

RECONSTRUÇÃO DA SÉRIE HISTÓRICA DE TRÍTIO EM PRECIPITAÇÃO ENTRE 1960 E 2015 NA ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO GNIP BRASÍLIA

Aurélio Silva¹; Stela Cota²

Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN. Av., Pres. Antônio Carlos, 6.627, Campus UFMG – Pampulha – CEP 31270-901. Belo Horizonte/MG

¹ E-mail: aurelio.silva@cdtn.br; ² E-mail: sdsc@cdtn.br

Palavras-chave: trítio, datação, água subterrânea

INTRODUÇÃO

A principal utilização do trítio em hidrogeologia é na obtenção do tempo médio de residência de aquíferos através do uso de modelos de parâmetros agrupados (do inglês *lumped parameters model*). Para isso, é necessário o conhecimento da série histórica de entrada do trítio nas águas subterrâneas da região de interesse a partir das precipitações.

Desde o ano de 1951 até 1963, os teores de trítio nas precipitações do hemisfério norte aumentaram significativamente (LEINDBUNDGUT ET AL., 2009). Esse aumento ocorreu devido aos testes nucleares realizados nesse hemisfério durante o período citado, resultando em um grande pico deste radioisótopo. Cabe ressaltar que as concentrações de trítio artificial foram fortemente atenuadas no hemisfério sul, sendo de 10 a 100 vezes menores do que as observadas no hemisfério norte (GAT ET AL., 2001). O pico de teor da nuvem de trítio artificial no hemisfério sul (observado na estação de Kaitoke, Nova Zelândia) somente ocorreu em 1966, devido ao fato de que a linha do equador funciona como uma barreira para as massas de ar, dificultando o espalhamento homogêneo da nuvem de trítio produzida artificialmente no hemisfério norte (GAT ET AL., 2001). A partir dos picos observados em ambos hemisférios, os teores de trítio nas precipitações diminuíram exponencialmente, tendendo a retornar aos níveis ambientais anteriores ao início dos testes nucleares (LEINDBUNDGUT ET AL., 2009).

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) possui uma rede de monitoramento com estações ao redor de todo o mundo, denominada GNIP (*Global Network Isotope in Precipitation*), em que longas séries históricas de precipitações e seus respectivos teores isotópicos (deutério, oxigênio-18 e trítio) podem ser encontrados em um banco de dados *online* e de livre acesso (Figura 1).

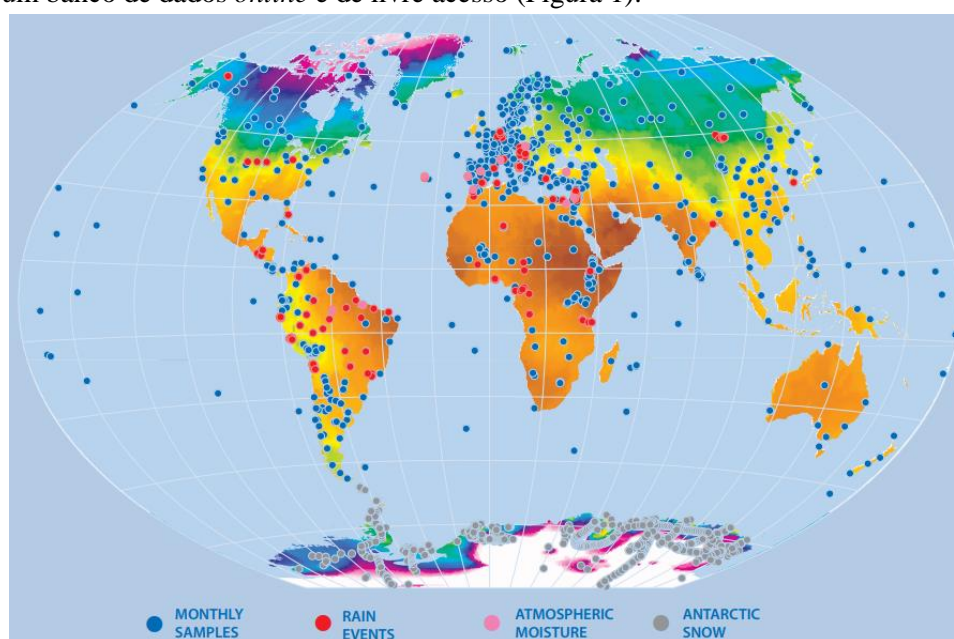


Figura 1 - Distribuição global das estações GNIP. (Modificado de IAEA/WMO, 2017).

No Brasil, uma série de estações pertencentes a rede GNIP podem ser encontradas como, por exemplo, as estações Porto Alegre, Cuiabá, Rio de Janeiro, Salvador, Brasília, dentre outras. No entanto, os intervalos de monitoramento dessas estações foram muito curtos compreendendo principalmente o período entre 1965 e 1976, com exceção da estação Porto Alegre que possui uma série ligeiramente maior compreendendo o intervalo entre 1965 e 1983. Atualmente, as estações operadas no Brasil são apenas as estações Belo Horizonte-CDTN e Rio Claro-UNESP, sendo que o início da amostragem dessas estações somente se deu nos anos de 2008 e 2013, respectivamente.

A estação Brasília localiza-se em uma posição interior ao continente e estrategicamente próxima a importantes sistemas aquíferos como o Aquífero Guarani (região do triângulo mineiro) e o Aquífero Urucuaia (região norte de Minas Gerais), por exemplo. Sendo assim, a reconstrução da série histórica de entrada do trítio nas precipitações da estação Brasília se faz importante para que seja possível a obtenção do tempo médio de residência de diversos sistemas aquíferos, além dos citados anteriormente.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é a reconstrução da série histórica dos teores de trítio contidos nas precipitações da estação Brasília durante o intervalo de tempo entre 1960 e 2015.

METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

Estações de monitoramento de isótopos em precipitação pertencentes à rede GNIP que não possuem uma série histórica completa podem ter seus valores estimados através de diferentes metodologias (ZHAI ET AL. 2013; CELLE ET AL., 2001). Uma simples maneira de se obter os valores de uma determinada estação, consiste na utilização de um Modelo de Correlação. Esse modelo correlaciona os valores de uma estação desejada com outra que possui uma série histórica completa. Diversos fatores de correlação entre diferentes estações podem ser obtidos em IAEA (1992). Outra maneira para superar o problema da falta de monitoramento contínuo das estações GNIP é a utilização de um modelo global denominado por Zhai et al. (2013) de Modelo da Dupla Curva de Referência. Esse modelo foi originalmente elaborado por Doney et al. (1992) e consiste em duas curvas de referências $\bar{C}_p(t, 1)$ e $\bar{C}_p(t, 2)$, onde a concentração média anual de trítio em uma determinada estação pode ser considerada como sendo uma combinação linear dessas duas curvas através da equação:

$$C_p(t) = f_1 \bar{C}_p(t, 1) + f_2 \bar{C}_p(t, 2) + \epsilon_a(t)$$

Onde f_1 e f_2 são coeficientes únicos para cada estação e $C_p(t)$ é a concentração média anual de trítio na estação requerida em função do tempo. O parâmetro $\epsilon_a(t)$ é o resíduo gerado pela diferença entre o valor calculado e o valor observado, sendo que, em estações onde não há dados, esse valor é considerado com sendo zero.

A grande limitação do modelo de Doney et al. (1992) é que as curvas $\bar{C}_p(t, 1)$ e $\bar{C}_p(t, 2)$ compreendem apenas o intervalo de tempo compreendido entre 1960 e 1986. O trabalho de Zhang et al. (2011) propôs uma modificação do modelo original proposto por Doney et al. (1992) e a extensão dos valores das curvas de referências até o ano de 2005. Esse modelo foi posteriormente questionado por Newman et al. (2013) devido a sua não adequação aos valores reais de diversas estações GNIP.

Segundo Araguás-Araguás L. (comunicação pessoal, 2018) existem diversas estratégias matemáticas simples para se obter uma extensão do modelo de Doney, sem elevados custos computacionais. O presente trabalho utilizou uma regressão exponencial nos valores das curvas de referência durante o período compreendido entre 1970 e 1986, sendo, por conseguinte, obtidos por extrapolação os valores das curvas de referências para o período compreendido entre 1987 e 2009 (Figura 2 e 3). Os fatores f_1 e f_2 referentes à estação Brasília foram obtidos em Doney et al. (1992), sendo esses valores 0.2 e 9.9, respectivamente. A partir

dos valores extrapolados das curvas de referência e dos fatores da estação Brasília, pode-se reconstruir os teores de trítio nas precipitações dessa estação para o período entre 1960 e 2008.

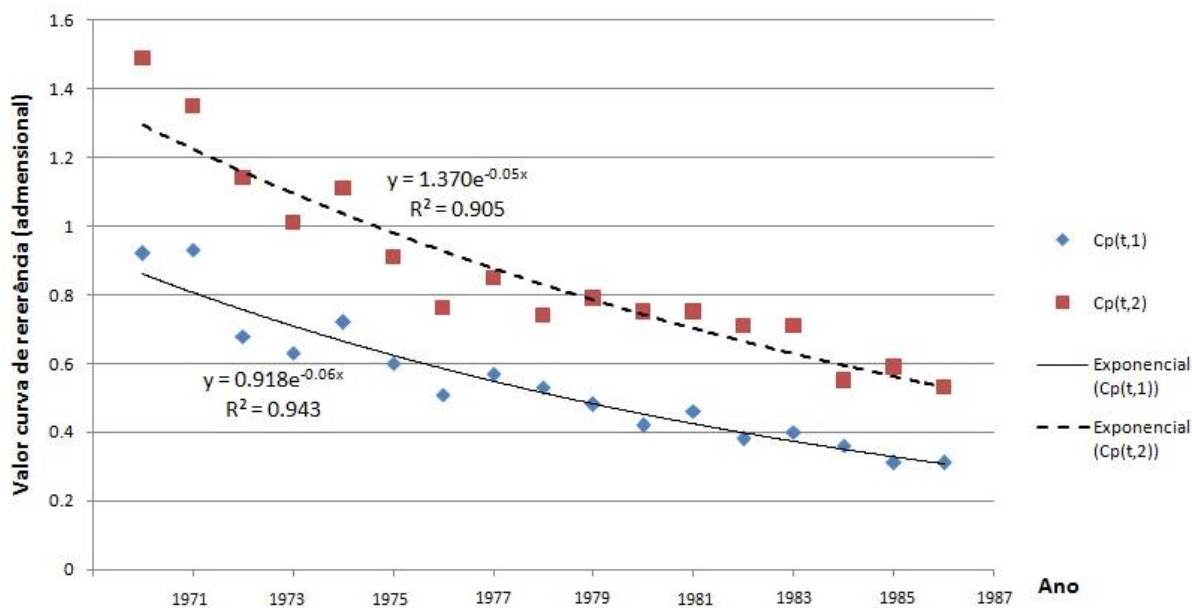


Figura 2 - Regressão exponencial nos valores das curvas de referência Cp entre 1970 a 1986.

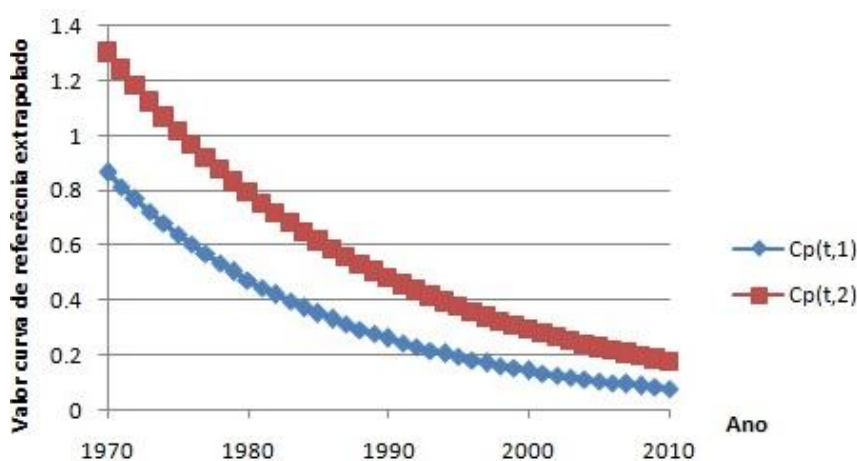


Figura 3 - Extrapolação dos valores da curva de referência Cp para os anos de 1987 a 2009.

Os valores médios anuais de trítio compreendidos entre o período de 2009 e 2015 podem ser recuperados diretamente através de dados de monitoramento atuais da estação CDTN localizada em Belo Horizonte - MG. Tendo em vista seu posicionamento interior ao continente e latitude muito próxima a estação Brasília, seus valores podem ser utilizados diretamente na estação Brasília, conforme sugere Zhai et al. (2013). Para o período compreendido entre 1965 e 1976 utilizou-se os valores originais para a estação Brasília disponibilizados pela IAEA. O resultado da metodologia utilizada pode ser visualizado na Tabela 1.

A utilização do modelo de Doney et al. (1992) é sugerida para regiões onde existem estações da rede GNIP, porém, com série histórica de trítio na precipitação incompleta, como é o caso da estação Brasília. No entanto, regiões onde não há estações GNIP podem ter sua série histórica estimada através de outras metodologias que podem ser consultadas nas referências citadas ao longo do presente texto. Cabe ressaltar que o modelo utilizado no presente trabalho é uma representação matemática dos valores reais podendo haver incertezas nos valores simulados. Além disso, os resultados obtidos no presente trabalho deverão passar por uma comparação com resultados obtidos através de outros modelos de recuperação de intervalos de série histórica, como por exemplo o Modelo de Correlação, o qual foi amplamente utilizado em trabalhos utilizando o trítio no Brasil.

Tabela 1 - Reconstrução da série histórica dos teores de trítio na estação Brasília.

SÉRIE HISTÓRICA DO TEOR DE TRÍTIO NAS PRECIPITAÇÕES ESTAÇÃO BRASÍLIA 1960-2015							
Ano	Teor UT	Ano	Teor UT	Ano	Teor UT	Ano	Teor UT
1960	2.3	1977	8.6	1994	3.9	2011	2.6
1961	6.1	1978	7.5	1995	3.7	2012	2.9
1962	13.4	1979	7.9	1996	3.6	2013	2.5
1963	13.7	1980	7.5	1997	3.4	2014	2.0
1964	15.0	1981	7.5	1998	3.2	2015	2.6
1965	41.2	1982	7.1	1999	3.1		
1966	40.5	1983	7.1	2000	2.9		
1967	29.5	1984	5.5	2001	2.8		
1968	28.9	1985	5.9	2002	2.6		
1969	21.8	1986	5.3	2003	2.5		
1970	21.1	1987	5.6	2004	2.4		
1971	20.5	1988	5.3	2005	2.3		
1972	16.5	1989	5.0	2006	2.2	LEGENDA	
1973	14.8	1990	4.8	2007	2.0	Doney original	
1974	16.2	1991	4.6	2008	1.9	Dados reais	
1975	13.8	1992	4.3	2009	3.1	Extrapolado	
1976	10.3	1993	4.1	2010	2.9	Estação CDTN	

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Seção de Hidrologia Isotópica da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), representadas por Dr. Luís Araguás-Araguás e Stefan Terzer-Wassmuth, pelas importantes discussões a respeito do tema e pela disponibilização de dados dos teores de trítio da estação CDTN-Belo Horizonte durante o período de 2010 a 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CELLE-JEANTON H, GOURCY L, AGGARWAL PK. 2002. Reconstruction of tritium time series in precipitation. In Proceedings of the International Symposium on “Study of Environmental Change using Isotope Techniques”. International Atomic Energy Agency: Vienna; 430–432.
- DONEY SC, GLOVER DM, JENKINS WJ. 1992. A model function of the global bomb tritium distribution in precipitation, 1960–1986. *Journal of Geophysical Research Oceans* 97(C4):5481–5492.
- GAT, J.; MOOK, W.; MEIJER, H. Environmental isotopes in the hydrological. In: Modelling. Vienna, Austria: UNESCO/IAEA, 2001. v. Vol. 2p. 167–235.
- IAEA, 1992. Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation. Technical Report Series 331, IAEA Vienna, 781 pp.
- LEIBUNDGUT, C.; MALOSZEWSKI, P.; KLLS, C. Tracers in Hydrology. John Wiley & Sons, Ltd, 2009.
- NEWMAN, B. D., ARAGUÁS-ARAGUÁS, L. J. AND AGGARWAL, P. K. (2013), Comment on Zhang Y., Ye S., and Wu J. 2011. A modified global model for predicting the tritium distribution in precipitation, 1960–2005. *Hydrological Processes* 25:2379–2392. *Hydrol. Process.*, 27: 1286-1287. doi:10.1002/hyp.9581
- ZHAI, Y., WANG, J., GUO, H., CAO, Y., & TENG, Y. (2013). Reconstruction and Optimization of Tritium Time Series in Precipitation of Beijing, China. *Radiocarbon*, 55(1), 67-79.
- ZHANG Y, YE S, WU J. 2011. A modified global model for predicting the tritium distribution in precipitation, 1960–1986. *Hydrological Processes* 25(15): 2379–2392. DOI: 10.1002/hyp.8001.