

Circulação de cromo entre os compartimentos biótico e abiótico com indícios de bioindicação em uma turfeira não alterada no município de Guaíba, RS, Brasil

Chromium circulation between biotic and abiotic compartments with sign of bioindication in a non-changed peatland located in Guaíba, RS, Brazil

E. A. Prochnow
T. R. Prochnow
L. R. Camacho

RESUMO

Amostras de sedimento, água e tecido vegetal (Mimosa bimucronata e Paspalum notatum) foram analisadas com respeito a seu conteúdo em cromo. Estas amostras foram coletadas de uma turfeira numa baixada entre elevações graníticas na Fazenda São Maximiliano, município de Guaíba, RS, Brasil. Os resultados indicam que em um meio sem contaminação antrópica do metal proposto as concentrações do metal pesado estão totalmente dependentes da fonte para este, ou seja, a rocha granítica. O presente trabalho permitiu estabelecer os níveis naturais de cromo (background) em um ambiente geologicamente conhecido e não alterado antropicamente, assim como o comportamento geoquímico deste metal entre os compartimentos abióticos e biótico. Foi possível estabelecer, também, o comportamento de absorção do metal por duas espécies vegetais tidas como bioindicadoras.

Palavras-chave: cromo, turfeira, bioindicação.

E. A. Prochnow é Prof. do Curso de Química, ULBRA, Laboratórios de Química Ambiental, de Geologia e Mineralogia e de Análise Instrumental, Curso de Química, ULBRA. E-mail: emerson726@hotmail.com

T. R. Prochnow é Profa. do Curso de Química, ULBRA, Laboratório de Química Ambiental, Laboratório de Análise Instrumental, Curso de Química, ULBRA.

L. R. Camacho é Acadêmico do Curso de Química, ULBRA, Laboratório de Análise Instrumental, Curso de Química, ULBRA.

ABSTRACT

Samples of sediment, water and vegetational tissue (Mimosa bimucronata and Paspalum notatum) were analysed with respect of its chromium content. These samples were collected from a peatland located in a basin among granitic elevations in the São Maximiliano Farm, Guaíba municipality, Rio Grande do Sul, Brazil. The results indicate that in a non antropic contaminated environment by the proposed heavy metal, the concentration are totally source dependent for it, the granitic rocks. This work led us to establish the natural levels of chromium (background) in a geologically well known and non antropically changed environment, as well as geochemical behavior of this metal among the abiotics and biotic compartments. It was also possible to establish the biosorption behavior of the two vegetal species, known as bioindicators.

Key words: chromium, peatlands, bioindication.

Introdução

O cromo é elemento minoritário na composição dos solos e pode estar agregado aos minerais que constituem as rochas que os originam. Nas rochas graníticas pode estar associado a alguns minerais que contenham ferro, como óxidos e sulfetos (HARTE et al., 1991). Apesar de se tratar de um metal pesado, é um elemento essencial para a manutenção de algumas atividades metabólicas nos seres vivos (ALLEN, 1974). É um dos poucos casos que se conhece de metal que em um estado de oxidação é um nutriente necessário para a manutenção de atividades metabólicas e, em outro, é um contaminante extremamente tóxico. Todavia, é muito estreita a faixa entre necessidade e toxicidade para este elemento. Assim como para outros metais pesados essenciais, ainda não são muito bem definidos os limites normais e tóxicos deste elemento para a maioria dos seres vivos. Estes níveis têm se mostrado bastante variados para diferentes espécies. Sabe-se, contudo, que o cromo trivalente é a forma assimilável e a hexavalente a tóxica para este metal. O cromo é considerado como o segundo poluente mais tóxico para o ar atmosférico, perdendo apenas para o benzeno (HARTE et al., 1991).

O cromo hexavalente é rapidamente reduzido à forma trivalente tanto no meio ambiente quanto no organismo. Contudo, quantidades razoáveis da forma mais oxi-

dada são sabidamente causadoras de câncer, em especial nos pulmões quando aspirado. Há evidências de danos ao material genético, podendo levar a mal formação fetal e problemas reprodutivos (SILVA, 2003). O cromo presente nos sedimentos em ambiente redutores é muito pouco solúvel, podendo acarretar em acumulação deste elemento no ambiente. Da mesma forma, é pouco repassado ao aquífero, onde se encontra em concentrações relativamente baixas (SILVA, 2003), mas na presença de ligantes orgânicos pode formar complexos que aumentem a estabilidade deste elemento na fase aquosa (LINNIK, 2003).

Considera-se que o cromo não seja acumulado na cadeia alimentar, porém, há indícios de contaminação e acumulação deste metal por algumas espécies de vegetais (MICHELOT et al., 1999; NAQVI & RIZVI, 2000; PEIJNENBURG et al., 2000; ALI et al., 2004; GARDEA-TORRESDEY et al., 2004; MAINE et al., 2004), algas (p. ex.: GORBI et al., 2001), bactérias (p. ex.: SRINATH et al., 2002), peixes (DAVIS et al., 1996; BOLLINGER et al., 1997; MANSOUR & SIDKY, 2002), moluscos (ROPER et al., 1996; CHIU et al., 2000; PIHAN & VAUFLEURY, 2000), além de outros organismos (p. ex.: CANIVET et al., 2001), sejam aquáticos ou não. As turfeiras, neste sentido, são ambientes de especial interesse, pois apresentam uma dinâmica geoquímica bastante peculiar que permite o registro ao longo do tempo de variações

na composição elementar, bem como da interação entre os compartimentos abióticos entre si e destes com o meio biótico (SHOTYK, 1988; ROCHA & NEVES, 1995).

Em vista da relevada importância deste tipo de ambiente com características bastante peculiares de circulação de elementos químicos, em especial metais pesados, sejam de origem antrópica ou não, este trabalho visa caracterizar esta circulação para um metal pesado – o cromo – na porção superficial de um ambiente paludoso turfáceo, bem como suas concentrações na água que flui superficialmente pelo ambiente e em duas espécies tidas como bioindicadoras. Através desta caracterização pretende-se estabelecer o ciclo biogeoquímico para o referido metal neste ambiente.

Local estudado

O local estudado está situado em uma baixada entre elevações graníticas na Fazenda São Maximiliano, município de Guaíba, Rio Grande do Sul ($30^{\circ}11'21''$ S, $51^{\circ}22'47''$ W – folha Guaíba – SGE), próxima ao Cerro do Poeta (198 m), ponto culminante da

região (Figura 1). O clima é definido como Mesotérmico Brando Superúmido, sem estação seca distinta, com temperatura média anual em torno dos 16°C (NIMER, 1979). Geologicamente o local estudado está inserido na porção setentrional do Escudo Sul-riograndese – Batólito de Pelotas. Os granitóides da área pertencem ao Granito Morrinhos, próximo ao contato com o Granito Serra do Herval. O Granito Morrinhos apresenta coloração rosa à avermelhada com textura equigranular média, sendo composto por quartzo e feldspato potássico, com presença subordinada de plagioclásio e biotita/muscovita. A concentração de cromo nestes granitos varia de 23 a $34\ \mu\text{g g}^{-1}$ (PHILLIP, 1998). A mineralogia detrital dos sedimentos acusa a presença de quartzo, feldspatos e vermiculita na fração leve, e pirita autigênica, granadas, turmalina (schorlita), muscovita, ilmenita, zircão, magnetita e epidoto na fração pesada. Os sedimentos foram datados (^{14}C) em 12.380 anos A. P. ± 130 a 2,975 metros de profundidade e 6.450 anos A. P. ± 80 a 1,370 metros de profundidade (NEVES, 1998). Em termos de vegetação o ambiente é dominado principalmente por macrófitas aquáticas com mata higrófila no entorno.

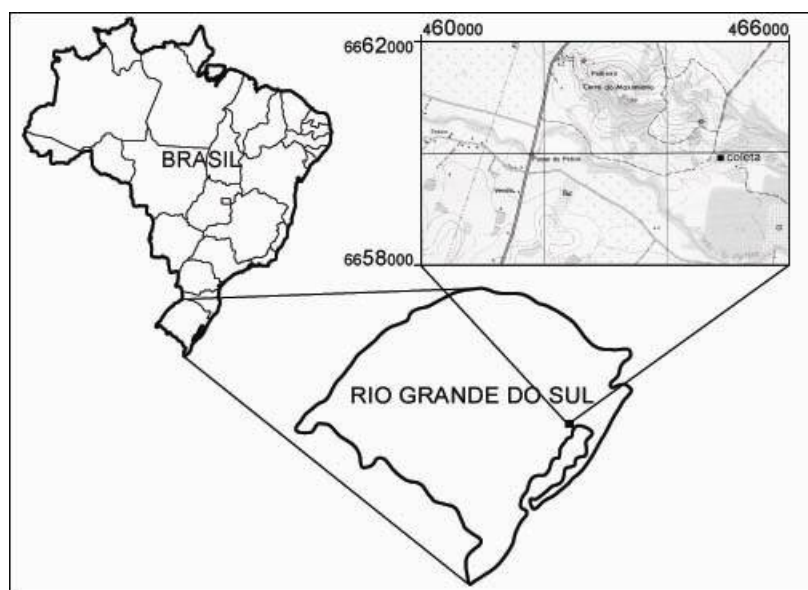


Figura 1: Mapa de localização do ambiente estudado.

Material e métodos

Foram coletadas três amostras de água ao longo do ambiente estudado. As medições dos valores de pH foram realizadas no local da coleta. As coletas, as medições de pH, digestão de amostras e determinações do teor de cromo nas amostras de água, foram realizadas conforme descrito no *Standard Methods for the Examination of Waters and Wastewaters* (1981). As amostras de água sofreram digestão branda e enérgica para determinação dos teores de cromo solúvel e total, respectivamente. As coletas de tecido vegetal foram realizadas conforme padrão de coleta de amostras botânicas (excicatas), num total de três amostras para cada espécie (*M. bimucronata* e *P. notatum*). No tecido vegetal realizou-se apenas digestão enérgica para determinação do cromo total, utilizando-se mistura de ácidos nítrico e fluorídrico juntamente com peróxido de hidrogênio. Dezesete amostras de sedimento foram coletadas com aparelho de Hiller em perfis de 30 cm de profundidade. Procurou-se, sempre que possível, seguir as orientações sugeridas por Tedesco et al., 1985.

As amostras de sedimento, assim como as de água, sofreram digestão branda e enérgica para determinação dos teores de cromo solúvel e total, respectivamente. Para a digestão branda do sedimento utilizou-se solução 0,1 mol L⁻¹ de ácido nítrico. Para a digestão enérgica, mistura dos ácidos nítrico, fluorídrico e perclórico, juntamente com peróxido de hidrogênio, conforme sugerido por Weiss et al., 1999. Todas as amostras foram divididas em três pontos: Entrada, Meio e Saída. A cada um destes pontos está relacionada uma amostra de água e uma de cada espécie vegetal. As de sedimento estão distribuídas da seguinte forma: seis amostras para o ponto “entrada”, cinco amostras para o ponto “meio” e seis amostras para o ponto “saída”. As digestões das amostras de sedimento e tecido vegetal foram realizadas em for-

no de microondas Provector modelo DGT-100, com vasos selados.

Todas as determinações de cromo foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica marca Perkin-Elmer modelo 4000, equipado com forno de grafite HGA-400 e auto amostrador AS-40, ambos Perkin-Elmer. Utilizou-se para as determinações, comprimento de onda de 357,9 nm, lâmpada de cátodo ôco em 25 mA, tubo de grafite não pirolítico e atomização em modo de potência máxima à 2500°C. As calibrações foram realizadas com padrões em zero, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 µg L⁻¹, preparados a partir de uma solução certificada Merck de 1.000 µg L⁻¹ ± 0,001. A faixa de linearidade foi de 60 µg L⁻¹, com coeficiente de correlação (r²) de 0,9991 para uma função linear com passagem na origem (zero). Foram testadas calibrações por adição de padrões aos três grupos de amostras (águas, plantas e sedimentos), não tendo sido detectadas interferências relevantes. Desta forma, procedeu-se calibração com padrões externos para as determinações dos teores de cromo nas amostras. Os limites de detecção instrumental e operacional foram de 0,01 µg L⁻¹.

Resultados

Os resultados de cromo nas amostras de água, sedimento e tecido vegetal correspondem aos valores médios das determinações em cada amostra, com n = 20 leituras ± 2s. Os valores de pH das amostras de água foram obtidos com n = 3 leituras ± σ (Tabela 1). Os valores obtidos estão plotados em escala logarítmica para melhor visualização das correlações entre os vários compartimentos, na figura 2.

Note-se que para as amostras de água, o valor expresso como cromo solúvel refere-se exclusivamente à quantidade do elemento em solução, excetuadas partículas em suspensão. Já o valor de cromo total refere-se ao somatório da fração em solução mais

aquela contida nas partículas em suspensão. Esta diferenciação é possível combinando-se filtração prévia de partículas em suspensão, utilizando membrana filtrante com diâmetro de poro de 0,4 μm , e diferentes concentrações do ácido utilizado na etapa de digestão. Para as amostras de sedimentos, o valor de cromo solúvel refere-se à quantidade deste metal que está disponível diretamente para troca iônica no sedimen-

to, estando relativamente desagregado da mineralogia original ou apenas sorvido sobre esta. Já o valor de cromo total refere-se a esta quantidade solúvel mais a quantidade que ainda está retida efetivamente nos retículos cristalinos de grãos constituintes da mineralogia original. Também neste caso, a diferenciação é determinada pela mistura de ácidos utilizada na etapa de digestão, conforme descrito anteriormente.

Tabela 1: Resultados de cromo para as amostras analisadas.

Amostra	Extração	Entrada	Meio	Saída
Água	pH	6,80 \pm 0,09	6,66 \pm 0,05	7,99 \pm 0,03
	Solúvel ($\mu\text{g L}^{-1}$)	1,41 \pm 0,05	2,04 \pm 0,15	2,14 \pm 0,15
	Total ($\mu\text{g L}^{-1}$)	19,75 \pm 0,43	3,49 \pm 0,06	24,67 \pm 0,61
Sedimento	Solúvel ($\mu\text{g g}^{-1}$)	1,34 \pm 0,07	1,40 \pm 0,09	2,89 \pm 0,07
	Total ($\mu\text{g g}^{-1}$)	6,04 \pm 0,13	7,79 \pm 0,09	9,96 \pm 0,16
<i>M. bimucronata</i>	Total ($\mu\text{g g}^{-1}$)	0,52 \pm 0,05	3,47 \pm 0,10	5,56 \pm 0,10
<i>P. notatum</i>	Total ($\mu\text{g g}^{-1}$)	5,38 \pm 0,21	24,18 \pm 0,05	4,27 \pm 0,17

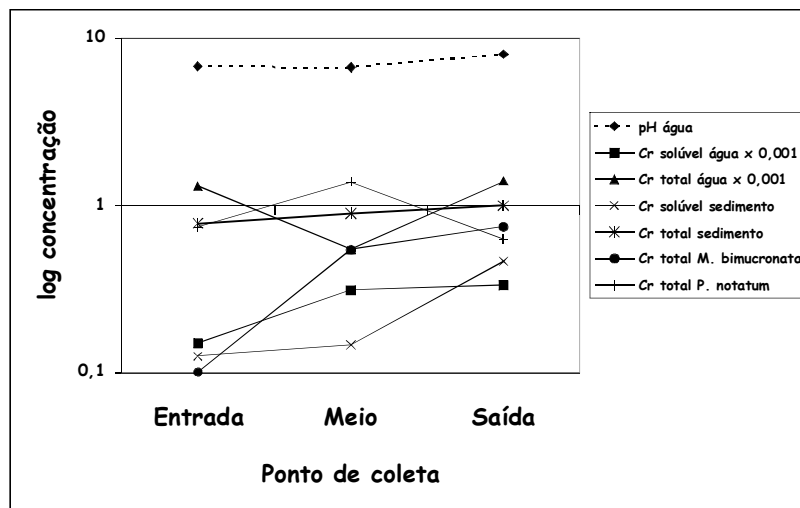


Figura 2: Plote da variação nas concentrações de cromo nas amostras analisadas.

Discussão

O trabalho foi desenvolvido em um ambiente de banhado, constituído por sedimentos relativamente ricos em matéria orgânica, ácidos e com características redutoras. Estas características redutoras

podem ser comprovadas não apenas pelos altos teores de carbono orgânico (~ 11 %), mas também pela presença de pirita autigênica, produzida pela atividade de bactérias redutoras de sulfato. O ambiente, de característica ombrotrófica – presença praticamente constante de lâmina

d'água corrente sobre o ambiente – encontra-se em avançado estágio de colmatação, estando dominado por gramíneas e macrófitas aquáticas, com a mata higrófila desenvolvida no entorno. Desta forma, os sedimentos apresentam-se hidromórficos (~ 30 % H₂O) e pouco consolidados.

As concentrações de cromo no sedimento mostram-se relativamente homogêneas ao longo do ambiente (6,045 – 9,963 µg g⁻¹ Cr total), com baixa disponibilidade para o meio (1,335 – 2,285 µg g⁻¹ Cr solúvel). Em função do caráter redutor do ambiente, o cromo provavelmente encontra-se praticamente todo na forma reduzida Cr (III), pois a forma oxidada Cr (VI) é facilmente reduzida por espécies químicas amplamente presentes neste meio, tais como o ânion sulfeto, o cátion ferroso e matéria orgânica (SILVA, 2003). Desta forma, e pela extensa presença de material argiloso, justifica-se esta tendência do cromo em permanecer indisponibilizado no sedimento (baixa razão solúvel/total), seja devido à permanência deste metal em cristais provenientes da mineralogia original da rocha fonte, seja adsorvido nas argilas. As razões Cr solúvel / Cr total foram de 0,22 para a amostra da entrada, 0,18 para o meio e 0,29 para a saída. Estas razões seguem perfeitamente o comportamento do pH da água, indicando que este parâmetro possa estar influenciando diretamente na disponibilização do metal no sedimento. Observa-se, ainda, que as concentrações de cromo total e solúvel no sedimento aumentam em direção à porção distal da bacia, o que pode ser um indicativo para uma tendência de acúmulo de cromo no sedimento deste ambiente.

O pH da água decresce em direção ao centro do ambiente, com exceção do ponto “saída”, onde o pH aumenta. Ao entrar no ambiente pantanoso, a água guarda o pH característico para a água da região, visto que as nascentes encontram-se a poucos metros de distância da bacia. Ao entrar em contato com o sedimento turfáceo,

o pH da água sofre pequeno decréscimo. Este decréscimo é devido à presença de ácido orgânicos oriundos da decomposição da matéria orgânica presente abundantemente nestes sedimentos. Por se tratarem, em sua grande maioria, de ácidos fracos, o pH não diminui de forma mais considerável. Todavia, não pode ser desprezada a capacidade quelante destas espécies orgânicas e da possibilidade de formarem complexos com cátions em solução ou diretamente a partir do sedimento. As concentrações de cromo em águas superficiais são tipicamente de poucos µg L⁻¹, sendo o limite para a água potável de 50 µg L⁻¹ (SILVA, 2003). As concentrações de cromo nas amostras de água do ambiente estudado apresentaram valores bem abaixo do limite proposto, o que seria esperado para um ambiente natural.

O cromo solúvel indica uma certa correlação com o teor de cromo solúvel no sedimento. Todavia esta correlação aparentemente é mais positiva no pH mais ácido da água, e em pH básico é perceptivelmente negativa. Tal fato indica que na realidade a correlação entre os teores de cromo solúvel na água e no sedimento dependem não de um, mas de uma série de fatores que agem de maneira intrínseca no ambiente estudado. Cabe destacar a importância da matéria orgânica, amplamente presente neste ambiente, no sentido de formar complexos de cromo, que podem estar em solução ou ainda mais provavelmente em suspensão, compondo o valor de cromo total na água. O cromo total na água indica alguma correlação com o valor de pH, decréscimo de concentração com decréscimo do pH, e acréscimo da concentração com o acréscimo do pH. O decréscimo bastante acentuado na concentração de cromo total na amostra “meio” provavelmente está ligado ao fato de que a água, neste ponto, cruza um complexo sistema de raízes da cobertura vegetal, o que pode acarretar em filtração das partículas em suspensão que conferem a concentração

total deste elemento à amostra de água. Excetuando-se este ponto com comportamento anômalo, os outros pontos estão de acordo com trabalhos realizados no Rio Amazonas, que dizem que apenas 10 a 12 % do cromo total na água está na forma solúvel (SILVA, 2003). Para as amostras “entrada” e “saída” os percentuais são de 7,16 e 8,69 %, respectivamente.

Para as amostras de vegetais, as de *P. notatum* indicam uma absorção de cromo totalmente dependente do pH da água. Esta espécie em condições levemente ácidas mostrou-se razoável acumuladora de cromo, apresentando concentrações acima até mesmo do teor de cromo total no sedimento. Como esta absorção diferenciada ocorreu em um ponto onde os valores de cromo solúvel na água e sedimento não são os mais elevados, há uma boa indicação de que esta correlação entre o pH e a absorção do metal seja verdadeira.

Já as amostras de *M. bimucronata* indicam absorção dependente exclusivamente da concentração do metal solúvel na água e no sedimento, sendo que aparentemente pequenas variações de pH não influenciam consideravelmente a assimilação do metal nesta espécie. Cabe salientar que as determinações foram realizadas utilizando-se material folhar. Contudo, alguns autores têm descrito que boa parte do cromo, principalmente em macrófitas aquáticas como a *M. bimucronata*, fica retido nas raízes (p. ex.: MAINE et al., 2004). Tal fato indica que estes comportamentos podem ter alguns desvios se realizados com as raízes.

Conclusões

- As concentrações de cromo determinadas no ambiente indicam estar subordinadas diretamente à única fonte para este elemento no ambiente, ou seja, a rocha granítica (23 a 34 $\mu\text{g g}^{-1}$), visto que a área estudada encontra-se em um ponto regional culminante geografica-

mente e sem atividade antrópica no seu entorno. Além disto, a água que flui através do sistema, cujas nascentes encontram-se a poucos metros da bacia sedimentar, apresenta valores muito baixos do referido metal, contribuindo de forma desprezível para a acumulação do metal no ambiente. Contudo, não podemos desprezar a possibilidade de haver contribuição para as concentrações deste metal por deposição atmosférica, parâmetro que não foi contemplado neste trabalho;

- O pH da água é observado por ser determinante para as concentrações de cromo total na água, mas não para os teores de cromo solúvel, para os quais apenas o tempo de contato com o sedimento determina o acréscimo na concentração. Todavia, as razões cromo solúvel/cromo total nas amostras de água apresentaram alguma correlação com as variações de pH, como sugerido previamente para trabalhos em águas da bacia amazônica;
- Para o sedimento, não há uma relação aparente entre o pH da água e as concentrações de cromo. O cromo total e o solúvel no sedimento apresentam aumento nas concentrações na porção distal, indicando dependência para o nível de desagregação da mineralogia original, em função do transporte dos sedimentos ao longo da bacia sedimentar;
- A *M. bimucronata* (maricá) apresentou absorção de cromo proporcional às concentrações do elemento solúvel, tanto na água quanto no sedimento, e independente do pH da água. Há poucos indícios de bioacumulação do metal por esta espécie em função das concentrações relativamente baixas medidas, muito próximas dos valores solúveis no sedimento e abaixo dos valores totais;

- A *P. notatum* (capim-rabo-de-burro) mostrou-se uma absorvente acidófila de cromo, ou seja, a maior absorção de cromo ocorreu no valor mais baixo de pH, diminuindo com o acréscimo do pH. Para esta espécie há uma boa evidência de bioacumulação, pois os valores medidos estão próximos ou acima dos observados para a concentração total do elemento no sedimento.

Referências

- ALI, N. A.; ATER, M.; SUNAHARA, G. I. & ROBIDOUX, P. Y. Phytotoxicity and bioaccumulation of copper and chromium using barley (*Hordeum vulgare* L.) in spiked artificial and natural forest soils. *Ecotox. Environ. Safety*, 57: 363–374. 2004.
- ALLEN, S. E. *Chemical Analysis of Ecological Materials*. V. I–II, Western Printing Service, Bristol, 564p. 1974.
- BOLLINGER, J. E.; BUNDY, K.; ANDERSON, M. B.; MILLET, L.; PRESLAN, J. E.; JOLIBOIS, L.; CHEN, H.-L.; KAMATH, B. & GEORGE, W. J. Bioaccumulation of chromium in red swamp crayfish (*Procambarus clarkia*). *J. Hazard. Mater.* 54: 1–13. 1997.
- CANIVET, V.; CHAMBON, P. & GIBERT, J. Toxicity and bioaccumulation of arsenic and chromium in epigeal and hypogean freshwater macroinvertebrates. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 40: 345 – 354. 2001.
- CHIU, S. T.; LAM, F. S.; TZE, W. L.; CHAU, C. W. & YE, D. Y. Trace metals in mussels from mariculture zones, Hong Kong. *Chemosphere*, 41: 101–108. 2000.
- DAVIS, A.; SELLSTONE, C.; CLOUGH, S.; BARRICK, R. & YARE, B. Bioaccumulation of arsenic, chromium and lead in fish: constraints imposed by sediment geochemistry. *Applied Geochemistry*, 11: 409–423. 1996.
- GARDEA-TORRESDEY, J. L.; PERALTA-VIDEA, J. R.; MONTES, M.; de la ROSA, G. & CORRAL-DIAZ, B. Bioaccumulation of cadmium, chromium and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. *Bioresource Technology*, 92: 229–235. 2004.
- GORBI, G.; CORRADI, M. G.; INVIDIA, M. & BASSI, M. Light intensity influences chromium bioaccumulation and toxicity in *Scenedesmus acutus* (Chlorophyceae). *Ecotox. Environ. Safety*, 48: 36–42. 2001.
- HARTE, J.; HOLDREN, C., SCHNEIDER, R. & SHIRLEY, C. *Toxics A to Z: a guide to everyday pollution hazards*. University of California Press, Berkeley, California, USA, 479 p. 1991.
- LINNIK, P. N. Complexation as the most important factor in the fate and transport of heavy metals in the Dnieper water bodies. *Anal. Bioanal. Chem.* 376: 405–412. 2003.
- MAINE, M. A.; SUÑÉ, N. L. & LAGGER, S. C. Chromium bioaccumulation: comparison of the capacity of two floating aquatic macrophytes. *Water research*, 38: 1494–1501. 2004.
- MANSOUR, S. A. & SIKY, M. M. Ecotoxicological studies. 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt. *Food Chemistry*, 78: 15–22. 2002.
- MICHELOT, D.; POIRIER, F. & MELENDEZ-HOWELL, L. M. Metal content profiles in mushrooms collected in primary forests of Latin America. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 256–263. 1999.
- NAQVI, S. M. & RIZVI, S. A. Accumulation of chromium and copper in three different soils and bioaccumulation in an aquatic plant, *Alternanthera philoxeroides*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 65: 55–61. 2000.
- NEVES, P. C. P. *Palinologia de sedimentos quaternários no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil: Guaíba e Capão do Leão*. Porto Alegre, 2 v. il., 513 p., Tese de Doutorado em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. 1998.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. IBGE, Rio de Janeiro, v. 4, 422 p. 1979.
- PEIJNENBURG, W.; BAERSELMAN, R.; de GROOT, A.; JAGER, T.; LEENDERS, D.; POSTHUMA, L. & Van VEEN, R. Quantification of metal bioavailability for lettuce (*Lactuca*

- sativa* L.) in field soils. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39, 420–430. 2000.
- PHILLIP, R. P. A evolução geológica e tectônica do Batólito de Pelotas, no Rio Grande do Sul. São Paulo, 255 p., Tese de Doutorado em Ciências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1998.
- PIHAN, F. & VAUFLEURY, A. The snail as a target organism for the evaluation of industrial waste dump contamination and the efficiency of its remediation. Ecotox. Environ. Safety, 46: 137–147. 2000.
- ROCHA, A. O. & NEVES, P. C. P. das. Characterization of Geochemical Parameters of na Organic Soil from Terra de Areia, Northern Coastal Plain, Rio Grande do Sul, Brazil. Southern Brazilian Journal of Chemistry, 3(3):23–26. 1995.
- ROPER, J. M.; CHERRY, D. S.; SIMMERS, J. W. & TATEM, H. E. Bioaccumulation of toxicants in the Zebra Mussel, *Dreissena polymorpha*, at the Times Beach confined disposal facility, Buffalo, New York. Environ. Poll. 94(2): 117–129. 1996.
- SHOTYK, W. Reviews of the Inorganic Geochemistry of Peats and Peatland Waters. *Earth Science Reviews*, 25:95–176. 1988.
- SILVA, C. S. Cromo. In: AZEVEDO, F. A. & CHASIN, A. A. M. (eds.). Metais: gerenciamento da toxicidade. Atheneu, São Paulo, p. 35–65. 2003.
- SRINATH, T.; VERMA, T.; RAMTEKE, P. W. & GARG, S. K. Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria. Chemosphere, 48: 427–435. 2002.
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATERS AND WASTEWATERS. American Public Health Association (ed.), 864p. 1981.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J. & BOHNEN, H. Análises de Solo, Plantas e outros Materiais. Boletim Técnico n.5, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 188p. 1985.
- WEISS, D.; SHOTYK, W.; SCHÄFER, H.; LOYALL, U.; GROLLMUND, E. & GLOOR, M. Microwave digestion of ancient peat and determination of Pb by voltammetry. Fresenius Journal of Analytical Chemistry, 363: 300–305. 1999.