

## UTILIZAÇÃO DE BIOMASSAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTENDO METAIS PESADOS

Antonio Carlos Augusto da Costa e Márcia Monteiro Machado Gonçalves  
Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/CNPq

### RESUMO

O presente trabalho apresenta algumas considerações gerais sobre o emprego de biomassas no tratamento de efluentes contendo metais pesados. Numa pequena revisão do assunto, o emprego de organismos biológicos no processo é discutido, procurando-se avaliar o potencial emprego de biomateriais como resinas captadoras de metais pesados. Aspectos de natureza biológica, química e de operação do processo são também reportados.

O trabalho também apresenta alguns resultados obtidos nos trabalhos em desenvolvimento no CETEM, com o emprego de macroalgas marinhas inativadas por secagem, e seu potencial emprego como resinas biológicas, bem como alguns parâmetros operacionais envolvidos no processo. Os diferentes gêneros de algas apresentaram capacidades de carga, em geral, elevadas, o que torna as amostras testadas potenciais resinas biológicas. Para soluções de cádmio nas concentrações de 10,0 e 50,0 mg/L, as concentrações do metal, no equilíbrio, foram baixas, em especial quando do emprego de *Sargassum* sp. (0,2 mg/L). Quando do emprego sucessivo das amostras, em vários ciclos de bioabsorção/dessorção, algumas amostras apresentaram um decréscimo na capacidade de carga, com exceção das feofíceas, que mantiveram eficiência de captação em torno de 100%, em todos os ciclos.

### ABSTRACT

This work presents some general remarks on the use of biomasses for the treatment of heavy metal-containing effluents. In a brief review on the subject, the use of microorganisms and superior organisms in the process is discussed, in order to evaluate the potential use of biomaterials as natural resins for the recovery of heavy metals. Some basic aspects of biological and chemical nature, as well as some considerations on the process conduction are also reported.

Furthermore, this work presents some results obtained in the research carried out at CETEM, using heat-inactivated marine macroalgae, and their potential use as biosorbent materials, as well as some operational parameters involved in the process. The different algae genera presented high accumulation capacities; this ability turn them into potential biological resins. For cadmium solutions at concentrations 10.0 and 50.0 mg/L equilibrium metal concentrations were relatively low, specially for *Sargassum* sp. (0.2 mg/L). Samples used in several biosorption/desorption cycles, presented a decrease in the loading capacity, exception for brown algae, whose accumulation efficiency was kept constant, around 100%, in all cycles.

**Palavras-chave:** bioabsorção, biomassas, metais pesados.

## 1 - INTRODUÇÃO

Os processos de industrialização têm acelerado a deposição de metais pesados em solos e em ambientes aquáticos. Em determinados ecossistemas, esses metais são naturalmente incorporados, quer seja por microrganismos, quer seja por frações orgânicas e inorgânicas do solo ou sedimentos. Essa incorporação será menor ou maior, dependendo da concentração do metal e dos fatores bióticos e abióticos atuantes no ecossistema. No entanto, seja nos ambientes aquáticos ou no solo, as espécies metálicas podem ser remobilizadas, exercendo novamente seu efeito tóxico. Assim sendo, faz-se necessário minimizar os efeitos deletérios da crescente dispersão de metais em ambientes naturais.

Os processos convencionais para a remoção de metais pesados de efluentes industriais incluem a precipitação química, oxi-redução, filtração, técnicas eletroquímicas e sofisticadas tecnologias com emprego de membranas. Esses processos são usualmente caros e parcialmente eficientes, se a concentração de metais dissolvidos encontrar-se na faixa de 1 a 100 mg/L.<sup>[1]</sup> Nesse contexto, a introdução de biotecnologias torna-se atraente por combinar custo inferior com o desenvolvimento de um processo de reduzida agressão ambiental.

Beveridge,<sup>[2]</sup> ao estudar a relação entre morfologia microbiana e seu efeito na acumulação de metais, descreveu que a interação entre espécies iônicas e estruturas de superfície biológicas é inevitável. A acumulação superficial ocorre através de reações de complexação e troca-iônica com constituintes da estrutura externa de organismos vivos. Esse processo é fundamentalmente baseado na composição polissacarídica de cada micro ou macrorganismo, podendo ocorrer variações estruturais a nível de divisão, até gênero, espécie e até mesmo linhagens dentro de uma mesma espécie. Essa variabilidade estrutural é função da síntese de polissacarídeos frente a condições ambientais.

Existe, portanto, uma ampla faixa de oportunidades para exploração do potencial de organismos biológicos como resinas captadoras de metais; a diversidade de estruturas biológicas existentes torna bactérias, algas, fungos, actinomicetos e outros organismos de maior complexidade estrutural potenciais resinas biológicas. O possível emprego de uma ou de outra biomassa será função de uma série de fatores de ordem técnica e econômica que serão posteriormente discutidos.

Os estudos nessa área do conhecimento não estão, atualmente, no estágio embrionário, requerendo maior ênfase nos aspectos tecnológicos, que parecem ser, ainda, os que limitam a aplicabilidade do processo. No entanto, para a implementação de uma nova tecnologia para acumulação de metais pesados, uma série de requisitos deve ser estabelecida para a

competitividade técnica e econômica do processo: (i) as biomassas devem ter uma capacidade de acumulação da ordem de 100 mg metal/g biomassa seca; (ii) a bioabsorção e a dessorção devem ser rápidas e eficientes; (iii) o material biológico deve apresentar baixo custo; (iv) o material biológico deve ser reutilizável; (v) o agente deve ser adaptável a diferentes configurações de reatores; (vi) a separação do metal captado deve ser fácil e barata. Conforme exposto, pode-se observar que existe uma série de condições que devem ser cumpridas para emprego de biomassas como resinas captadoras de metal, e que, não só o desempenho do material biológico deve ser considerado devendo-se também avaliar fatores de natureza biológica, química, físico-química e operacional, bem como fatores pertinentes à separação até configurações de reatores.

Fundamentalmente, dois grupos de metais vêm sendo selecionados para o emprego do processo de bioabsorção, a saber: metais de interesse econômico, e metais que apresentam um elevado grau de toxicidade. Dentre os metais de interesse econômico, o ouro surge como o elemento mais estudado, quer seja empregando-se biomassas microbianas,<sup>[3]</sup> ou biomassas de dióspiros (caqui),<sup>[4]</sup> ou biomassa imobilizada de microalgas verdes.<sup>[5]</sup>

Quanto aos metais que devem ser removidos de solução em função de seu caráter tóxico, aqueles provenientes de atividades minero-metalúrgicas compreendem o grupo mais estudado. O tratamento de efluentes das atividades minero metalúrgicas e de efluentes contendo materiais radioativos<sup>[6,7]</sup>, por via biotecnológica, encontra-se documentado na literatura.<sup>[8,9,10]</sup>

A diversidade de materiais biológicos, com distintas composições estruturais, possibilita o emprego de um grande número de biomassas no tratamento de soluções contendo metais pesados. Por sua abundância, as biomassas algáceas são os biomateriais mais empregados na bioabsorção/bioacumulação de metais.

Algas clorofíceas, rodofíceas e feofíceas são as mais estudadas, tanto com o emprego de organismos unicelulares como pluricelulares. A complexidade e a heterogeneidade de polissacarídeos estruturais e de reserva confere às diferentes divisões algáceas distintas capacidades de acumulação de metais. Polissacarídeos carboxilados, sulfatados e fosfatados conferem caráter aniônico às superfícies algáceas, tornando-as potenciais resinas biológicas. Elementos divalentes, dispersos nas macromoléculas orgânicas como estabilizadores estruturais, também podem contribuir com o processo através de troca iônica.<sup>[11,12]</sup>

O emprego de macroalgas marinhas para bioabsorção de metais, além de ser mais promissor sob o ponto de vista técnico e econômico, permite uma melhor operacionalização

de sistemas contínuos e o tratamento de grandes volumes de efluentes. Biomassas de *Ascophyllum nodosum* (feofíceas)<sup>[13,14]</sup> e *Sargassum* sp. (feofíceas)<sup>[15,16]</sup> foram empregadas na captação de cobalto e ouro, e cádmio, respectivamente, com resultados interessantes, estimulando a continuidade do estudo do processo.

A quitina e quitosana, extraídas de conchas marinhas e de camarões, foram avaliadas por Onsoyen e Skaugrud<sup>[17]</sup> para emprego como adsorventes metálicos. A complexa estrutura dessas moléculas, contendo grupamentos nitrogenados e hidroxilados, torna-os agentes captadores de metais. No entanto, a principal limitação do processo parece estar associada com a técnica de extração e conversão da quitina a quitosana, envolvendo deacetilação, secagem e filtração, inviabilizando economicamente o emprego dessas substâncias no processo de remoção de metais.

Também encontra-se descrito na literatura o emprego de tecidos de plantas, tais como raízes de tomateiros e fumo (*Lycopersicon esculentum* e *Nicotiana tobacum*), na acumulação de estrôncio, tendo-se observado a baixa capacidade de acumulação pelos dois tecidos testados, o que indica limitado potencial para emprego como adsorventes do metal.<sup>[18]</sup>

De natureza bastante distinta, o emprego de lodos biológicos foi também avaliado para o processo como captador de zinco,<sup>[8]</sup> tendo sido observado o efeito marcante do tipo e da concentração do lodo empregado (aeróbio, anaeróbio, desidratado, etc.), bem como a influência do pH no processo.

A bioabsorção de metais, em especial em países desenvolvidos, já é uma realidade industrial, através do desenvolvimento de produtos com características bem definidas, tanto do ponto de vista biológico como de natureza física. Como exemplo, a empresa americana **Advanced Minerals Technologies Inc.**, desenvolveu uma tecnologia para recuperação de metais e tratamento de efluentes, denominada **AMT-BIOCLAIM™**. A tecnologia se baseia no emprego de grânulos de biomassas secas empregadas como recheios de colunas de empacotamento para captação contínua de metais.<sup>[19]</sup> Os grânulos apresentaram uma alta eficiência de captação de metais, variável de 86 mg/g de grânulos, quando da captação de prata, até 601 mg/g para o chumbo. Esses resultados são bastante interessantes do ponto de vista tecnológico, apesar dos autores sugerirem seu emprego ainda como uma tecnologia complementar aos processos convencionais de tratamento.

De forma análoga, a **Environmental Protection Agency** criou o **AlgaSORB®**, um produto natural com alta afinidade por metais pesados, baseado na carga de concentração de metais de amostras algáceas. Estudos em escala piloto mostraram a eficiência do adsorvente

em tratar soluções contaminadas com mercúrio, tendo-se empregado até 600 volumes de leite de efluente, nas condições operacionais da planta da EPA.<sup>[20]</sup>

Também o **US Bureau of Mines** desenvolveu o **BIO-FIX**, com o mesmo propósito, mostrando que os grânulos, contendo algas e/ou outros materiais biológicos, apresentaram elevada carga de captação e excelentes características operacionais em diferentes configurações de reatores, sendo o processo reversível sem perda de capacidade de carga do produto em ciclos de bioabsorção sucessivos.<sup>[21]</sup>

Deve-se ter em mente que todos esses resultados experimentais reportados na literatura não devem ser encarados como resultados definitivos e absolutos, pois foram obtidos, especificamente, para uma classe de efluente, em condições operacionais pré-estabelecidas de processo. A interação possível entre superfícies aniônicas e espécies metálicas é norteadada também por fatores de natureza físico-química, variáveis em diferentes soluções e altamente dependentes das características das espécies metálicas.

## **2 - MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Algas marinhas**

Amostras de algas marinhas, pertencentes a seis gêneros diferentes, foram coletadas na costa das cidades do Rio de Janeiro e Niterói, perfazendo um total de onze amostras. A Tabela I indica as respectivas regiões de coleta.

Após a coleta, as amostras foram secas em estufa, à temperatura de 70<sup>o</sup> C, pulverizadas e classificadas quanto ao tamanho. Partículas menores que 0,833 mm foram selecionadas para emprego nos experimentos.

### **Ensaio de remoção de cádmio**

Nessa série de experimentos, diferentes soluções de cádmio foram testadas, nas concentrações de 10,0 mg/L, 50,0 mg/L e 2,0 g/L. Os ensaios foram realizados em frascos *Erlenmeyer* de 250 mL de capacidade, contendo 50 mL de cada uma das soluções e 0,1 g da biomassa seca e cominuída (2,0 g/L). Em seguida, os frascos foram incubados em chapa rotatória com a temperatura ajustada para 30<sup>o</sup> C, por 6 horas, para assegurar equilíbrio entre as fases sólida e líquida. Após 6 horas de agitação, os frascos foram retirados da chapa, o seu conteúdo filtrado, e o filtrado acidificado para determinação da concentração residual de

cádmio por espectrometria de absorção atômica. Esses experimentos foram realizados em duplicata.

TABELA I - Sítios de coleta das algas marinhas

GÊNERO	AMOSTRA	SÍTIO DE COLETA
<i>Codium</i> (cloroficea)	187	Praia Vermelha
	156	Ilha de Boa Viagem
<i>Gelidium</i> (rodoficea)	266	Itacoatiara
	163	Itaipu
<i>Ulva</i> (cloroficea)	1	Baia de Sepetiba
	188	Urca
<i>Padina</i> (feoficea)	1*	Baia de Sepetiba
	2**	Baia de Sepetiba
	3	Ilha do Gato
<i>Sargassum</i> (feoficea)		Baia de Sepetiba
<i>Colpomenia</i> (feoficea)		Itaipu

Amostras coletadas e obtidas do IBCCF/UFRJ

\* Coletadas no inverno \*\* Coletadas no verão

#### Ciclos de bioabsorção/dessorção de cádmio

Oito amostras de algas foram testadas nesse grupo de experimentos: *Codium* (187 e 156), *Gelidium* (266), *Ulva* (1 e 188), *Padina* (1 e 3) e *Sargassum*, sendo 1,0 g de cada biomassa adicionado a 50 mL de uma solução de cádmio na concentração de 10,0 mg/L. Em seguida, as amostras foram incubadas em chapa rotatória a 30 °C, por 1 hora, para assegurar equilíbrio entre as fases sólida e líquida. Posteriormente, foram filtradas, e o filtrado analisado quanto à concentração residual de cádmio. As biomassas, carregadas com o metal, foram tratadas com 50 mL de solução de HCl 0,5 N para remoção do metal captado, e o eluído também analisado quanto ao teor de cádmio. Após eluição, as amostras foram secas e reutilizadas em ciclos de bioabsorção/dessorção, nas mesmas condições descritas.

#### Determinações analíticas

As determinações de cádmio foram realizadas com um espectrofotômetro de absorção atômica, Varian Techtron, Modelo AA6. Tais determinações foram feitas em soluções-padrão e nas soluções oriundas do processo.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Ensaio de remoção de cádmio

A bioabsorção de cádmio por algas marinhas inativadas por aquecimento foi avaliada de forma distinta do que se faz usualmente para a avaliação da captação de metais por algas vivas. Nesse caso, a bioabsorção do metal se baseia na consideração de que apenas a adsorção é o mecanismo atuante na captação, sem o envolvimento metabólico. Assim sendo, os polissacarídeos estruturais, presentes na parede celular das diferentes espécies, seriam os principais responsáveis pela captura dos íons metálicos.

Os dados obtidos podem ser avaliados sob dois aspectos: inicialmente, a capacidade de captação das biomassas deve ser considerada; em seguida, a eficiência de tratamento, medida através da concentração residual ou de equilíbrio, também deve ser considerada. A biomassa ideal é aquela que apresenta alta capacidade de absorção com níveis aceitáveis de concentração residual de metal.

A Tabela II apresenta a capacidade máxima de captação de cádmio, obtida nos experimentos de bioabsorção, a partir de uma solução de cádmio com concentração inicial de 2,0 g/L.

TABELA II - Bioabsorção de cádmio por algas marinhas

AMOSTRA	CAPACIDADE DE CAPTAÇÃO* (mg cádmio/g biomassa)
<i>Ulva</i> sp. (1)	378
<i>Gelidium</i> sp. (163)	321
<i>Ulva</i> sp.(188)	230
<i>Sargassum</i> sp.	220
<i>Codium</i> sp. (187)	205
<i>Colpomenia</i> sp.	199
<i>Gelidium</i> sp. (266)	170
<i>Padina</i> sp. (1)	164

\* A partir de uma solução de cádmio com concentração inicial de 2,0 g/L.

A análise da Tabela II revela que a amostra de *Ulva* sp. (1), parece ser a mais adequada para a remoção de cádmio. No entanto, conforme anteriormente citado, a capacidade de captação não deve ser o único parâmetro considerado na avaliação de um material biológico

como resina. A Tabela III lista as concentrações de equilíbrio a partir de soluções 10,0 e 50,0 mg/L, obtidas de acordo com as condições descritas.

TABELA III - Concentrações de cádmio, medidas no equilíbrio - Soluções 10,0 e 50,0 mg/L

AMOSTRA	CONCENTRAÇÃO DE Cd NO EQUILÍBRIO (mg/L)	
	10,0	50,0
<i>Sargassum</i> sp.	0,2	0,2
<i>Gelidium</i> sp. (163)	0,7	13,4
<i>Padina</i> sp.(1)	0,9	11,0
<i>Gelidium</i> sp. (266)	1,3	14,4
<i>Colpomenia</i> sp.	2,6	11,0
<i>Ulva</i> sp. (188)	3,9	26,5
<i>Ulva</i> sp. (1)	4,7	10,2
<i>Codium</i> sp. (187)	8,1	34,0

A partir dos resultados listados na Tabela III pode-se concluir que a *Sargassum* sp. é o melhor material para emprego como agente de captação de cádmio, dentre as amostras testadas e nas condições de ensaio, com base na carga de captação e na eficiência do tratamento.

Considerando-se a carga de captação como parâmetro de comparação, tem-se:

*Ulva* sp. (1) > *Gelidium* sp. (163) > *Ulva* sp. (188) > ***Sargassum* sp.** > *Codium* sp. (187) >  
*Colpomenia* sp. > *Gelidium* sp. (266) > *Padina* sp.(1)

Se considerarmos a eficiência das biomassas no tratamento da solução com concentração inicial de 10,0 mg/L tem-se:

***Sargassum* sp.** > *Gelidium* sp. (163) > *Padina* sp. (1) > *Gelidium* sp. (266) > *Colpomenia* sp. >  
*Ulva* sp. (188) > *Ulva* sp. (1) > *Codium* sp. (187)

A combinação desses dois parâmetros faz com que a *Sargassum* sp. seja a melhor amostra para esse processo, por combinar boa carga de captação com elevada eficiência de tratamento. No entanto, as outras algas marinhas não devem ser descartadas, pois apresentam uma carga de captação que justifica uma investigação de outros parâmetros, para aproveitamento de seus potenciais.



## Ciclos de bioabsorção/dessorção de cádmio

De acordo com Volesky,<sup>[1]</sup> um dos requisitos básicos para a utilização de biomassas como resinas é sua regeneração para empregos sucessivos. Essa avaliação pode ser realizada em ciclos de bioabsorção/dessorção do metal. Assim, a biomassa eluída, isenta de metal em sua estrutura, deve ser avaliada quanto à sua capacidade de captação do metal, observando-se uma possível alteração na sua capacidade de carga inicial e possíveis efeitos na sua estrutura.

A avaliação da eficiência de captação foi realizada em dez ciclos de bioabsorção/dessorção, indicando que algumas algas têm sua capacidade de captação comprometida por usos sucessivos, e outras não. Esse fato está provavelmente associado ao ataque ácido às estruturas superficiais das diferentes algas, as quais apresentam polissacarídeos distintos, que podem ou não ter suas estruturas químicas alteradas por lavagens com ácidos minerais. A Tabela IV apresenta as eficiências de captação do cádmio nos dez ciclos realizados, nas condições de ensaio anteriormente descritas.

TABELA IV - Eficiência de captação de cádmio - Ciclos de bioabsorção/dessorção

AMOSTRA	EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO DO CÁDMIO (%)									
	NÚMERO DE CICLOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Codium</i> sp. (187)	30	66	69	37	20	27	11	14	15	10
<i>Codium</i> sp. (156)	30	55	65	62	44	48	31	52	41	34
<i>Gelidium</i> sp. (266)	6	70	29	76	75	77	68	64	54	60
<i>Ulva</i> sp. (1)	5	99	88	68	86	96	70	57	66	37
<i>Ulva</i> sp. (188)	7	93	88	64	83	75	46	63	60	64
<i>Padina</i> sp. (1)	69	100	100	98	96	100	97	95	98	92
<i>Padina</i> sp. (3)	50	100	100	100	100	99	98	97	99	98
<i>Sargassum</i> sp.	93	100	100	100	100	100	99	94	100	98

Observou-se que a amostra 156 de *Codium* sp. foi mais eficiente na captação do metal que a amostra 187. Entretanto, em ambas, observou-se uma queda substancial na eficiência de captação, com o aumento do número de ciclos, provavelmente em função do ataque ácido às estruturas biológicas, com destruição dos sítios captadores..

No caso da *Padina* sp. (1), a atividade da alga no processo manteve-se inalterada, mesmo após 10 ciclos. No entanto, as amostras de *Ulva* sp. (1 e 188) não foram tão eficientes quanto a da *Padina* sp., tendo-se verificado eficiências de captação de 37 e 64%, no décimo

ciclo, para as *Ulva* sp., amostras 1 e 188, respectivamente. A amostra 266 de *Gelidium* sp. começou a apresentar um decréscimo mais pronunciado na eficiência de captação, a partir do sétimo ciclo, decréscimo este não tão pronunciado quanto o observado, por exemplo, para a *Codium* sp..

A *Sargassum* sp. foi a alga que manteve sua integridade estrutural com uma eficiência de captação do metal em torno de 100 %, em todos os ciclos de bioabsorção e dessorção realizados. Esse fato, associado à elevada carga de captação e eficiência no tratamento de soluções moderadamente concentradas, confere a essa feofíceia um maior potencial para emprego na bioabsorção de cádmio, a partir de efluentes industriais que contenham metais pesados.

#### 4 - CONCLUSÕES

- Todas as algas marinhas testadas apresentaram bom desempenho no processo, destacando-se a *Sargassum* sp., pela elevada carga de captação e alta eficiência no tratamento de soluções de cádmio moderadamente concentradas.
- Em dez. ciclos sucessivos de bioabsorção/dessorção, nas condições experimentais estudadas, a *Sargassum* sp. foi a alga de melhor desempenho, com eficiência de bioabsorção em torno de 100 % durante todos os ciclos, mantendo sua integridade estrutural, e com capacidade de captação e eficiência de tratamento compatíveis com o processo.

#### 5 - BIBLIOGRAFIA

1. VOLESKY, B. *Biotec*, v.2., p.135-149, 1988.
2. BEVERIDGE, T.J. *Annual Review of Microbiology*, v.43, p.147-171, 1989.
3. SAKAGUCHI, T.; NAKAJIMA, A.; TSURUTA, T. *In: IV Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology*, 1994, Concepción, Chile.
4. NAKAJIMA, A.; SAKAGUCHI, T. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.57, p.321-326, 1993.
5. COSTA, A.C.A.; LEITE, S.G.F. *Biotechnology Letters*, v.13, p.559-562, 1991.
6. ASHLEY, N.V.; ROACH, D.J.W. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.49, p.381-394, 1990.
7. GADD, G.M.; WHITE, C. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.55, p.39-44, 1992.
8. ARTOLA, A.; RIGOLA, M. *Biotechnology Letters*, v.14, p.1199-1204, 1992.

9. KUYUCAK, N.; VOLESKY, B. *Biorecovery*, v.1, p.189-204, 1989.
10. COSTA, A.C.A.; LEITE, S.G.F. *Biotechnology Letters*, v.12, p.941-944, 1990.
11. REES, D.A. *Chemistry and Industry*, n.8, p.630-636, 1972.
12. PERCIVAL, E. *British Phycological Journal*, v.14, p.103-117, 1979.
13. KUYUCAK, N. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 33, p. 809-814, 1989.
14. KUYUCAK, N.; VOLESKY, B. *Biorecovery*, v.1, p.189-204, 1989.
15. COSTA, A.C.A.; FRANÇA, F.P. *In: III Congreso Internacional de Química de la Anque - Residuos solidos y liquidos: su mejor destino (II)*, 1994, Puerto de la Cruz, Tenerife.
16. COSTA, A.C.A.; COSTA, C.L.; TELES, E.M.F. *In: First Labs! Latin American Biodeterioration Symposium*, 1992, Campos do Jordão, São Paulo.
17. ONSOYEN, E.; SKAUGRUD, O. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v.49, p.395-404, 1990.
18. BRIERLEY, J.A.; BRIERLEY, C.L.; GOYAK, G.M. *In: Proceedings of the 6th International Symposium on Biohydrometallurgy*, 1985, Vancouver.
19. SCOTT, C.D. *Biotechnology and Bioengineering*, v.39, p.1064-1068, 1992.
20. BARKLEY, N.F. *U.S. Environmental Protection Agency*, EPA/540/s%-90/005, 1990.
21. JEFFERS, T.H.; FERGUSON, C.R.; BENNETT, P.G., *U.S. Department of Interior, Bureau of Mines*, Report of Investigation 9340, 1991.