 1 m^2 de área amostrada, nos seis pontos de coleta.

Nos estandes de *T. latifolia* a estrutura vertical difere substancialmente das de-

mais helófitas estudadas por outros autores (DYKYJOVÁ, 1973). A estrutura de *T. latifolia* é densa nas áreas amostradas em Charqueadas (Fig. 4, A e B) comparativamente às amostradas na região de rejeito entre Charqueadas e São Jerônimo (Fig. 4, E e F). Em São Jerônimo, os primeiros 80 cm acima da raiz encontravam-se soterrados pelo depósito de cinzas. Entretanto, a relação folhas/caule não sofreu quaisquer perturbações morfológicas, nem tampouco houve um aumento na biomassa morta, o que demonstra claramente que o efeito da umidade do solo pode ser fator preponderante para o início dos processos de decomposição das folhas (Fig. 4, C e D).

ANTONOVICS e outros (1971) comenta que populações de plantas nativas em solos com grande acumulação de metais pesados são debilitadas, e ocorre invariavelmente uma distinção genética daquelas populações da mesma espécie que crescem em solos adjacentes e com baixa concentração de metais pesados. Populações de *T. latifolia* que crescem em solos com altas concentrações de metais pesados são capazes de colonizar essas áreas sem evolução de raças tolerantes (McNAUGHTON *et al.*, 1974), apesar de se saber amplamente ser a mesma diferenciada em vários ecótipos climáticos (McNAUGHTON, 1966; 1970; 1974) e ser capaz de ocupar diversos tipos de ambientes degradados em áreas de mineração (McNAUGHTON e outros, 1974).

As populações de *T. latifolia* estudadas apresentam uma alta produção de biomassa, confirmando o padrão geral de genótipo adaptado aos metais pesados.

As concentrações totais de Cobre e Alumínio biodisponíveis variaram entre 3304 e 6768 ppb para o primeiro, e 2986 e 6072 ppm para Alumínio (Fig. 5). As amostras que apresentaram inflorescência, com desenvolvimento completo dos estandes, foram as que comportaram mais altas concentrações desses elementos (Fig. 5, pontos B, C e E), o que indica que as diferenças devem-se aos diferentes estágios de crescimento. Da mesma forma, nesses mesmos pontos, as concentrações de Alumínio e Cobre na biomassa morta acompanharam o mesmo desenvolvimento. A maior parte do Alumínio e do Cobre concentraram-se no órgão em senescência.

A amplitude de concentrações normalmente encontrada para o Cobre (total) nas plantas é de 2.5-25 microgramas/g-1, enquanto que a concentração de Alumínio geralmente encontrada é de 0.01-0.10% da biomassa (ALLEN, 1989). O nível basal de Alumínio para plantas terrestres é de 90 a 530 ppm (BOWEN, 1979).

De uma maneira geral, no presente estudo, Cobre foi o metal que apresentou maior acumulação nas folhas e na biomassa morta, enquanto que o Alumínio teve maior expressividade na biomassa morta e nas raízes (Fig. 6, Tabelas 3 e 4).

Como esperado, plantas maduras apresentam uma alta acumulação de metais nos órgãos velhos (senescentes). Isto é, em parte, uma estratégia para reduzir a carga de metais pesados e, em parte, a consequência de um contínuo stress ao metal, ao qual a planta não consegue resistir completamente (PUNZ & SIEGHARDT, 1993).

O desenvolvimento dinâmico e as alterações no conteúdo de Cobre e Alumínio disponível na estrutura dos estandes de *T. latifolia* durante a estação de crescimento vegetal foram examinadas através da análise crescente utilizando a técnica estratificada. As Figuras 7 e 8 ilustram os resultados obtidos na área de 1m² amostrada, nos seis pontos de coleta.

Nos estandes de *T. latifolia* a concentração de Cobre (Fig. 7) na estrutura verti-

cal difere substancialmente nos diferentes órgãos, e ao longo do estande, apresentando um efeito piramidal, com exceção aos valores da biomassa morta, cuja acumulação é bem maior em todos os pontos amostrados.

Comparativamente, os valores de Alumínio (Fig. 8) apresentaram drástica redução nas concentrações na estrutura vertical do caule e das folhas, em todos os pontos amostrados. Alta representatividade, no entanto, têm a biomassa morta e as raízes, confirmando a suposta estratégia na redução da carga de metais pesados presentes.

Plantas emergentes de áreas alagadas crescendo em sedimentos anóxicos, como nos pontos A, B, E e F, estão adaptadas a competir em condições anaeróbicas. A oxigenação da rizosfera é considerada essencial para ativar as funções da raiz, e além disso capacitar as plantas em conter ou neutralizar os efeitos de fitotoxinas solúveis, incluindo sulfatos e metais, os quais podem estar presentes em altas concentrações no substrato anóxico (ARMSTRONG, 1971; GAMBRELL and PATRICK, 1978).

A acidificação têm causado alterações consideráveis na vegetação aquática (ROELOFS, 1983; ARTS e LEUVEN, 1988; ARTS, 1990), tendo como consequência o declínio e perda de características das espécies. A planta apresenta níveis de tolerância à acidificação do meio que, após serem extrapolados, interferem na morfologia de determinadas espécies. Algumas espécies podem apresentar uma distribuição de acordo com o pH e a alcalinidade do meio. Muitos estudos têm sido feitos com plantas vasculares terrestres, em particular com espécies importantes para a agricultura, sob o ponto de vista da interação planta substrato. Poucos estudos porém, têm sido feitos com relação à interação planta substrato de espécies vasculares aquáticas (ARTS *et al.*, 1990).

Duas espécies de *Typha*, *T. latifolia* e *T. domingensis* diferem substancialmente quanto ao grau de tolerância a diferentes profundidades da água (GRACE, 1989). Vários estudos têm ilustrado que a profundidade da água tem efeito regulatório na distribuição e abundância de espécies de charcos (KADLEC, 1962; MILLAR, 1973). Em geral, estudos indicam que certas trocas na morfologia, especialmente na altura da folha, são comuns em espécies crescendo em grandes profundidades. De acordo com a profundidade, as diversas espécies podem ter respostas fenotípicas similares. As espécies estudadas por GRACE (1989) mostraram aumento na altura máxima com o aumento de profundidade. A espécie menos tolerantes à profundidade da água (*T. latifolia*) apresentou uma maior biomassa nas folhas. Ao contrário, as espécies de águas profundas (ou mais tolerantes) apresentaram um aumento no tamanho de cada ramo. Ambas as espécies apresentaram um decréscimo na incidência de inflorescência e decréscimo na densidade das raízes com um aumento na profundidade da água.

Alterações no pH do meio e influência ou não de substrato aquoso foram identificadas na região estudada, não se tornando fator limitante à ocorrência de *Typha*, pois a mesma ocorreu independente do pH do meio e igualmente em áreas de estresse, como nos pontos C e D, nas dependências da CEEE em São Jerônimo. Entretanto, fato interessante de ser mencionado é a alteração morfológica observada nas inflorescências das plantas coletadas nos pontos A e B, localizados próximos à Aços Finos Piratini, em Charqueadas (Fig. 8). Para tal fenômeno, não consta em bibliografia menção alguma. Estudos mais direcionados, incluindo os citogenéticos, no caso, elucidariam tal questão.

CONCLUSÕES

Todos os dados obtidos através do presente estudo referem/se unicamente à região carbonífera abrangendo os municípios de São Jerônimo e Charqueadas, durante a estação de verão. Uma vez que não foi possível realizar uma análise de interação entre solo e planta, não se pode concluir que *Typha latifolia* na região estudada tenha desenvolvido genótipos resistentes a solos com altas concentrações de metais pesados. Por outro lado, o fato de *T. latifolia* crescer em solos contaminados sugere que essa espécie possa ser resistente aos elementos tóxicos presentes.

É surpreendente que a produção dessa espécie cosmopolita, colonizando diversos tipos de *habitats*, degradados ou naturais, e servindo como alimento e área de repouso e/ou nidificação para inúmeras espécies de aves e animais herbívoros, não tenha despertado ainda, em nosso Estado, suficiente atenção e interesse maior quanto à sua ecologia. Da mesma forma, a espécie com toda sua plasticidade na ocupação de diferentes *habitats*, representa um objeto de interesse em estudos taxonômicos, experimentais e aplicados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, S. E. *Chemical analysis of ecological materials*. Oxford: Blackwell Sci.Publ., 1989. 368p.
- ANTONOVICS, J.; BRADSHAW, A. D.; TURNER, R. G. Heavy metal tolerance in plants. *Adv. Ecol. Res.*, n.7, p.1-85, 1971.
- ARMSTRONG, W. Radial oxygen losses from intact rice roots as affected by distance from the apex, respiration and waterlogging. *Physiol.Plant.*, n.25, p.192-197, 1971.
- ARTS, G. H. P.; LEUVEN, R. S. E. W. Floristic changes in shallow soft waters in relation to underlying environmental factors. *Freshwater Biol.*, n.20, p.97-111, 1988..
- ARTS, G. H. P.; ROELOFS, J. G. M.; DE LYON, M. J. H. Differential tolerances among soft-water macrophyte species to acidification. *Can. J. Bot.*, n.68, p.2127-2134, 1990.
- BOWEN, H. J. M. *Environmental chemistry of the elements*. London: Academic Press, 1979. 333p.
- BOYD, C. E.; HESS, L. W. Factors influencing shoot production and mineral nutrient levels in *Typha latifolia*. *Ecology*, v.51, n.2, p.296-300, 1970.
- BRAY, J. R. The chlorophyll content of some native and managed plant communities in central Minnesota. *Can. J. Bot.*, n.38, p.313-333, 1960.
- BURTON, M. A. S.; PETERSON, P. J. 1979. Metal accumulations by aquatic bryophytes from polluted mine streams. *Environmental Pollution*, n.19, p.39-46, 1979.
- DICKERMAN, J. A.; WETZEL, R. G. Clonal growth in *Typha latifolia*: population dynamics and demography of the ramets. *J. Ecol.*, n.73, p.535-552, 1985.
- DYKYJOVÁ, D. Specific differences in vertical structures and radiation profiles in the helophyte stands (a survey of comparative measurements). *Ecosystem Study on Wetland Biome in Czechoslovakia*, Trebon, IBP/PT-PP Rep. n.3, p.121-131, 1973.
- FERREIRA, J. A. F.; SUEFFERT, T.; SANTOS, A. P. *Projeto carvão no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 1978. 16v., v.1 e v.2. Relatório final.
- FERNANDES, A. G.; BEZERRA, P. *Estudo fitogeográfico do Brasil*. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990. 205p.

- FOSTER, P. Concentrations and concentration factors of heavy metals in brown algae. *Environmental Pollution*, n.10, p.45-53, 1976.
- GAMBRELL, R. P.; PATRICK JR, W. H. Chemical and microbial properties of anaerobic soils and sediments. In: HOOK, D. D.; CRAWFORD, R. M. M. (Ed.). *Plant life in anaerobic environments. Ann Arbor Sci.*, p.375-423, 1978.
- GRACE, J. B.; WETZEL, R. G. Phenotypic and genotypic components of growth and reproduction in *Typha latifolia*. experimental studies in marshes of differing successional maturity. *Ecology*, v.62, n.3, p.789-801, 1981.
- GRACE, J. B. Effects of water depth on *Typha latifolia* and *Typha domingensis*. *Amer. J. Bot.*, v.76, n.5, p.762-768, 1989.
- JOHN, C. D.; GREENWAY, H. Alcoholic fermentation and activity of some enzymes in rice and roots under anaerobiosis. *Aust. J. Plant Physiol.*, n.3, p.325-336, 1976.
- KADLEC, J. A. Effects of a drawdown on a waterfowl impoundment. *Ecology*, n.43, p.267-281, 1962.
- MAYES, R. A.; McINTOSH, A. W.; ANDERSON, V. L. Uptake of cadmium and lead by rooted aquatic macrophyte (*Elodea canadensis*). *Ecology*, n.58, p.1176-1180, 1977.
- McNAUGHTON, S. J. Ecotype function in the *Typha* community-type. *Ecol. Monogr.*, n.36 p.297-325, 1966.
- McNAUGHTON, S. J. Fitness sets for *Typha*. *Am. Nat.*, n.104, p.337-342, 1970.
- McNAUGHTON, S. J. Developmental control of net productivity in *Typha latifolia* ecotypes. *Ecology*, n.55, p.864-869, 1974.
- McNAUGHTON, S. J.; FOLSOM, T. C.; LEE, T.; PARK, F.; PRICE, C.; ROEDER, D.; SCHMITZ, J.; STOCKWELL, C. Heavy metal tolerance in *Typha latifolia* without the evolution of tolerant races. *Ecology*, n.55, p.1163-1165, 1974.
- MENDELSSOHN, I. A.; MCKEE, K. L.; PATRICK JR, W. H. Oxygen deficiency in *Spartina alterniflora* roots: metabolic adaptation to anoxia. *Science*, n.214, p.439-441, 1981.
- MILLAR, J. B. 1973. Vegetation changes in shallow marsh wetlands under improving moisture regime. *Can. J. Bot.*, n.51, p.1443-1457, 1973.
- MOTA, F. S. da. Estudos do clima do Estado do Rio Grande do Sul, segundo o sistema de W. Koeppen. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v.13, n.2, p.275-284, 1951.
- ONDOK, J. P. Average shoot biomass in monospecific helophyte stands of the Opatovicky Fishpond. *Ecosystem Study on Wetland Biome in Czechoslovakia*. Trebon, IBP/PT-PP, Rep., n.3, p.83-85, 1973.
- PFEIFFER, W. C.; FICZMAN, M.; LACERDA, L. D.; WEERELT, M.; CARBONELL, N. Chromium in water, suspended particles, sediment and biota in the Irajá river estuary. *Environmental Pollution* (Séries B), n.4, p.193-205, 1982.
- PFEIFFER, W. C.; FICZMAN, M.; MALM, O.; AZCUE, J. M. 1986. Heavy metal pollution in the Paraíba do Sul river, Brazil. *The Science of the Total Environment*, n.58, p.73-79, 1986.
- PHILLIPS, D. J. H. The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper. I. Effects of environment variables on uptake of metals. *Marine Biology*, n.38, p.59-69, 1976.
- PROJETO PADCT-CLAMB, Energia e meio ambiente: a questão do carvão no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CENECO/UFRGS, 1991. 25p.
- PUNZ, W. F.; SIEGHARDT, H. The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environm.Exp.Bot.*, v.33, n.1, p.85-98, 1993.
- RAMBO, B. *A fisionomia do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: Selbach, 1956. 456p.
- REIMER, P. Concentrations of lead in aquatic macrophytes from Shoal Lake, Manitoba, Canada. *Environmental Pollution*, n.56, p.77-84, 1989.

- ROELOFS, J. G. M. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in the Netherlands. I. Fields observations. *Aquatic Bot.*, n.17, p.139-155, 1983.
- SEELIGER, U.; EDWARDS, P. Correlation coefficients and concentrations factors of copper and lead in seawater and benthic algae. *Marine Pollution Bulletin*, v.8, n.1, p.16-19, 1977.
- TURNER, R. G. The subcellular distribution of zinc and copper within the roots of metal-tolerant clones of *Agrotis tenuis* Sibth. *New Phytol.*, n.69 p.725-731, 1970.
- WHITTON, B. A. Algae as monitors of heavy metals. In: SCHUBERT, L. E. Algae as ecological indicator. London: Academic Press Inc., 1984.