

## DERIVADAS NA QUÍMICA: DECAIMENTO RADIOATIVO DO CARBONO-14 PARA DETERMINAR A IDADE DE UM FÓSSIL

Jaqueline Soares Dantas<sup>1</sup> (PG), Adriana Carvalho Rosa<sup>1</sup> (PQ), Michelly Moraes Belchior<sup>1</sup> (PG), Gláucia Aparecida Andrade Rezende<sup>1</sup> (PQ).

<sup>1</sup>Instituto Federal de Goiás, *Câmpus Itumbiara*.

**Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra.**

### Resumo

A pesquisa apresentada neste trabalho iniciou de uma atividade de prática de ensino proposta na disciplina de Cálculo 2, do curso de Licenciatura em Química, no Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara, sobre a aplicação de derivada na Química. Diante disso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica que se pautou em um levantamento de estudos sobre a temática, tendo como principais autores, Dos Santos, Atkins, Bradley, Farias, Zill e Francisco et al., para abordar a aplicação da derivada na datação por decaimento radioativo do carbono-14 (<sup>14</sup>C). No qual formulou-se uma equação matemática para se datar a idade estimada de um fóssil. O objetivo da pesquisa é demonstrar umas das técnicas usadas para determinar a idade de um fóssil através do decaimento radioativo do carbono-14 e do cálculo de equações diferenciais, de uma amostra eventual no qual 20% dos núcleos radioativos originais presentes já descaíram.

**Palavras-chave:** Derivada; Datação; Carbono-14; Química; Decaimento Radioativo.

### Introdução

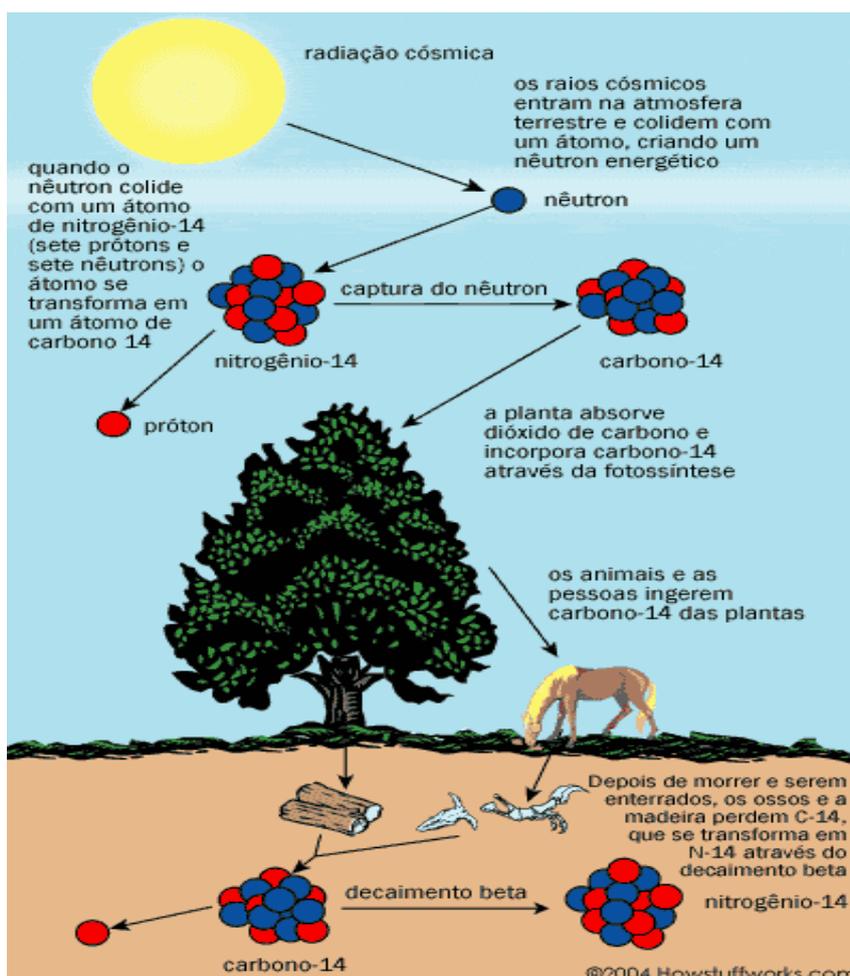
Segundo Santos (2017) os átomos podem ser divididos em dois grupos, os estáveis e os instáveis. Os estáveis são aqueles que não possuem tendência de mudar espontaneamente sua configuração já os instáveis alteram sua composição nuclear em busca da estabilidade. Cada configuração possível de um núcleo se é chamado de núclídeos.

Para FRANCISCO, LIMA e ARÇARI, (2011) “a maior parte do carbono presente na Terra é composta de uma mistura de dois isótopos estáveis: 98,9% de carbono-12 e 1,1% de carbono-13.”

Ao decair, o núclídeos emitem partículas que caracterizam o tipo de decaimento e garantem a conservação da energia que pode ser transformada em massa ou vice-versa, do momento e da carga do sistema. As principais emissões são a *alfa* que ocorre com a emissão de um núcleo de hélio, a *beta* que ocorre com a emissão de um elétron e a *gama* ocorre com a emissão de um fóton.

O <sup>14</sup>C tende a emitir uma partícula *beta* até se transformar em nitrogênio. Sendo então determinada pelo monitoramento da radiação  $\beta$  (beta) resultante do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) obtido pela combustão da amostra a ser analisada. Veja na figura 1 como se dá a formação natural do <sup>14</sup>C, que pode também ser expressada seguinte equação:  ${}_7\text{N}^{14} + {}_0\text{n}^1 \rightarrow {}_6\text{C}^{14} + {}_1\text{H}^1$  (DOS SANTOS, 2017, p.13).

**Figura 1:** Ciclo completo do carbono-14



**Fonte:** Esquadrão do conhecimento. Como funciona a datação por carbono-14. <https://esquadraodoconhecimento.wordpress.com/ciencias-da-natureza/quim/como-funciona-a-datacao-por-carbono-14/>. Acessado em 13 de set. de 2019.

A aplicação da datação ou a idade de um material pode ser determinada com base na taxa de decaimento de um isótopo radioativo o  $^{14}\text{C}$ . Essa técnica do radiocarbono é muito utilizada na arqueologia e antropologia para se descobrir a idade aproximada de um objeto medindo-se esse decaimento radioativo. (FARIAS, 2002), segundo ele,

A maior parte do carbono presente na Terra é composta de uma mistura de dois isótopos estáveis: 98,9% de carbono-12 e 1,1% de carbono-13. Contudo, amostras naturais de carbono sempre contêm traços de um terceiro isótopo, o carbono-14, radioativo, o qual emite radiação  $\beta^-$  e possui um tempo de meia vida de 5.730 anos.

Uma das técnicas desenvolvida por Willard Libby e seus colaboradores, sobre os possíveis efeitos e a proporção de  $^{14}\text{C}$  (isótopo instável) produzidos na Terra foi através da colisão das partículas solares energizadas com moléculas de nitrogênio, na pesquisa de Dos Santos ele afirma que,

Essas partículas caem sobre a Terra, deixando a atmosfera enriquecida com esse isótopo. A vegetação, então, absorve esse elemento, integrando-o à sua composição. Em seguida, esses vegetais são consumidos pelos animais de acordo com a cadeia alimentar. Conseqüentemente, todos os seres vivos pertencentes a essa cadeia alimentar irão absorver continuamente o carbono-14 em sua

composição. Esse isótopo tem meia vida de 5730 anos e enquanto o animal ou vegetal estiver vivo ele continua a absorvê-lo. (DOS SANTOS, 2017, p.27).

Quando o organismo morre a troca de  $^{14}\text{C}$  com o Terra deixa de existir, e os núcleos de  $^{14}\text{C}$  presentes no organismo passam a decair com uma meia vida constante, fazendo com que a reação do  $^{14}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$  decrescer ou seja diminuir. (ATKINS, 2012, p.748-749).

Durante a sua estadia no Instituto de Estudos Nucleares em 1947, Libby com a ajuda dos seus alunos, desenvolveu a técnica do radiocarbono, que utilizando um contador Geiger, onde ele testou este processo em objetos de idade conhecida e obteve o resultado esperado. Depois de muitos estudos e pesquisa ele chegou a considerar a técnica adequada para datações de objetos até 50 mil anos (FRANCISCO, LIMA e ARÇARI, 2011, p. 4).

Hoje um dos métodos mais usados é a espectrometria de aceleração de massa para determinar a proporção entre o número de núcleos de  $^{14}\text{C}$ , usado desde 1977, e um dos métodos que tem sido mais usado para contar os átomos de radiocarbono em amostras. Através dessa técnica é possível usar amostras de menores dimensões desde de 5mg até 10 miligramas, tendo uma maior precisão e uma indicação de tempo mais reduzida para a datação. (FRANCISCO; LIMA; ARÇARI, 2011, p. 9).

Sendo assim, demonstra-se os cálculos matemáticos utilizados como um dos métodos para datação decaimento radioativo através das equações diferenciais, de uma amostra eventual no qual 20% dos núcleos radioativos originais presentes já descaíram.

## Resultados e Discussão

Considerando que todos os núcleos têm a mesma probabilidade de decaírem, independente da concentração, num intervalo de tempo  $dt$ , a quantidade de decaimento de  $^{14}\text{C}$  é proporcional a quantidade de material instável, no qual  $N = N(t)$  é o número de átomos radioativos ( $^{14}\text{C}$ ) na amostra no instante  $t$  (tempo) e  $N_0$  a quantidade inicial destes átomos, isto é,  $N(0) = N_0$  e ainda, considerado  $\lambda$  a constante de decaimento radioativo então a derivada de  $N$  em relação a  $t$  é igual a menos o produto de  $\lambda$  por  $N$ . (DOS SANTOS, 2017, p.27).

Assim pode-se interpretar o cálculo matemático da datação do carbono-14 da seguinte forma:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N, \text{ com } N = N_0$$

O sinal de menos na constante ( $\lambda$ ) é devido o número de átomos diminuir à medida que o tempo passa havendo uma desintegração radioativa, ou seja, o decaimento radioativo.

Essa equação é classificada com equação diferencial ordinária de primeira ordem linear, com valor inicial. Pode-se reescrevê-la assim:

$$\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0 \quad \text{eq. (1)}$$

A método de solução para este tipo de equação diferencial consiste em determinar o fator integrante e depois multiplicar a equação por ele.

As equações lineares de primeira ordem são do tipo:  $\frac{dy}{dt} + p(t)y = g(t)$  e seu fator integrante é  $\mu(t) = e^{\int p(t)dt}$ . (ZILL, 2001).

Como  $\frac{dN}{dt} + \lambda N = 0$ , tem-se que  $p(t) = \lambda$ , daí o fator integrante é  $\mu(t) = e^{\int \lambda dt} = e^{\lambda t}$ .

Multiplicando a equação (1) pelo fator integrante tem-se:

$$\left(\frac{dN}{dt} + \lambda N\right) \cdot e^{\lambda t} = 0 \cdot e^{\lambda t}$$

$$\frac{dN}{dt} e^{\lambda t} + \lambda N e^{\lambda t} = 0$$

$$\frac{d}{dt}(e^{\lambda t} N) = 0$$

Integrando ambos os lados em relação ao tempo têm-se:

$$\int \left[ \frac{d}{dt}(e^{\lambda t} N) \right] dt = \int 0 dt$$

$$e^{\lambda t} N = c$$

Sendo  $c$  um número real qualquer.

Ou ainda, pode-se isolar  $N$ :

$$N(t) = c e^{-\lambda t}$$

Como  $N(0) = N_0$  tem-se:  $N_0 = N(0) = c e^{-\lambda \cdot 0} = c \cdot 1 = c$ .

Logo,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{eq. (2)}$$

Com o passar do tempo estes elementos radioativos decaem, diminuindo seu número de átomos. A meia vida é o tempo necessário para que metade dos núcleos radioativos presentes na amostra do fóssil decaia, se  $N = \frac{N_0}{2}$ , tem-se:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

Aplicando o logaritmo natural:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-\lambda t})$$

Usando as propriedades,  $\ln\left(\frac{a}{b}\right) = \ln(a) - \ln(b)$ ,  $\ln(e^a) = a$  e  $\ln 1 = 0$

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda t$$

$$-\ln 2 = -\lambda t$$

Assim, a meia vida necessária para o decaimento radioativo é:

$$t = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

A meia vida do  $^{14}\text{C}$  é de aproximadamente 5730 anos. Isto significa que um organismo que morreu há 5730 anos tem atualmente a metade do seu conteúdo original em  $^{14}\text{C}$ .

Quando os princípios da datação pelo radiocarbono foram definidos, a vida-média do  $^{14}\text{C}$  foi estimada em 5568 anos. Cálculos mais precisos indicaram que ela é na verdade de  $5730 \pm 30$  anos, mas para evitar confusões os laboratórios continuaram usando a “vida-média de Libby”, i.e., 5568 anos (Bradley 1985).

Se  $t = 5730$  e  $t = \frac{\ln 2}{\lambda}$  pode-se determinar  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{5730}$$

$$\lambda \cong 1,2097 \times 10^{-4} \text{ anos}$$

Substituindo na equação (2) obtém-se:

$$N(t) = N_0 e^{-1,2097 \times 10^{-4} t} \quad \text{eq. (3)}$$

Caso queira determinar a idade de uma amostra na qual 20% dos núcleos radioativos originalmente presentes já decaíram, ou seja, sobrando 80%, então tem-se:

$$N(t) = 0,8N_0$$

Considerando a equação (3) tem-se:

$$0,8N_0 = N_0 e^{-1,2097 \times 10^{-4} t}$$

$$0,8 = e^{-1,2097 \times 10^{-4} t}$$

$$\ln(0,8) = \ln(e^{-1,2097 \times 10^{-4} t})$$

$$\ln(0,8) = -1,2097 \times 10^{-4} t$$

$$t = \frac{-\ln(0,8)}{1,2097 \times 10^{-4}}$$

$$t \cong 1844,65$$

$$t \cong 1845 \text{ anos}$$

Assim, a amostra tem 1845 anos aproximadamente.

## Conclusões

Pode-se concluir que o cálculo de derivadas pode ser um dos métodos utilizado na química para descobrir o tempo de meia vida de um fóssil pelo isótopo  $^{14}\text{C}$ , método muito usado por historiadores e arqueólogos. Esse método de datação por  $^{14}\text{C}$  é usado para datar objetos como ossos, tecidos, artefatos arqueológicos de origem biológica, madeira e fibras de plantas usados em atividades humanas no passado relativamente recente com até 50 mil anos. Isso porque quando um ser vivo morre ele deixa de ingerir  $^{14}\text{C}$  que está presente no ciclo de vida terrestre e a cada período de meia vida, a atividade radioativa decai pela metade.

## Agradecimentos

Ao IFG – Campus Itumbiara pela oportunidade.

Agradeço as professoras Adriana e Gláucia, por seus ensinamentos, que foram muito além dos conteúdos do conteúdo curricular. Tivemos aprendizados importantes para a vida pessoal e profissional, pois vocês como professoras nos passam confiança e acima de tudo desejo em aprender e ensinar. Temos grande admiração de um modo único e especial que se tornou uma inspiração para nós.

## Referências Bibliográficas

- ATKINS, Peter William; JONES, Loretta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- BRADLEY, Raymond S. **Quaternary paleoclimatology: methods of paleoclimatic reconstruction**. Boston: Allen & Unwin, 1985.
- DOS SANTOS, Willian Alves. **Introdução às técnicas de datação por decaimento radioativo**. Disponível em: < <http://site.dfi.uem.br/wp-content/uploads/2018/01/010Willian-Alves-dos-santos-Bacharelado-2017.pdf>>. Acesso: 17 de set. 2019.
- FARIAS, R. F. dos. A Química do tempo: Carbono-14. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 16, 2002.
- FRANCISCO, J. A. S.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P. Datação por carbono-14. **The Carbon-14**, 2011. Disponível em: < [http://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao\\_foco\\_Carbono14.pdf](http://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/06/1gestao_foco_Carbono14.pdf)>. Acesso: 16 de set. 2019.
- ZILL, Dennis G. **Equações Diferenciais, volume 1**. São Paulo: Pearson Makron Books, 2001.