INTRODUÇÃO A SIMULAÇÕES DE MONTE CARLO E SUA APLICAÇÃO NO ESTUDO DE RAIOS CÓSMICOS ULTRAENERGÉTICOS

Palavras-Chave: Simulações, Monte Carlo, Raios Cósmicos

Autor: Pedro Ricardo Martins Casella (IMECC - UNICAMP)
Orientadora: Profa. Dra. Carola Dobrigkeit Chinellato (IFGW - UNICAMP)

1) INTRODUÇÃO

Raios cósmicos figuram entre os mais intrigantes fenômenos na Ciência. Eles estão presentes em diversos feitos científicos, tais como:

- A descoberta do pósitron em 1932 por Carl Anderson (1905-1991), que é a antipartícula do elétron, prevista em 1928 pelo inglês Paul Dirac (1902-1984);
- A detecção de píons através de chapas fotográficas em 1947, contando com a participação do brasileiro César Lattes (1924-2005);
- Produção de carbono 14, utilizado para estimar a idade de materiais terrestres.

Visto a importância e a vastidão de suas aplicações, faz-se necessário conhecer esse fenômeno e estudar seus comportamentos. O trabalho em questão busca fazer uma simulação de alguns de seus aspectos, relacionando-os com alguns de seus conceitos físicos.

Inicialmente, começamos por um histórico sobre os raios cósmicos, denotando os principais agentes de sua descoberta e entendimento, assim como a explicação tal qual raios cósmicos são hoje concebidos pela comunidade científica.

Em seguida, introduzimos o método Monte Carlo e noções de estatística, como funções densidade de probabilidade e geração de números randômicos a partir delas, mostrando como esses conceitos relacionam-se ao estudo de raios cósmicos.

Os dois últimos tópicos constituem as aplicações das ideias desenvolvidas para a estimativa de valores de energia e frequência de colisão de raios cósmicos com partículas na atmosfera, respectivamente.

2) HISTÓRIA E DEFINIÇÃO [2]

As primeiras evidências de uma radiação não terrestre surgiram no final do século XIX e começo do século XX. Por volta de 1900, o escocês Charles Thomson Ress Wilson (1869-1959) notou que um eletroscópio de folhas de ouro que ele utilizava parecia identificar presença de ionização, cuja origem não conseguiu verificar.

Em 7 de agosto de 1912, o físico austríaco Victor Hess (1883-1964), ao subir em um balão até uma altitude de 5.320 m, constatou, a partir de um eletroscópio que estava utilizando, que havia uma quantidade cada vez maior de ionização no ar à medida que alcançava altitudes maiores. Essa ionização indicava que havia uma grande quantidade de radiação, cuja origem não se localizava na Terra, manifestando-se sobre a atmosfera do planeta.

O fenômeno em questão, hoje chamado de Raios Cósmicos, é compreendido como um conjunto de partículas que atingem a atmosfera terrestre com variados valores de energia. Frequentemente, essas partículas interagem com moléculas dentro da atmosfera, gerando novas partículas e emitindo radiação (processo conhecido como “Bremsstrahlung", alemão para "radiação de frenagem").

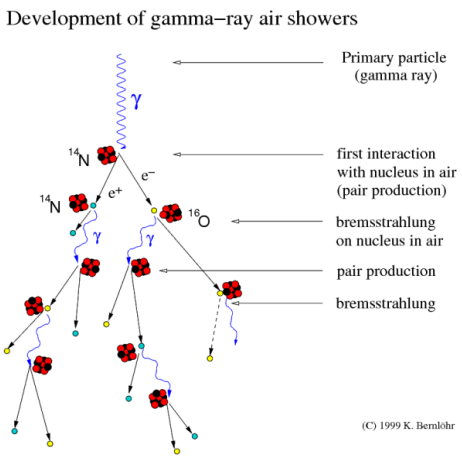

Figura 1: ilustração do "Bremsstrahlung". Tal fenômeno é responsável por gerar “chuveiros cósmicos”. [1]

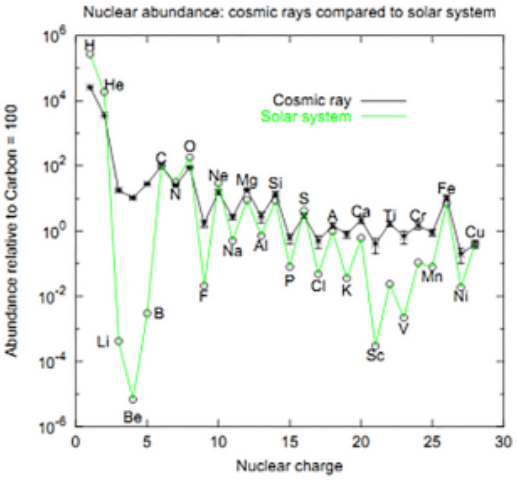

Figura 2: Abundância relativa dos elementos encontrados em raios cósmicos. [2]

As energias de raios cósmicos podem variar de algumas dezenas de elétrons-volt (eV) para até valores próximos de 10^{20} eV, sendo este valor mais de um milhão de vezes maior do que os já alcançados em aceleradores de partículas. Um elétron com essa energia viajaria a cerca de 99,99999999999999999(%) da velocidade da luz. O processo responsável pela aceleração dessas partículas permanece até hoje um mistério.

[2] **XXX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP – 2022**

3) MÉTODO MONTE CARLO PARA SIMULAÇÃO DE VALORES DE ENERGIA DE RAIOS CÓSMICOS [3]

O método de Monte Carlo é um método estatístico que busca soluções numéricas para problemas reais a partir da obtenção de dados via análise direta ou simulação de fenômenos. Torna-se um método muito útil para solucionar problemas cujo resultado não possui solução analítica ou é aleatório (tal como em raios cósmicos).

Podemos utilizar tal método para simular valores de energia de raios cósmicos. Dados experimentais revelam que o fluxo de raios cósmicos vindos para a Terra em função da energia dos mesmos se dá como no gráfico abaixo.

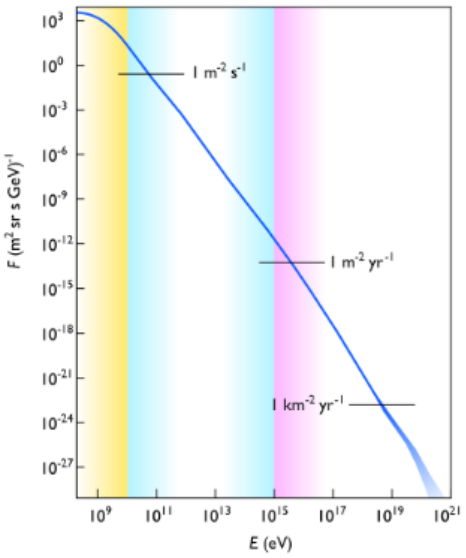

Figura 3: A imagem acima representa o fluxo de partículas (Energia total que chega em um metro quadrado por segundo por esferorradiano por Gev), na ordenada, versus a energia dos raios cósmicos, na abscisa, em um gráfico log-log. É possível notar que valores de energia maiores são bem mais escassos. [1]

Como notamos uma curva aproximadamente linear, podemos escrever a seguinte relação entre os valores:

$$\log(\phi) = A\log(E) + B \,, \qquad (3.1)$$

em que ϕ representa o fluxo de partículas, E representa a energia, A e B são coeficientes. Podemos, portanto, reescrever (3.1) como:

$$\phi = KE^{A}, \qquad (3.2)$$

em que K é uma constante. Assim sendo, é possível tratar a expressão (3.2) como uma função densidade de probabilidade. Sendo $A = -3$ e $K = 2$, temos:

$$\phi = 2E^{-3}. \qquad (3.3)$$

[3] **XXX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP – 2022**

Sendo a energia qualquer valor maior que 1 (unidades arbitrárias). Sendo a equação (3.3) uma função densidade de probabilidade, podemos estimar uma seleção de valores aleatórios gerados por ela, a partir de uma distribuição uniforme.

Seja $u*$ um número selecionado de forma uniforme no intervalo de 0 até 1. *E** será um número gerado pela distribuição (3.3) se:

$$u^* = \int_1^{E^*} 2E^{-3}\, dE, \tag{3.4}$$

o que implica em:

$$E^* = \sqrt{\frac{1}{u^*}}. \tag{3.5}$$

Com a equação (3.5), podemos fazer essa seleção de valores de energia por métodos computacionais, como é exposto na figura 4.

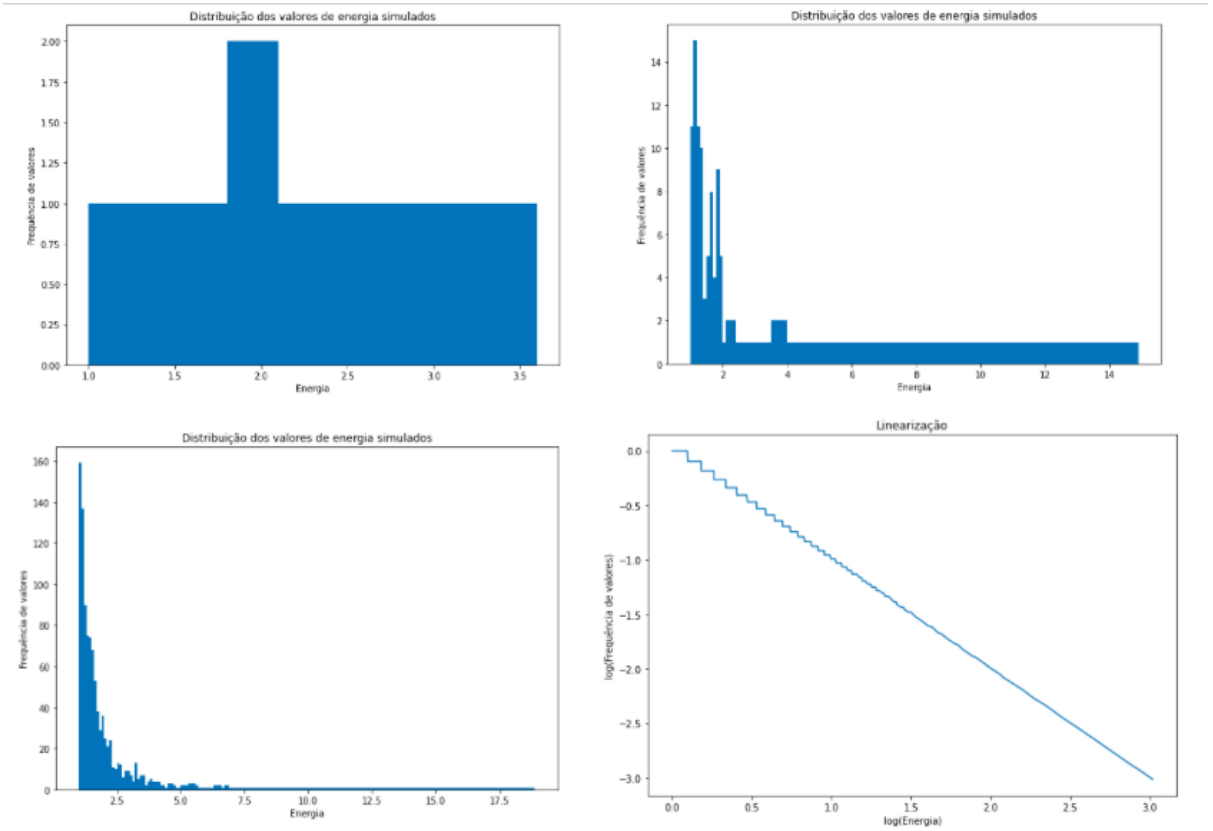

Figura 3: Acima, estão quatro gráficos feitos no python versão 3.5. Em três deles, temos os valores de energias calculadas (abscissa), versus frequência de valores aproximados até a primeira casa decimal (ordenada), para, respectivamente, 10, 100 e 1000 simulações. O quarto gráfico, no canto inferior direito, representa a linearização do gráfico com 1000 interações, isso é, o logaritmo na base *e* da energia versus o logaritmo na base *e* da frequência de valores apontados anteriormente. [4]

[4] **XXX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP – 2022**

4) CONCLUSÃO[5]

Por fim, esperamos ter mostrado um esboço da utilidade e do poder do Método Monte Carlo para aplicações em estudos de raios cósmicos, podendo ser aplicado para a simulação de muitas outras características suas.

5) BIBLIOGRAFIA

[1] - https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/Showers.html -

Acesso em 18/06/2022

[2] - Mecanismos de limitação da energia de raios cósmicos durante sua propagação.

https://www.scielo.br/j/rbef/a/BjRMqrppGcWSTmWhZMrBgxp/?format=pdf&lang=pt -

Acesso em 17/06/2022

[5] **XXX Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP – 2022**