

MONITORAMENTO ECOTOXICOLÓGICO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS DA VEGA DO SUL-ARCELOR BRASIL¹

José Alberto Schweitzer²
Valdir Tomaz de Aquino³
Evandro Abreu de Souza⁴
Leonardo R. Rörig⁵
Valéria R. Bellotto⁶

Resumo

O presente trabalho apresenta os resultados de um programa de monitoramento ecotoxicológico dos efluentes líquidos da Vega do Sul-Arcelor Brasil (São Francisco do Sul – SC), que foi instituído para atender as exigências de legislação ambiental do Estado de Santa Catarina e também para ser utilizado como instrumento de gestão dos Efluentes da empresa. Foram utilizadas duas abordagens: (1) Ensaio Ecotoxicológico Padronizados com 3 Organismos -Teste e; (2) Avaliação da Bioacumulação de Metais e Respostas Biológicas Associadas em Moluscos. No caso dos ensaios ecotoxicológicos, realizados com os organismos *Daphnia magna*, *Skeletonema costatum* e *Vibrio fischeri*,. No caso do estudo de bioacumulação, tanto as concentrações de metais em mexilhões como as respostas fisiológicas mostraram ausência de contaminação.

Palavras-chave: Meio ambiente; Efluentes; Monitoramento; Ecotoxicológico.

ECOTOXICOLOGIC MONITORING OF THE FLUID EFFLUENTS OF VEGA DO SUL-ARCELOR BRASIL

Abstract

The present article introduces the results of an Ecotoxicologic Monitoring Program of the fluids effluents of Vega do Sul-Arcelor Brasil Company (São Francisco do Sul – SC), to attend the requirements of the Environmental Legislation of Santa Catarina State and also to be used as a tool of management for the residues produced by the Company. There were used two approaches for the experiment: (1) Ecotoxicologic trials gauged using 3 different Test-Organisms, and; (2) Evaluation of the heavy metals Bioaccumulation and Biological Answers Associated in Mollusks. In the case of the ecotoxicologic trials, executed using *Daphnia magna*, *Skeletonema costatum* and *Vibrio fischeri* organisms. In the bioaccumulation trials, either the concentrations of heavy metals in mussels or the physiological answers indicated absence of contamination.

Key words: Environment; Effluents; Monitoring; Ecotoxicological.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Engenheiro Agrônomo- Departamento GSE –Vega do Sul-Arcelor Brasil
Jose.alberto@vegadosul.com.br

³ Engenheiro Químico- Departamento GSE – Vega do Sul-Arcelor Brasil
Valdir.tomaz@vegadosul.com.br

⁴ Engenheiro Químico-Gerente Segurança, Saúde e Meio Ambiente– Departamento GSE- Vega do Sul-Arcelor Brasil
Evandro.souza@vegadosul.com.br

⁵ Doutor em Ecologia e Recursos Naturais - Laboratório de Microbiologia Aplicada – CTTMar – UNIVALI, Rua Uruguai, 458 – CEP: 88.302-202 – rorig@univali.br

⁶ Doutora em Química Analítica – Laboratório de Oceanografia Química – CTTMar – UNIVALI, Rua Uruguai, 458 – CEP: 88.302-202 – bellotto@univali.br

INTRODUÇÃO

A Vega do Sul-Arcelor Brasil é uma unidade industrial especializada na transformação de aços carbonos planos, localizada em São Francisco do Sul - SC. Com modernos processos de decapagem, laminação a frio e galvanização, a empresa fornece bobinas de aço para os segmentos automobilístico, Linha Branca (eletrodomésticos), construção civil, tubos e perfilados, distribuição entre outros. A matéria-prima, (bobinas de aço laminadas a quente), é fornecida pela Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), um dos mais modernos e eficientes produtores mundiais de aços planos. A unidade industrial tem 100 mil metros quadrados de área construída e ocupa menos de 10% do terreno, apresentando uma grande área de preservação ambiental. A operação iniciou em meados de 2003, produzindo anualmente 880 mil toneladas de aço decapado, laminado a frio e galvanizado a quente. A política da Vega do Sul-Arcelor Brasil, apóia-se nos princípios fundamentais da Qualidade Total e na estratégia global do Grupo, visando mobilizar os esforços de todos para satisfazer às necessidades e exigências dos Clientes, com preocupação na rentabilidade econômica, na criação de valor, na garantia da segurança do ser humano e das instalações, e na preservação do Meio Ambiente. O Sistema de Gestão Integrada da Vega do Sul-Arcelor Brasil atende às exigências das normas internacionais relativas à Qualidade, à Gestão Ambiental e à Segurança e Saúde.

O processo fabril da Vega do Sul-Arcelor Brasil apresenta três linhas principais, geradoras de efluentes: decapagem, galvanização e laminação. Estas geram 5 efluentes líquidos parciais (ELPs), além do efluente líquido final (ELF), a saber: (1) ELP da decapagem; (2) ELP bruto da laminação, antes do tratamento físico-químico; (3) ELP da laminação após o tratamento físico-químico (separação de óleos, coagulação, floculação e aeroflotação); (4) ELP bruto da galvanização, antes do tratamento físico-químico e (5) ELP da galvanização após o tratamento físico-químico (correção de pH, homogeneização, coagulação, floculação, aeroflotação). O ELF consiste na mistura dos ELPs, e seu processamento passa por uma Estação de Tratamento de Efluentes com técnicas avançadas de tratamento biológico (lodos ativados) e desinfecção com Ultra Violeta, após etapas de tratamento físico-químico. O reaproveitamento da água pela unidade industrial é superior a 98,5%, sendo os efluentes praticamente livres de resíduos.

O monitoramento eco-toxicológico dos efluentes da Vega do Sul-Arcelor Brasil incluiu 2 abordagens: (1) Ensaio Ecotoxicológicos do efluente tratado, Padronizados com 3 Organismos-Teste e; (2) Avaliação da Bioacumulação de Metais e Respostas Biológicas Associadas em Moluscos, no local de lançamento dos efluentes. No caso dos ensaios ecotoxicológicos, foram utilizados os organismos *Daphnia magna* (microcrustáceo), *Skeletonema costatum* (microalga) e *Vibrio fischeri* (bactéria), pertencentes a três níveis diferentes da cadeia alimentar de um ecossistema aquático (consumidor primário, produtor primário e decompositor). Essa abordagem otimiza a interpretação e extrapolação ecológica de resultados de testes ecotoxicológicos.⁽¹⁾ Com isso é possível pressupor efeitos cumulativos e também distúrbios específicos na estrutura ecológica dos ambientes em foco. Adicionalmente, diversos estudos mostram que grupos de organismos de determinados níveis tróficos apresentam sensibilidades diferenciadas para cada classe de poluentes.⁽²⁾ No Estado de Santa Catarina o órgão ambiental exige, através da Portaria FATMA nº 017 de 18/04/2002, a execução de dois ensaios ecotoxicológicos com efluentes industriais: *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri*. No

presente programa, por iniciativa da empresa, foi acrescentado o teste com microalga, que se mostrou mais sensível que os outros dois, em testes preliminares.

A Avaliação da Bioacumulação de Metais e Respostas Biológicas Associadas em Moluscos aplica a técnica de transplante,^(3,4) com mexilhões da espécie *Perna perna*, que é natural da região. Os moluscos bivalves, entre eles os mexilhões, são reconhecidamente os melhores biomonitores em ambientes aquáticos e utilizados em programas nacionais e internacionais de monitoramento ambiental (“MUSSEL WATCH PROGRAM”).⁽⁵⁾ As análises químicas nos diversos compartimentos do ambiente são úteis na determinação do grau e da natureza dos contaminantes. Entretanto, estes dados isolados não identificam as conseqüências biológicas da contaminação, já que as mesmas não permitem determinar os efeitos tóxicos, nem prevêem a biodisponibilidade destes compostos.⁽⁶⁾ Dessa forma, informações acerca da fração biodisponível dos contaminantes são indispensáveis para delinear as relações de causa e efeito entre os compostos químicos no ambiente marinho e as disfunções biológicas observadas.

Nesse contexto, os biomarcadores de efeito têm sido utilizados com muito sucesso em situações de exposição subletal, como instrumento de uma advertência prévia de estresse induzido por poluentes. A grande vantagem desses métodos é sua sensibilidade a baixos níveis de contaminação no ambiente, subsidiando tomadas de decisões, em tempo hábil, no intuito de remediar situações de risco, antes que as mesmas alcancem níveis irreversíveis.⁽⁷⁾ Sementes de mexilhões (organismos jovens de 3-4 cm em média) retiradas de uma área livre de contaminação são colocadas em lanternas utilizadas tradicionalmente no cultivo de ostras. Estas lanternas são colocadas no ambiente a ser estudado. Após o tempo de exposição, os mexilhões são retirados e submetidos ao chamado *teste do vermelho neutro*. Este método foi desenvolvido pelo Grupo de Especialistas sobre os Efeitos de Poluentes (GEEP) da UNESCO e implementado através de um programa internacional, denominado de RAMP (*Rapid Assessment of Marine Pollutants*). Moluscos de áreas potencialmente impactadas, apresentam um menor tempo de retenção do corante vermelho neutro pelos compartimentos lisossômicos (estrutura intracelular) e levam menos tempo para apresentar anormalidades em suas células, devido à redução da estabilidade da membrana lisossomal, quando comparados com moluscos oriundos de áreas limpas. Em síntese, detectam-se com esse método, alterações celulares em organismos que filtram a água do mar. Se essa água estiver poluída, ainda que em concentrações muito baixas, anormalidades celulares serão detectadas nos mexilhões.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensaio Ecotoxicológico

Foram realizadas 22 coletas quinzenais de efluente tratados na Estação de Tratamento de Efluentes da empresa Vega do Sul, entre janeiro e novembro de 2005. Em cada amostragem, foram coletados 20 litros de efluente em galões de plástico inerte sendo acondicionados em caixa de isopor com gelo. Todos os frascos foram preenchidos até a borda e hermeticamente tampados e processados em no máximo duas horas. Com as amostras foram executados três tipos de testes de toxicidade: (a) teste de inibição da luminescência na bactéria *Vibrio fischeri* (conforme norma ISO/TC 147/SC5 ISO/DIS 11348-1);⁽⁸⁾ (b) teste de inibição do crescimento da microalga *Skeletonema costatum* (conforme norma ISO/TC 147/SC

5/WG5 N° 120);⁽⁹⁾ e (c) teste de inibição da mobilidade do microcrustáceo *Daphnia magna* (conforme norma ISO 6341).⁽¹⁰⁾ Esses testes são padronizados internacionalmente e indicam se as amostras podem ter efeitos tóxicos em componentes dos ecossistemas, gerando um índice quantitativo dessa toxicidade. No caso de *Daphnia magna* e *Vibrio fischeri* o índice utilizado é o Fator de Diluição (FD). Quanto maior o FD de uma amostra, mais tóxica ela é, ou seja, mais ela precisa ser diluída para neutralizar seus efeitos tóxicos no ambiente. No caso da microalga *Skeletonema costatum* o índice é a Concentração Efetiva Mediana (CE₅₀), ou seja, é a concentração de amostra que inibe 50% da atividade fisiológica do organismo em relação a um controle em condições ótimas, não submetido a essa amostra. Nesse caso quanto menor a CE₅₀, mais tóxica é a amostra.

Avaliação da Bioacumulação de Metais e Respostas Biológicas Associadas em Moluscos

Sementes de mexilhões (organismos jovens de 3-4 cm em média) retiradas de uma área-controle (livre de contaminação) foram colocadas em lanternas utilizadas tradicionalmente no cultivo de ostras. Duas lanternas foram dispostas junto ao local de lançamento do efluente (emissário), uma ao norte e outra ao sul, e outras duas em uma área livre de contaminação, considerada como controle (Armação de Itapocoroy, Município de Penha - SC). Uma amostra destes organismos (20 indivíduos) foi processada e analisada no início do experimento (março de 2005) para determinar as concentrações iniciais de metais incorporados no tecido dos mesmos e as condições biológicas iniciais. Após dois meses foram coletados 20 indivíduos de cada lanterna para novas análises químicas e novos testes biológicos. Os metais analisados nos mexilhões foram cobre, cádmio, zinco, níquel e ferro. As respostas biológicas foram avaliadas através do ensaio do tempo de retenção do vermelho neutro - análise da estabilidade da membrana lisossômica.

RESULTADOS

Ensaio Ecotoxicológicos

Os testes com *V. fischeri* mostraram oscilações na toxicidade do efluente final da Vega do Sul-Arcelor Brasil, sendo que apenas uma das amostras analisadas no presente relatório ultrapassou o limite de FD estabelecido pela Portaria 017/02 da FATMA-SC (Figura 1).

Os ensaios com *Skeletonema costatum* mostraram que esse organismo-teste é o mais sensível para detectar toxicidade nesses efluentes (Figura 2).

Os ensaios com *Daphnia magna* foram os que mostraram os menores valores de toxicidade entre os três organismos testados. Na verdade, somente três amostras (04/04/05; 18/05/05 e 27/07/05) mostraram algum efeito, sendo que nas demais amostras não houve efeito algum nem com o efluente a 100% (Figura 3).

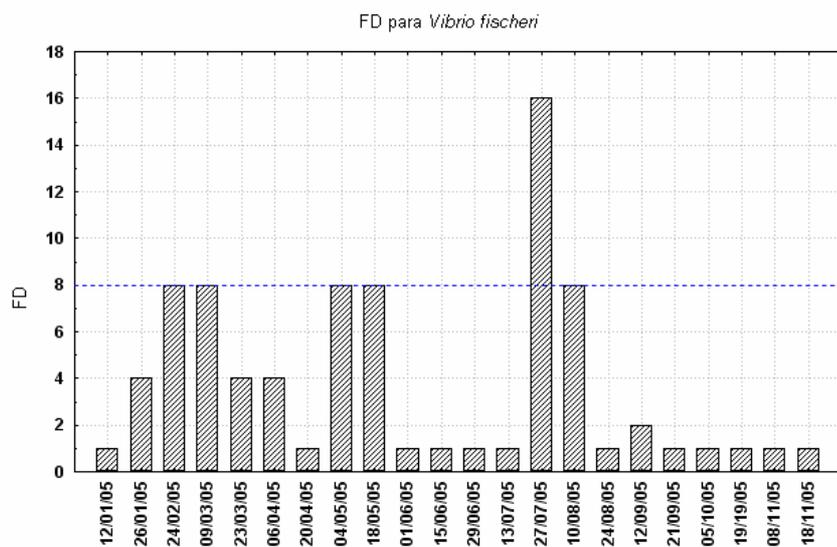


Figura 1. Valores de FD obtidos no teste com *Vibrio fischeri* (Lumistox) com as amostras do efluente final da Vega do Sul coletadas entre janeiro de 2005 e novembro de 2005. A linha tracejada indica o limite máximo de FD para esse teste para indústrias metalúrgicas conforme a Portaria 017/02 da FATMA-SC.

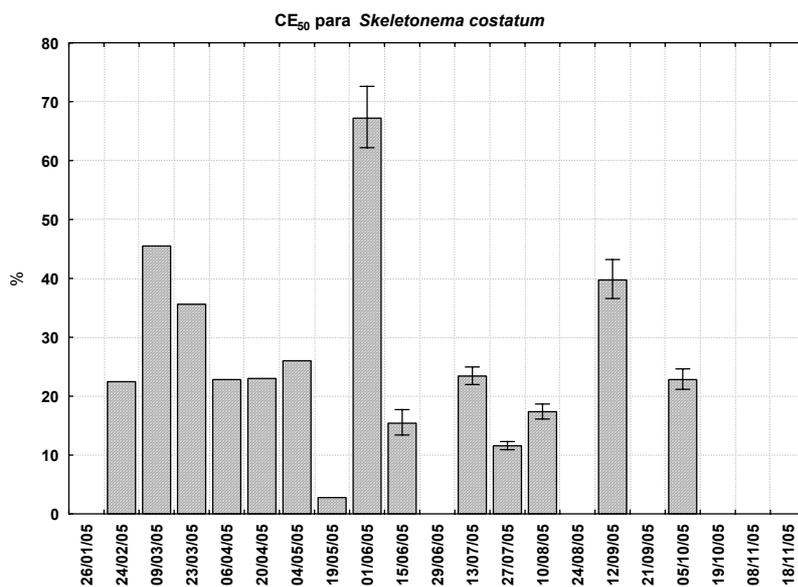


Figura 2. Valores de CE₅₀ obtidos no teste com *Skeletonema costatum* com as amostras do efluente final da Vega do Sul coletadas entre janeiro e novembro de 2005. As barras indicam os limites superior e inferior da estimativa de CE₅₀. Datas onde não há essas barras indicam que esses limites não eram calculáveis segundo o método Trimmed Spearman-Kärber.

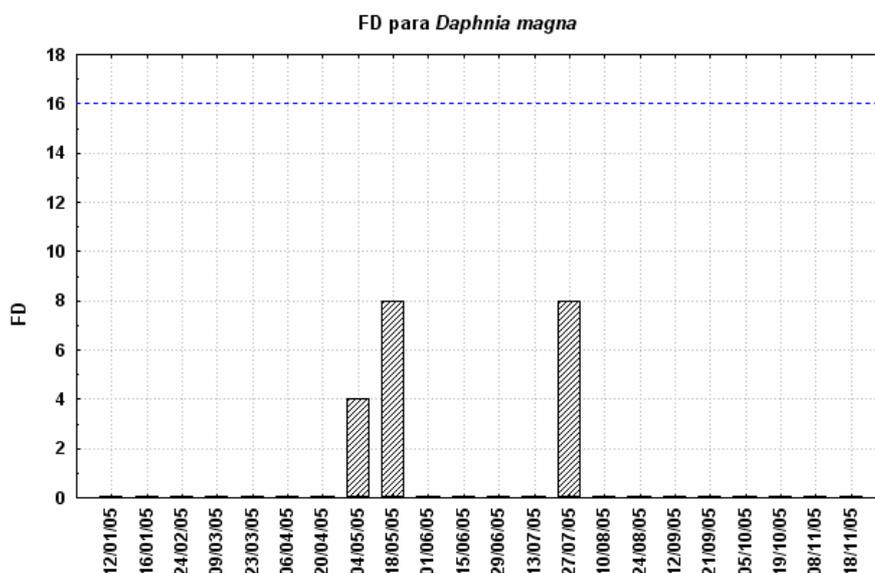


Figura 4. Valores de FD obtidos para os testes com *Daphnia magna* com as amostras de efluente final da Vega do Sul coletadas entre janeiro de 2005 e novembro de 2005. A linha tracejada indica o limite máximo de FD para esse teste para indústrias metalúrgicas conforme a Portaria 017/02 da FATMA-SC.

Bioacumulação de Metais e Respostas Biológicas Associadas em Moluscos

Em relação a bioacumulação de metais em mexilhões, para o período de 30 de março a 01 de junho de 2005 foram registrados valores significativamente mais elevados ($p < 0,05$) somente para cobre para os mexilhões transplantados na área do emissário, tanto ao norte quanto ao sul, quando comparados ao controle; bem como para cádmio para os mexilhões transplantados ao sul do emissário. Níquel apresentou concentrações inferiores nos mexilhões da área do emissário em relação à área controle (Penha). As concentrações de todos os metais neste experimento são inferiores àsquelas encontradas nos mexilhões transplantados para a zona do emissário, bem como na área controle para o período de monitoramento do ano de 2005.

O Teste do Vermelho Neutro envolveu a análise do tempo de retenção do vermelho neutro nas células da hemolinfa (nos hemócitos) extraída de 20 mexilhões de cada lanterna transplantada e 20 indivíduos da área controle. Os resultados foram registrados como tempo de retenção, expressos em minutos, e analisados através de teste estatístico não paramétrico (teste de Kruskal-Wallis) para verificação da existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) de médias entre os três grupos de mexilhões. Em nenhuma ocasião o teste evidenciou diferença significativa ($p = 0,3186$) no tempo médio de retenção do vermelho neutro entre a área do emissário e a área controle (Penha), indicando não estar havendo dano celular nos organismos expostos ao efluente tratado, lançado no mar através do emissário submarino.

DISCUSSÃO

A toxicidade do efluente para a bactéria *Vibrio fischeri* nos primeiros 6 meses foi quase sempre visível, mas nunca ultrapassando os limites do FD sendo que apenas no dia 27/07/05 houve uma ultrapassagem destes limites.

Para a microalga *Skeletonema costatum*, que foi o organismo mais sensível ao efluente, após a data de 19/05/05 houve queda abrupta da toxicidade, refletindo a eficiência das práticas de controle no tratamento de efluentes já citadas acima na discussão dos resultados para *Vibrio fischeri*. Os valores foram bastante variáveis, evidenciando pequenas mudanças nas características dos efluentes e a elevada sensibilidade do testes com *S. costatum*.

O teste com *Daphnia magna* não mostrou toxicidade significativa em qualquer ocasião. Se por um lado esse resultado mostra que *D. magna* é menos sensível que *S. costatum* e *V. fischeri*, por outro, evidencia a baixa toxicidade do efluente final.

Um fato importante a ser ressaltado é que o organismo mais sensível não é exigido pelo órgão ambiental, mas a empresa decidiu utilizá-lo. Essa opção possibilita um controle mais rígido da qualidade dos efluentes, já que a microalga responde melhor que os outros organismos, permitindo uma margem de segurança mais exigente que a própria legislação estadual.

Assim, os testes de toxicidade têm se mostrado bastante eficientes para monitorar a qualidade dos efluentes e também para permitir medidas mitigadoras, pois com os resultados a empresa pode detectar alterações na eficiência do sistema de tratamento e adotar medidas corretivas.

Importante destacar que os monitoramentos ecotoxicológicos são complementares ao Monitoramento Físico – Químico realizado na estação de tratamento de efluentes, que tem demonstrado total enquadramento dos parâmetros definidos pela resolução CONAMA 357/05 e Decreto estadual 14.250/81.

Em relação ao experimento de bioacumulação, comparando-se, ainda, as concentrações médias de metais nos mexilhões transplantados, bem como naqueles da área controle, com o limite máximo de tolerância para contaminantes inorgânicos em alimento para consumo humano, segundo a legislação vigente, constatou-se que os metais investigados estão bem abaixo do limite máximo permitido. Finalmente, os resultados obtidos até o momento indicam que não está ocorrendo acumulação de metais pela biota, indicando que a disponibilidade de metais no meio não está sendo ampliada pela atividade da planta industrial da Vega do Sul-Arcelor Brasil. Além disto, os níveis de metais nos mexilhões transplantados mantiveram-se muito abaixo dos limites máximos toleráveis para consumo humano, seguindo-se os padrões estabelecidos pela legislação brasileira.

O tipo de monitoramento realizado pela Vega do Sul-Arcelor Brasil em conjunto com a UNIVALI é inédito em Santa Catarina e mostrou-se muito útil para a empresa avaliar a eficiência de suas práticas de controle de poluição e para esclarecer as autoridades e opinião pública essas questões. Por um lado, a empresa ganha credibilidade e capacidade de gestão ambiental e por outro, a universidade ganha experiência prática para alunos e professores e infra-estrutura útil à atividades de ensino, pesquisa e extensão.

REFERÊNCIAS

- 1 CHEUNG, Y.H.; NELLER, A.; CHU, K.H.; TAM, N.F.Y; WONG, C.K.; WONG, Y.S.; WONG, M.H. (1997). Assessment of sediment toxicity using different trophic organisms. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 32: 260-267.
- 2 LEWIS, M.A. (1990). Are laboratory-derived toxicity data for freshwater algae worth the effort? *Environmental Toxicology and Chemistry*, 9: 1279-1284.
- 3 TREFRY, J.H.; NAITO, K.L.; TROCINE, R.P.; METZ, S. Distribution and bioaccumulation of heavy metals from produced water discharges to the Gulf of Mexico. *Water Science and Technology*, 32(2): 31-6,1995.
- 4 BELLOTTO, V.R. Estudos sobre a bioacumulação de metais em mexilhões *Perna perna* (tecido mole e conchas), empregando-se as técnicas de SN-ICPMS e LA-ICPMS. 2000.171f.. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Departamento de Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 5 GOLDBERG, E.D.; BOWEN, V.T.; FARRINGTON, J.W.; HARVEY, G.; MARTIN, J.H.; PARKER, P.L.; RISEBROUGH, R.W.; ROBERTSON, W.; SCHNEIDER, E.; GAMBLE, E.. The Mussel Watch. *Environmental Conservation*, v.5, p.101-125, 1975.
- 6 MARQUENIE, J.M. Bioavailability of micropollutants. *Environmental Technology Letters*. V.6, P. 351-358, 1985.
- 7 WEDDERBURN, J.; McFADZEN, I.; SANGER, R.C.; BEESLEY, A. HEAYH, C. ; HORNSBY, M.; LOWE, D.. The field application of cellular and physiological biomarkers, in mussel *Mytilus edulis*, in conjunction with early life stage bioassay and adult histopathology. *Marine Pollution Bulletin*, v.40 (3): 257-267, 2000.
- 8 ISO 11348-2. (1998). Water quality - Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) - Part 1: Method using freshly prepared bacteria.
- 9 ISO 10253: 2006 - Water quality - Marine algal growth inhibition test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*, 2006-04-10, TC ISO/TC 147/SC 5.
- 10 ISO 6341. (1996). Water quality - Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) - Acute toxicity test.