

# DETERMINAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS NA ALGA MARINHA BENTÔNICA LOCALIZADA NO SACO DE PIRAQUARA DE FORA, ANGRA DOS REIS/RJ.

Patrícia V. S. Arantes and Sergio N. M. Cardoso

ELETRONUCLEAR S. A.  
Laboratório de Monitoração Ambiental  
Rua Bahia, s/n<sup>o</sup> - Mambucaba - Angra dos Reis/RJ  
CEP 23.908-000

## RESUMO

O Laboratório de Monitoração Ambiental, localizado na Vila Residencial de Mambucaba, tem por objetivo principal, monitorar todo o meio ambiente ao redor da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), verificando assim, a influência operacional no ecossistema.

A Usina de Angra I libera constantemente água proveniente do sistema de tratamento de rejeitos líquidos (evaporadores de rejeito/reciclagem). A água, antes de ser lançada ao mar, é analisada química e radioquimicamente, para verificar se os contaminantes dissolvidos estão dentro das especificações estabelecidas pela FEEMA, para as análises químicas e pela CNEN, para as análises radioquímicas.

Dentre os contaminantes radioativos analisados, estão o  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  e  $^{54}\text{Mn}$ , resultantes da ativação dos produtos de corrosão no sistema primário e os produtos de fissão  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , produzidos durante a operação.

Para monitorar e acompanhar a possível liberação destes radionuclídeos no mar e sua incorporação aos organismos marinhos, foi criado o Programa de Monitoração Ambiental Radiológico Especial - PMARE, tendo como um dos objetivos, acompanhar a absorção dos radionuclídeos  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$  em algas do Gênero *Sargassum* localizadas nas proximidades da descarga da Usina, no Saco de Piraquara de Fora. As algas são consideradas excelentes bioindicadoras, uma vez que apresentam-se fixas às rochas e por serem organismos totalmente dependentes da qualidade da água que as circundam, conseqüentemente de um determinado local, sendo então alvo fácil para a detecção destes radionuclídeos.

As algas são coletadas bimestralmente e analisadas pelo Laboratório.

O trabalho apresenta o processo de amostragem (coleta), preparo, análises dos radionuclídeos e os resultados obtidos.

**Palavras-chaves:** Radionuclídeos, Alga marinha, Angra dos Reis, Brasil, Bioindicadores

## I. INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos têm demonstrado que as comunidades de costões rochosos, sobretudo as macroalgas, sofrem impactos ambientais bastante severos, sejam eles causados diretamente pela atividade humana como despejos domésticos e industriais [1] ou indiretamente através das águas das chuvas escoadas pelo solo e também pelos fenômenos naturais (erupção vulcânica).

Recentemente estudos no Brasil vem mostrando a preocupação com a proteção dos ecossistemas marinhos contra a poluição. Poucas são, no entanto, as pesquisas voltadas para a avaliação do impacto ecológico de

poluentes lançados no mar, que visem a compreensão de seus efeitos sobre o ambiente [2].

A poluição, assim como todas as mudanças ambientais causadas pela atividade humana tem, certamente, aumentado desde o século passado.

Vários são os fatores abióticos e bióticos que interferem na distribuição, estabelecimento, abundância e crescimento das algas [3].

As macroalgas são capazes de resistir e aclimatar-se a diferentes condições ambientais, desde que as mudanças sejam realizadas progressivamente, mas se esta é fatal às outras, o equilíbrio ecológico pode ser rompido, afetando a médio ou a longo prazo, todas as formas de vida

interdependentes [4], além de alterar drasticamente a abundância de outros organismos.

As algas marinhas macroscópicas são consideradas de grande importância devido principalmente por serem organismos sésseis, ou seja, apresentam-se fixos ao substrato, e portanto, excelentes bioindicadores das condições ambientais, com o poder de acumular elementos poluentes despejados no meio marinho pela ação do homem [5]; [6] e constituem um dos elos principais da cadeia alimentar, propiciando um habitat para outros organismos, além servirem de base para a fixação de outras algas [7].

Estas são ainda altamente sensíveis às variações ambientais, já que os talos das algas respondem de maneiras diferentes a essa ação e, se submetida a condições totalmente adversas, pode-se observar a exclusão de determinada espécie com a possível substituição dessa por outra mais resistente. Além disso, são relativamente fáceis de serem coletadas em grande quantidade para verificação das substâncias químicas acumuladas em suas frondes, ao longo do tempo [8] e [9].

O Laboratório de Monitoração Ambiental, localizado na Vila Residencial de Mambucaba, tem por objetivo principal monitorar todo o meio ambiente ao redor da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA), verificando assim, a influência operacional desta Central no ecossistema.

Sabemos que a Usina Nuclear de Angra I, libera constantemente água proveniente do sistema de tratamento de rejeitos líquidos (evaporadores de rejeito e de reciclagem). A água, antes de ser lançada ao mar, é analisada química e radioquimicamente, para verificar se os contaminantes dissolvidos estão dentro das especificações estabelecidas pela Fundação Estadual de Engenharia de Meio Ambiente (FEEMA), para as análises químicas e pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), para as análises radioquímicas.

Dentre os contaminantes radioativos analisados, estão o  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  e  $^{54}\text{Mn}$ , resultantes da ativação dos produtos de corrosão dos materiais estruturais do sistema primário e os produtos de fissão  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , produzidos durante a operação da Usina.

Para monitorar e acompanhar a possível liberação destes radionuclídeos no mar e sua incorporação aos organismos marinhos, foi criado o Programa de Monitoração Ambiental Radiológico Especial - PMARE.

Este programa tem como um dos objetivos, acompanhar a absorção dos radionuclídeos  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$  em algas do Gênero *Sargassum* localizadas nas proximidades da descarga dos efluentes líquidos da Usina, no Saco de Piraquara de Fora.

Este estudo visa determinar os níveis de alguns radionuclídeos no Gênero da alga parda *Sargassum*.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os efluentes líquidos são liberados pela Usina Nuclear de Angra I, para o Saco de Piraquara de Fora. Os pontos de coleta denominados de 26, 29 e 47 das algas que

têm sido estudadas desde o período pré-operacional (1982), foram selecionados através de um levantamento de toda a área monitorada. Estes pontos pertencem à área de impacto, definida como sendo a de sofrer uma provável influência de uma liberação indevida da Usina.

Foi escolhido, também, um outro ponto situado em uma área mais afastada da Usina que é usada como controle na Praia de Tarituba, à 25km da CNAEA, em direção a Paraty.

Talos da alga parda do Gênero *Sargassum* são coletados bimestralmente na região do infralitoral do costão rochoso no Saco Piraquara de Fora, até 3m de profundidade, por meio de mergulho em apnéia, quando as condições são favoráveis, em seguida acondicionados em sacos plásticos e levados para o Laboratório de Monitoração Ambiental, em Mambucaba.

Na sala de preparo de amostra o material é triado e limpo em água do mar e água destilada com a finalidade de retirar as algas epífitas, outros organismos acompanhantes e o excesso de sedimento. Posteriormente, são colocados no forno para calcinação com elevação gradativa da temperatura até  $400^{\circ}\text{C}$  para a retirada da matéria orgânica (transformada em  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ ), ficando-se somente com a parte inorgânica, ou seja, as cinzas.

Esse processo de calcinação não mascara o resultado, uma vez que, todos os radionuclídeos objetos do estudo, não são voláteis nessa temperatura. Em seguida este material é moído, peneirado e acondicionado em frascos tipo Caubit para posterior análise radiométrica.

A análise é realizada usando-se um detector de alta pureza (HpGe) e um sistema analisador multicanal série 90 da Canberra, acoplado a um computador PDP 11/24 Digital ( em serviço no Laboratório desde 1987) para identificar e quantificar os radionuclídeos presentes nas amostras.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde o período pré-operacional da Usina Nuclear de Angra I (período compreendido entre 1979 e 1982) [10], as algas são coletadas e analisadas para a determinação dos radionuclídeos artificiais  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , que são produzidos no reator e que podem, também, ocorrer na natureza (e serem detectados) como "fall out", isto é, radionuclídeos produzidos por explosões de bombas atômicas atmosféricas, fato muito comum nos anos 60 e 70.

Os demais radionuclídeos artificiais pesquisados ( $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$  e  $^{60}\text{Co}$ ) são produzidos apenas no reator, já que são elementos produtos de corrosão que são ativados ao passar no núcleo. Sua pesquisa foi iniciada, então, a partir de 1987 após a entrada de Angra I em operação comercial.

Na Tabela I, também estão incluídos outros radionuclídeos artificiais apenas como informação, uma vez que as análises demonstraram que, até hoje, não foram detectadas as presenças de  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{54}\text{Mn}$  nas amostras de algas, o que caracteriza que a Usina tem

operado dentro dos padrões estabelecidos de segurança para a preservação do meio ambiente.

A Tabela I, também apresenta os valores das Atividades Mínimas Detectáveis (AMD) para as análises. Nela estão descritas as AMD's adotadas pelo Laboratório (Eletronuclear) e que são os valores de atividades mínimas obtidos pelo equipamento de análise, os Níveis de Registro, estabelecidos nos Relatórios Finais de Análise de Segurança (RFAS) de Angra I [11] e Angra II [12] e aceitos pela CNEN como limites para registro e investigação, e os limites mínimos estabelecidos pela norma "Regulatory Guide 4.81" [13] para peixes. A norma não menciona os AMD's para algas, uma vez, que só considera os que estão no caminho crítico ao homem adotados pelo Laboratório.

Vale ressaltar que, nos últimos anos, as algas vem sendo estudadas quanto a sua utilização em diferentes áreas ligadas diretamente ao homem como, por exemplo, nas indústrias alimentícias, de cosméticos, têxtil, na agricultura e até mesmo na medicina.

TABELA I. Valores médio das Atividades Mínimas Detectáveis adotadas em Bq/Kg<sup>-1</sup> de cinza úmida.

ALGA			
Radionuclídeo	AMD <sup>a</sup> Reg. Guide	AMD Eletronuclear	Nível <sup>b</sup> Registro
<sup>54</sup> Mn	4,81	0,20	1110
<sup>59</sup> Fe	4,81	0,50	370
<sup>58</sup> Co	4,81	0,41	1110
<sup>60</sup> Co	4,81	0,41	370
<sup>65</sup> Zn	4,81	0,50	740
<sup>95</sup> Zr	4,81	0,30	-
<sup>95</sup> Nb	4,81	0,19	-
<sup>131</sup> I	4,81	0,22	-
<sup>134</sup> Cs	4,81	0,12	0,37
<sup>137</sup> Cs	4,81	0,16	74
<sup>140</sup> Ba	4,81	0,70	-
<sup>140</sup> La	4,81	0,24	-

a - Estes valores são os reportados para peixes, pois a norma não estabelece AMD'S para algas.

b - não existe valores

O dois únicos radionuclídeos que têm sido detectados nas amostras de algas são os <sup>58</sup>Co e <sup>60</sup>Co, cujos valores de atividade estão reportados na tabela II e Figuras 1 e 2, mas que não superam os do programa pré-operacional.

Trata-se dos elementos mais significativos produzidos no reator, pois são resultantes da ativação do <sup>58</sup>Ni e, constituinte principal da liga de Inconel 600 dos tubos dos Geradores de Vapor e do <sup>59</sup>Co, constituinte de ligas de "stellite" de diversas bombas do sistema primário.

TABELA II. Atividade média dos radionuclídeos <sup>58</sup>Co e <sup>60</sup>Co (Bq/Kg<sup>-1</sup> úmido) encontrada na alga do Gênero *Sargassum* ao longo dos anos monitorados.

PONTOS	Tarituba Controle		26 Impacto		29 Impacto		47 Impacto	
	Co 58	Co 60	Co 58	Co 60	Co 58	Co 60	Co 58	Co 60
ANOS								
1987	< AMD	<AMD	0,57	0,33	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD
1988	< AMD	0,94	1,36	1,02	1,83	<AMD	<AMD	<AMD
1989	< AMD	0,61	0,55	0,74	0,51	<AMD	<AMD	<AMD
1990	< AMD	<AMD	0,50	<AMD	0,52	<AMD	<AMD	<AMD
1991	< AMD	<AMD	<AMD	0,35	0,41	<AMD	<AMD	<AMD
1992	< AMD	0,63	0,52	1,07	0,74	0,81	0,69	<AMD
1993	< AMD	0,38	0,47	0,87	0,91	0,40	<AMD	<AMD
1994	< AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD
1995	< AMD	1,88	<AMD	3,00	0,26	0,42	<AMD	<AMD
1996	< AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD
1997	< AMD	0,70	<AMD	0,84	<AMD	<AMD	<AMD	<AMD

O valor máximo obtido para <sup>58</sup>Co em 1995 está relacionado a apenas uma coleta e análise realizada no mês de agosto nos pontos 26 e 29. Entretanto, o ponto 29 apresentou os maiores valores por estar mais próximo do local de descarga e portanto, o ponto mais crítico, tabela II e Figura 1[14].

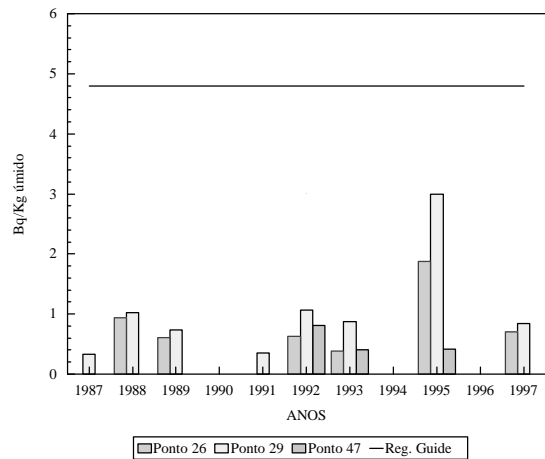


Figura 1. Atividade média do <sup>58</sup>Co na alga estudada

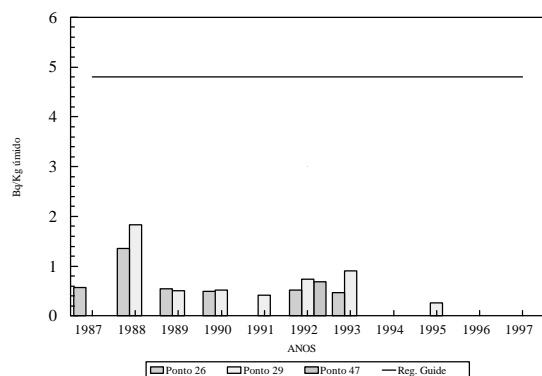


Figura 2 Atividade média do <sup>60</sup>Co na alga estudada

Como pode-se verificar na Figura 3, o mês de agosto apresentou a maior atividade de <sup>58</sup>Co liberada pela Usina, por isso, encontrou-se valores altos para este radionuclídeo nas amostras de algas do Gênero *Sargassum* nos pontos situados próximos à descarga da Usina.

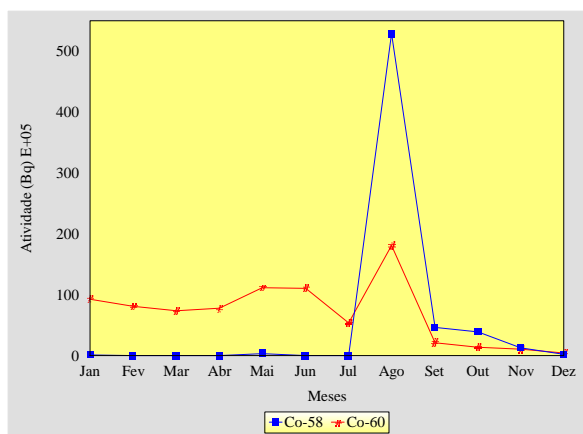


Figura 3: Atividade Total <sup>58</sup>Co e <sup>60</sup>Co liberada em 1995.

#### IV. CONCLUSÃO

Verificou-se que não foram detectados os radionuclídeos <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs e <sup>54</sup>Mn nas amostras de algas do Gênero *Sargassum* nos pontos definidos no Programa de Monitoração Ambiental ao longo dos anos monitorados.

Foram detectadas somente atividades de <sup>58</sup>Co e <sup>60</sup>Co nas amostras. No entanto, os valores encontrados estão bem abaixo dos limites de atividade mínima detectável (AMD) estabelecidos pelo "Regulatory Guide 4.81", o que demonstra não apenas que a Usina de Angra I está operando adequadamente, verificado pelos trabalhos de monitoração ambiental realizados como também segue a

norma existente de conduta da própria Eletronuclear para a preservação do meio ambiente.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Falcão, C.. **Avaliação do impacto dos hidrocarbonetos na comunidade de macroalgas por simulação de derrame de petróleo em experimentos "in situ" - Angra dos Reis.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Biofísica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 93p. - 1996.
- [2] Nipper, M. G.; Badaró-Pedroso, C.; José, V. F. & Prósperi, V. A. Problemas de poluição em organismos bentônicos. **In: Anais II Simp. Ecos. do Sul e Sudeste do Brasil. Estr., Função e Manejo. Águas de Lindóia, SP** (3): 24-42 - 1990.
- [3] Lunning, K. *Seaweeds their environment, biogeography, and ecophysiology.* Wiley Interscience Publication. 1-526. 1990
- [4] Odum, E. D. **Ecologia** Editora Guanabara. 434p - 1988.
- [5] Borowiska, M. A.. Intertidal algal species diversity and the effect of pollution. **Aust. J. Mar. Freshwater Res., 23:** 73-84 - 1972.
- [6] Murray, S. N. Impact of sewage on the distribution, abundance and community structure of rocky intertidal macro-organism. **Marine Biology** (30): 277-291 - 1975.
- [7] Arantes, P. V. S.; Nassar, C. A. G. & Gestinari, L. M. S. Comunidades de algas calcárias articuladas em três pontos da Baía do Espírito Santo (ES). *Rev. Nerítica* 9(1-2): 33-48. 1995.
- [8] Levine, H. G. **The use of seaweeds for monitoring coastal waters. In algae as ecological indicators.** Academic Press. 158p - 1984.
- [9] Guimarães, J. R. D.; Lacerda, L. D. & Teixeira, V. L. 1985. Seasonal variation of heavy metals in seaweed from Conceição de Jacareí (RJ), Brasil. **Botânica Marina** 18(8): 339-343.
- [10] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Programa de Monitoração Ambiental Radiológico Pré-Operacional. Revisão 01** - Rio de Janeiro, 1979.
- [11] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Angra Nuclear Power Plant - Unit 1 - Final Safety Analysis Report (FSAR) - Revision 1.** Rio de Janeiro.
- [12] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. - **Angra Nuclear Power Plant - Unit 2 - Final Safety Analysis Report - Revision 1** - Rio de Janeiro.
- [13] U.S. REGULATORY COMMISSION - **Regulatory Guide 4.8 - Environmental Technical Specifications for Nuclear Power Plants - Revision 1** Washington - 1975.
- [14] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. **Relatórios Anuais do Programa de Monitoração Ambiental Radiológico Operacional. PMARO - Anos 1982 a 1997** - Angra dos Reis.

## ABSTRACT

The main purpose of the Environmental Monitoring Laboratory, in the Mambucaba Residencial Site is to control all environment around Almirante Álvaro Alberto Nuclear Power Station (AAANPS) in order to check its operational influence on the local ecosystem.

Angra I Nuclear Power Plant usually discharges liquid waste from the Treatment System (waste and recycle evaporators). Before the water is discharged into the sea, it is chemically and radiochemically analysed to verify if dissolved contaminants are in agreement with the specifications established by the Fundação Estadual de Engenharia de Meio-Ambiente (FEEMA) for the chemical parameters and by the Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) for radiochemical parameters.

Such radioactive contaminants are  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  and  $^{54}\text{Mn}$ , which are activated corrosion products from structural materials of the primary system and  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , fission products produced by the nuclear reactor during its operation.

To measure and control the possible discharge of these radionuclides into the sea and their incorporation to the marine organisms, it was created the Environmental Radiological Monitoring Special Program (ERMSP).

The purpose of this program is to control the absorption of the radionuclides  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in algae of the genus *Sargassum* located in the surroundings the discharge of the liquid effluents of the Plant in Saco de Piraquara de Fora. The algae are considered excellent bioindicators because they are fixed on the rocks, being totally dependent on the water quality where they live, being an easy target to incorporate and to detect those radionuclides.

The algae are collected bimestrally and analysed by the Laboratory.

This work presents the sampling process, the preparation, the analysis of the radionuclides and the results obtained.

**Key-words:** Radionuclides, Marine Algae, Angra dos Reis, Brasil, Bioindicators