



# Estudo e Desenvolvimento de Técnica Nuclear Aplicada para Identificação de Diferentes Componentes da Água do Mar

C. R. A. Carvalho<sup>1</sup>, L. A. A. G. Silva, C.  
M. Barbosa,  
C. M. Salgado, C. Raitz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*carolinecarvalho@poli.ufrj.br, Departamento de  
Engenharia Nuclear, Escola Politécnica, UFRJ*

<sup>2</sup>*cesar.raitz-junior@bolsista.ien.gov.br, SEINS, Instituto de  
Engenharia Nuclear, CNEN, Rio de Janeiro, 21941-906*

## 1. Introdução

A salinidade refere-se à quantidade de sais dissolvidos na água do mar. Este parâmetro necessita constante monitoramento pois altos níveis de salinidade na água são prejudiciais para a fauna e flora [1,3]. Na indústria petrolífera, a salinidade também precisa ser monitorada. O petróleo é geralmente encontrado e combinação com água salgada e, por conter íons de cloro (NaCl), ocorre a geração de ácido clorídrico, uma fonte influente de degradação de equipamentos [2]. Assim, os procedimentos funcionais nas atividades de produção de petróleo são frequentemente interrompidos, devido à necessidade de manutenção ou substituição de equipamentos [4]. Quando a medição da salinidade é feita por métodos convencionais, o dispositivo de medição fica em contato direto com o petróleo e deve ser trocado em intervalos de tempo regulares. Para tanto, a cadeia de produção deve ser interrompida. Neste âmbito, a utilização da radiação gama é uma ferramenta vantajosa para a medição da salinidade, pois não interfere na produção e possui uma resposta quase instantânea sobre as medidas [5].

## 2. Metodologia

Foram feitas simulações no programa MCNPX, que realiza simulações de modelos computacionais com o método de Monte Carlo. A simulação é composta por uma fonte de <sup>241</sup>Am (59,54) keV, um detector cilíndrico de iodeto de sódio (NaI), com 5,08 cm de altura, uma amostra de forma cilíndrica de 10 cm de altura contendo água do mar e outra análoga contendo água de formação. A estrutura está mostrada na Fig. 1.

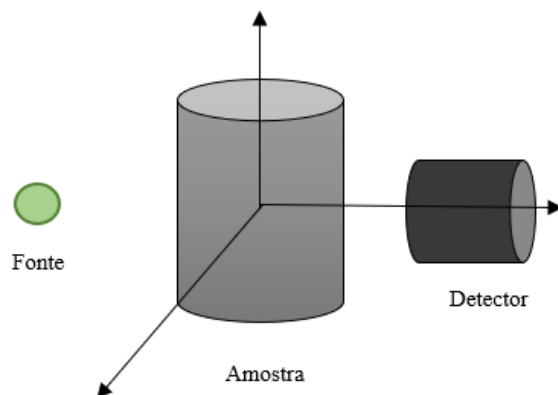


Figura 1: Esquemática da funcionalidade da simulação.

Para executar o experimento, as amostras da água do mar e da água de formação foram simuladas com a quantidade de sais de acordo com a Tabela I, feita baseada a partir de dados na descrição de Barlow [6].

Tabela I: Principais íons encontrados nas águas, com suas respectivas massas [6].

Íons	Água de formação (g/L)	Água do mar (g/L)
Sódio (Na <sup>+</sup> )	30,73	10,50
Potássio (K <sup>+</sup> )	0,710	0,390
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	0,470	1,350
Cloro (Cl)	59,64	19,00
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	5,300	0,410
Bário (Ba <sup>2+</sup> )	0,420	< 0,001
Estrôncio (Sr <sup>2+</sup> )	0,840	0,008
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	0,004	2,700

Nestas soluções, os dados obtidos nas simulações foram tratados, fornecendo as áreas dos gráficos de contagens por energia. Estas áreas são utilizadas para obtenção das radiações incidentes ( $I_0$ ) e transmitidas ( $I$ ), que são necessárias para o cálculo dos coeficientes de atenuação.

O coeficiente de atenuação caracteriza a probabilidade de um fóton ser absorvido pelo material [7]. De acordo com o valor obtido, é possível descobrir a composição da água que está sendo analisada. O coeficiente de atenuação é calculado pela Lei de Lambert-Beer, mostrada na Eq. 1, onde  $\mu$  é o coeficiente de atenuação linear e  $x$  é a espessura do material absorvedor.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

O coeficiente de atenuação mássico foi calculado através da divisão do coeficiente de atenuação linear pelas densidades de cada solução. Para análise dos resultados encontrados, foi utilizado o aplicativo XCOM do NIST – Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, onde é possível obter o coeficiente de atenuação de um único elemento, compostos ou misturas [8]. Assim, foi possível comparar os valores simulados em relação

aos valores teóricos.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra os espectros medidos para a água do mar e para a água de formação. A área delimitada abaixo do pico demonstra a área a ser integrada para o número de contagens dos feixes incidente e transmitido.

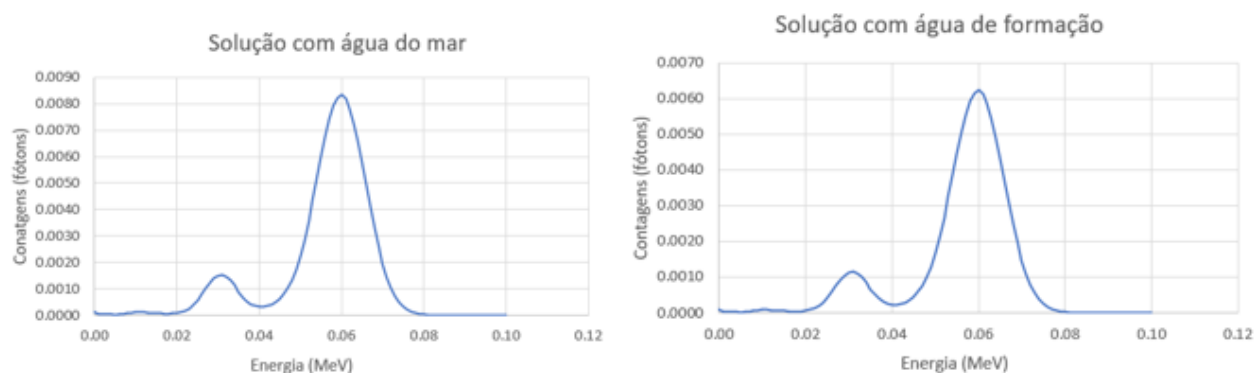


Figura 2. Histograma de contagens da água do mar à esquerda e da água de formação à direita. Eixo X=Energia. Eixo Y=Contagens.

Com as informações estudadas, foram calculadas as densidades das águas do mar e de formação, seus coeficientes de atenuação e a comparação com o valor teórico do XCOM, como mostra a Tabela II. O erro relativo foi baixo, mostrando que os resultados encontrados pela simulação foram aceitáveis.

Tabela II: Comparação dos coeficientes de atenuação.

Tipo de água	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Coefficiente de atenuação mássico (cm <sup>2</sup> /g)	Valor teórico (XCOM) (cm <sup>2</sup> /g)	Erro relativo (%)
Água de formação	1,095	0,2249	0,2284	1,5
Água do mar	1,031	0,2061	0,2118	2,6

### 4. Conclusões

Neste trabalho foi feita a modelagem por Monte Carlo – MCNPX para simular uma estrutura experimental e calcular os coeficientes de atenuação mássico por meio de dados obtidos pela simulação. Os gráficos estudados permitiram encontrar o valor da contagem de feixes e aplicar na equação de Lambert-Beer. Os resultados simulados mostraram valores próximos aos valores teóricos, contendo um erro relativo baixo. Por meio dos valores obtidos para os coeficientes de atenuação, pôde-se analisar que a água de formação terá mais dificuldade de absorver fótons, devido a sua maior densidade. Assim, foi possível constatar que o modelo simulado foi válido.

Além disso, a modelagem Monte Carlo mostrou-se uma ferramenta significativa para a simulação de diferentes geometrias de medição para avaliar soluções de diversas concentrações de sais, sendo possível

identificá-las pela sua densidade e pelo seu coeficiente de atenuação.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro e ao Instituto de Engenharia Nuclear pelo uso das instalações e laboratórios.

### Referências

- [1] T. B. M. Honorato, “Estudo da capacidade fagocítica de celomócitos de ouriços-do-mar *Echinometra lucunter* submetidos a estresse salino”. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba (2013).
- [2] M. K. Morigaki, *et al*, “Salinidade em petróleo bruto: otimização de metodologia e proposta de um novo método para extração de sais em petróleo”. *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 607-612 (2010).
- [3] T. R. Schossler *et al*, “Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas”. *Enciclopédia Biosfera*, v. 8, n. 15, pp. 1563-1578 (2012)
- [4] D. S. Vieira *et al*, “Redução de contaminantes presentes na água de produção de petróleo”. In: *2º Congresso Brasileiro de P&G em Petróleo & Gás* (2003).
- [5] V. Salvador, “Desenvolvimento de um sistema fonte-detector de radiação para perfilagem gama em colunas de fracionamento de petróleo”. *Dissertação de Mestrado*. Comissão Nacional de Energia Nuclear/SP-IPEN (2004).
- [6] P. Barlow, “Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast”. Geological Survey (USGS) (2003).
- [7] P. Lime de, “Caracterização das qualidades de radiação X de diagnóstico, segundo a norma internacional IEC 61267”. *Tese de Doutorado*. Faculdade de Ciências e Tecnologia (2009).
- [8] “XCOM: Photon Cross Section Database (version 1.5)”. <https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database> (2013).