

# Estimativa Estatística da Eficiência no Esfregação

Júlio de Oliveira Júnior e Roberto Vicente  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN

## INTRODUÇÃO

A técnica do esfregação tem sido usada nos últimos cinquenta anos tanto em institutos de pesquisa quanto na indústria, como uma forma de caracterizar rejeitos a partir da contaminação de suas superfícies [1].

Todavia, essa técnica demonstrou-se de difícil reprodução [2] e costuma apresentar dados pouco confiáveis, que são úteis para determinar qualitativamente se existe contaminação em uma superfície e não para estimar um valor específico de concentração de atividade.

Esse problema de precisão é tratado neste trabalho como o “Problema do Esfregação”, e discorre-se sobre suas causas e possíveis soluções.

## OBJETIVO

Descobrir uma fórmula analítica para conhecer a eficiência média do esfregação, bem como descrever graficamente o comportamento das medidas, se possível.

Desenvolver cálculos capazes de solucionar o problema do esfregação por meio de uma postulação matemática que possa ser verificada experimentalmente no futuro.

## METODOLOGIA

Para obter o valor da eficiência lançou-se uso da generalização de equações que descrevem o processo de limpeza de superfície. Neste caso, considerando uma atividade inicial  $A_0$ :

$$A_0 \times E_1 = C_1 \quad (1) \rightarrow A_0(1 - E_1)E_2 = C_2 \quad (2)$$

na qual  $E_1$  é a eficiência do primeiro esfregação e  $C_1$  é a quantidade de material que foi removida do total  $A_0$ , que pode ser medida experimentalmente analisando o papel utilizado no esfregação após a aplicação.

Supondo que exista como definir uma média para todos os  $n$  valores de  $E$ :  $[E_1, E_2, \dots, E_n]$  então pode-se chamar a média de  $E$  de constante de eficiência, e assim podemos simplificar as equações pois  $E_n = \bar{E} = E$ . Reescrevendo as relações:

$$A_0(1 - E)^2 = A_2 \quad (3)$$

Manipulando a expressão e usando indução matemática:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{EA_0}{EA_0(1-E)} \quad (4) \quad E = \frac{C_N - C_{N+1}}{C_N} \quad (5)$$

Como  $E$  trata-se de uma taxa, obteve-se sua média com a aproximação da média harmônica [3], que é descrita pela equação:

$$\bar{E} = \frac{N}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{E_i}} \quad (6)$$

na qual  $N$  é o número de esfregaços e  $E_i$  é o valor da eficiência  $E$  para o termo em questão. Para chegar-se ao desvio padrão da média harmônica [4] é necessário aplicar a seguinte fórmula:

$$\sigma = \frac{1}{\alpha^2} \frac{S_1/E_i}{\sqrt{N-1}} \quad (7) \quad \alpha = \frac{1}{\bar{E}} \quad (8)$$

onde  $S_1/E_i$  é o desvio padrão das recíprocas das observações da amostra.

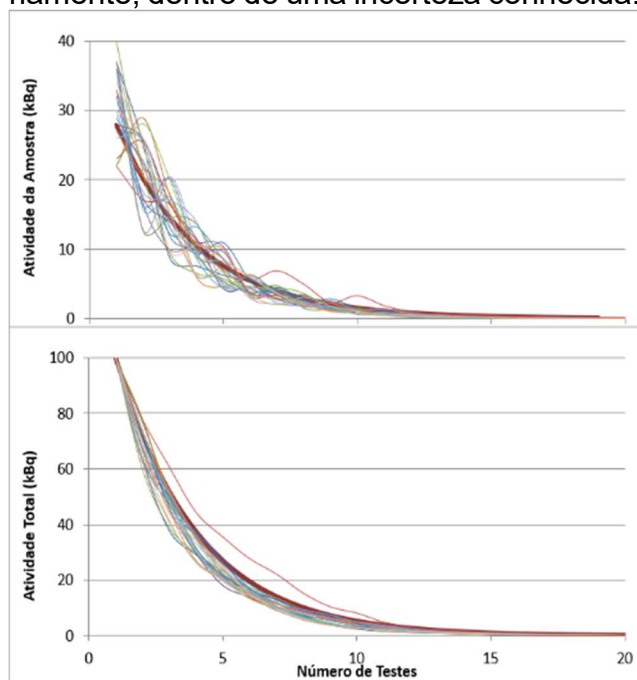
Para verificar se a aproximação de que cada medida da eficiência de uma amostragem poderia ser considerada como sendo igual à eficiência média usou-se uma simulação simples elaborada no Excel.

A simulação consistia em usar um valor fixo para a atividade total da superfície amostral e a partir desse valor calcular a eficiência média da amostragem usando eficiências aleatórias para cada uma, variando entre 20% e 40%. A atividade total foi fixada arbitrariamente como equivalente a 100 kBq.

Analizou-se os gráficos obtidos e com eles pode-se determinar se existia uma tendência no comportamento dos dados e usou-se dessas simulações para estimar estatisticamente a incerteza na estimativa da atividade total da superfície amostral.

## RESULTADOS

Por hipótese, se a teoria matemática estiver correta, a média de uma das curvas obtidas no gráfico deve ser uma boa estimativa para qualquer curva que possa ser gerada aleatoriamente, dentro de uma incerteza conhecida.



**Figura 1** – Gráficos típicos das atividades em função do número de esfregaços realizados. A parte superior do gráfico é tomada simulando o valor da atividade de cada amostra de esfregaço e a parte inferior representa a concentração total de atividade na superfície amostral após cada esfregaço. A curva mais grossa representa a média das medidas enquanto cada curva mais fina representa uma série de medidas usando valores aleatórios para a eficiência dentro do limite estabelecido.

Como os dados variam aleatoriamente, os gráficos gerados jamais coincidem perfeitamente uns com os outros, mas é possível observar que apresentam uma tendência ao comportamento esperado dentro de uma incerteza que oscila entre aproximadamente 15% do valor da medida.

## CONCLUSÕES

Obteve-se uma fórmula descritiva do procedimento de amostragem para o problema do esfregaço. Além disso, esboçou-se gráficos com base em simulações que indicam o comportamento teórico esperado para o método. Os resultados indicam que existe a possibilidade de determinar-se a radioatividade total de uma superfície de amostragem, e consequentemente a radioatividade total da superfície de um rejeito usando o método do esfregaço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [113]United States Environmental Protection Agency. A Performance-Based Approach to the Use of Swipe Samples in Response to a Radiological or Nuclear Incident. Cincinnati, Ohio. Outubro de 2011.
- [114]Bum-Kyoung Seo et al. Development of an automatic smear sampler and evaluation of surface contamination. Division of Decommissioning Technology Development, Korea Atomic Energy Research Institute, Deokjin-dong Yuseong-gu Daejeon, Korea
- [115]Ya-lun Chou. Statistical Analysis. Holt International, 1969.
- [116]Norris, Nilan. The Standard Errors of the Geometric and Harmonic Means and Their Application to Index Numbers. The Annals of Mathematical Statistics Vol. 11, No. 4. 1940.

## APOIO FINANCEIRO AO PROJETO

PIBIC CNPq e IPEN-CNEN/SP.