



CNEN/SP

ipen **Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares**

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE MARCAÇÃO DA
UMIDADE DO SOLO COM TRÍTIU ARTIFICIAL EM PESQUISAS
HIDROGEOLÓGICAS NO BRASIL**

Dora de Castro Rubio POLI e Annkarin Aurélia Kimmelman e SILVA

IPEN-PUR-313.

PUBLICAÇÃO IPEN 313

AGOSTO/1990

SÃO PAULO

**APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE MARCAÇÃO DA
UMIDADE DO SOLO COM TRÍTIU ARTIFICIAL EM PESQUISAS
HIDROGEOLÓGICAS NO BRASIL**

Dora de Castro Rubio POLI e Annkarin Aurélio Kimmelman e SILVA

DEPARTAMENTO DE APLICAÇÕES NA ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO – BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

B30.00

SOILS

HUMIDITY

WATER INFLUX

TRITIUM

TRACER TECHNIQUES

IPEN - Doc - 3708

Aprovado para publicação em 27/08/90.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE MARCAÇÃO DA
UMIDADE DO SOLO COM TRÍTIIO ARTIFICIAL EM PESQUISAS
HIDROGEOLÓGICAS NO BRASIL.

Dora de Castro Rubio POLI
Annkarin Aurélia Kimmelman e SILVA*

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL

RESUMO

Neste trabalho foi aplicada e avaliada a técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial, em vários tipos de solos para a determinação da infiltração da precipitação na zona não saturada para o cálculo da recarga de aquíferos, com a finalidade de auxiliar na avaliação de locais para disposição de rejeitos radioativos e em avaliações de recursos hídricos. Baseando-se nos resultados obtidos, concluiu-se que a técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial é uma ferramenta útil, precisa e provavelmente a melhor técnica disponível para se determinar a recarga de aquíferos.

* Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

**APPLICATION AND EVALUATION OF THE ARTIFICIAL
TRITIUM TAGGING OF MOISTURE SOIL TECHNIQUE
IN HYDROGEOLOGICAL RESEARCH IN BRAZIL.**

**Dora de Castro Rubio POLI
Annkarin Aurélia Kimmelman e SILVA***

**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL**

ABSTRACT

In this work, we apply and make an evaluation the artificial tritium tagging technique of moisture in many kinds of soils for the determination of rainfall infiltration in unsaturated zone. The purpose of this work is the determination of ground water recharge in order to assist evaluating sites for radioactive waste disposal and water resources. From the experimental results obtained, we can conclude that the use of artificial tritium tagging method is an accurate, useful and probably the best available technique to determine ground water recharge.

* Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas radioisotópicas em estudos hidrológicos têm sido cada vez mais freqüente dado o desenvolvimento na área nuclear, tanto em países desenvolvidos do hemisfério norte, quanto em países como a Índia e o Brasil.

A estimativa da recarga de aquíferos é essencial na avaliação de recursos hídricos. Vários métodos para determinação da recarga são disponíveis. Os métodos clássicos, tais como lisímetro, armazenamento, inventário etc, requerem o conhecimento dos dados hidrometeorológicos da área em estudo (DATTA et alii, 1977). Face a esses problemas, as técnicas isotópicas têm sido usadas com maior freqüência nos últimos anos, envolvendo o uso de traçadores ambientais ou artificiais para a estimativa da recarga.

Os isótopos tais como trítio, deutério e oxigênio-18 fazem parte da molécula da água e portanto têm um comportamento idêntico ou semelhante à água contida num sistema. Dentre estes, o trítio tem a vantagem de ser facilmente detectado por um detector líquido de cintilação.

PRINCÍPIO DO MÉTODO DO TRÍTIO ARTIFICIAL

O método do trítio artificial para a estimativa da recarga baseia-se na suposição que a umidade do solo se move para baixo em camadas discretas. Qualquer camada fresca de água adicionada à superfície por causa da precipitação ou irrigação, irá percolar, deslocando uma mesma quantidade de água abaixo dela e assim sucessivamente de tal forma que a última camada, na zona não saturada é adicionada à água subterrânea. Este conceito de movimento da água através do solo é denominado "Modelo de Fluxo em Pistão" e foi desenvolvido por ZIMERMANN et al (1967) e MUNNICH et al (1968).

Nesta técnica, a umidade a uma certa profundidade é marcada com água tritiada. O traçador se move juntamente com a umidade do solo em virtude da subsequente infiltração

ou evaporação. O solo do local de injeção é coletado após um intervalo de tempo escolhido e o conteúdo de umidade e a concentração do traçador são determinados em amostras de vários intervalos de profundidade. O deslocamento da posição do traçador é indicado pelo pico em sua concentração.

Se a água tritiada é injetada abaixo da zona das raízes, ela se move como uma nuvem de umidade marcada, em direção ao aquífero por causa da infiltração da água da chuva. Durante o seu movimento, a "nuvem" pode apresentar algum espalhamento vertical por causa de variações microscópicas da velocidade e difusão molecular. O centro de gravidade do perfil de trítio corresponde à posição da camada marcada. O conteúdo de umidade da coluna de solo entre a profundidade de injeção e a de deslocamento do traçador é a medida da recarga da água subterrânea no intervalo de tempo entre a injeção do trítio e a coleta do solo. Então, a recarga líquida, em cm, pode ser expressa pela seguinte expressão (DATTA, 1977), dividida pela densidade da água (1g/cm^3):

$$R = \frac{hDx}{1 + h}$$

onde:

R = peso da água por unidade de área (recarga);

x = deslocamento do pico do trítio ou dentro de gravidade (cm);

h = conteúdo médio de umidade do solo entre a profundidade de injeção e o pico do trítio ou centro de gravidade (a umidade é o peso da água por unidade de peso de solo seco (%));

D = densidade média do solo (g/cm^3).

APLICAÇÕES

O estudo da recarga e movimento da umidade do solo na zona não saturada teve como finalidade as seguintes aplicações:

1. Avaliação de locais para disposição de rejeitos radioativos.

Uma aplicação importante da técnica de marcação da umidade do solo é na avaliação de locais para disposição de rejeitos radioativos no solo. Um armazenamento seguro é determinado pelas características geohidrológicas do solo, as quais influenciam grandemente a migração de materiais radioativos. O rejeito radioativo que é estocado no sub-solo ou na superfície, poderá sofrer, com o tempo, infiltração vertical junto com a água e a seguir poderá se mover horizontalmente na direção do fluxo da água subterrânea.

Neste trabalho foi utilizada a injeção de trítio artificial para a determinação da recarga em dois locais no IPEN: no antigo local e na área atual de disposição de rejeitos radioativos (sítio).

2. Avaliação da recarga e umidade em zona semi-árida.

O estudo de recarga de aquíferos é extremamente importante em regiões áridas e semi-áridas, já que os reservatórios de água subterrânea são a maior fonte de fornecimento de água nestas regiões.

No nordeste brasileiro, principalmente no "Polígono das Secas", o volume, a quantidade e a qualidade da água têm uma importância muito maior que em outras regiões do País tornando necessário o conhecimento dos aquíferos da região.

No Rio Grande do Norte, como parte de um programa conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) de avaliação de recursos hídricos na "Formação Barreiras", determinou-se a recarga em 5 locais, abrangendo uma área de ~ 1500 km².

3. Avaliação da recarga e umidade em terrenos subtropicais úmidos.

O número crescente de casos de poluição de águas subterrâneas em todo o mundo torna essencial o estudo da zona

não saturada, pois ela é o caminho de infiltração da maioria dos poluentes da atmosfera e a locação de várias reações químicas.

Com a finalidade de estudar a infiltração da precipitação na zona não saturada foram realizadas injeções de trítio artificial em dois locais: na Estação Experimental para Estudo da Dinâmica e da Evolução Química da Água na Zona não Saturada (Viveiro - USP) e em laterito, uma alteração do dunito, localizada em Cajati-Jacupiranga, no Vale do Ribeira, São Paulo.

TRABALHO EXPERIMENTAL

Nos experimentos a serem descritos utilizou-se como traçador, o trítio artificial sob a forma de água tritiada com concentrações variando de $3,7 \times 10^4$ a $7,4 \times 10^4$ Bq/ml (1 a $2 \mu\text{Ci/ml}$). A concentração foi escolhida com base na concentração máxima permissível (limite de incorporação anual para ingestão e inalação: 3×10^9 Bq, CNEN, 1988), no limite de detecção do aparelho utilizado e nas características do local em estudo.

Baseando-se nos métodos de injeções existentes, procurou-se determinar uma forma de injeção mais conveniente aos interesses do trabalho.

As injeções de trítio artificial são feitas a uma profundidade bem abaixo da influência das raízes (50 a 90 cm), a fim de minimizar a interferência da evapotranspiração na determinação da recarga e, de preferência, em lugares planos e longe de árvores com raízes profundas.

São feitas em cinco pontos a uma distância de 10 cm em forma de cruz. Deste modo, o deslocamento ou difusão da nuvem de trítio deve ser mais uniforme ao redor do ponto de injeção.

Em geral, são feitos cinco conjuntos de injeções cada um contendo cinco pontos, distanciados 1 - 5 m um do outro. Isto garante a possibilidade de se fazer 4-5 amostragens

de solo para diferentes intervalos de tempo sem afetar o solo natural e as condições ao redor do conjunto ainda não amostrado.

A operação de injeção é a seguinte: inicialmente são colocadas cinco barras no solo de tal forma que se abra um buraco de 70 cm de profundidade (ou outra profundidade desejada) e 7 mm de diâmetro. As barras são retiradas e inseridos tubos de injeção de latão ou aço inox (de diâmetro externo 3 mm). São inseridos vagarosamente 2,5ml de água trititada dentro de cada buraco com uma seringa. Após as injeções, os furos são preenchidos com solo. Marcadores são colocados nos pontos de injeção para servir como indicação para subseqüentes localizações desses pontos. A área é mantida completamente sem perturbação.

Normalmente, as amostras de solo são retiradas após 3, 6, 9 e 12 meses da injeção, completando assim um ciclo de chuva.

As amostras de solo são tomadas com um trado manual de 3" de diâmetro em intervalos de 10 em 10 cm até a profundidade desejada. Quantidades de solo adequadas são armazenadas em frascos bem vedados e estes frascos são levados ao laboratório para a estimativa do conteúdo de trítio e de umidade.

A medida da densidade média é feita no próprio campo, pesando-se todo o solo retirado. Isto é feito admitindo-se uma pequena variação do peso específico do solo até a profundidade alcançada.

O conteúdo de umidade é obtido, pesando-se as amostras de solo, antes e após a secagem em uma estufa a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$, segundo a norma ASTM, Designação D-2216-71.

Para determinação do conteúdo de trítio, montou-se um sistema de vácuo, para destilação das amostras de solo.

Para extração da umidade, as amostras de solo são destiladas à vácuo mecânico. As amostras são aquecidas com mantas aquecedoras com temperaturas reguláveis. A umidade des

tilada é coletada em condensadores resfriados por uma mistura de gelo seco e acetona ou nitrogênio líquido e álcool (-70°C).

A determinação do conteúdo de trítio é feita por contagem num espectrômetro de cintilador líquido, LKB-Wallac , 81000 comercial, utilizando-se "Aquasol-2" como solução cintiladora.

A partir dos perfis de trítio e de umidade, calcula-se a recarga.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se para o antigo local de disposição de rejeitos radioativos do IPEN uma recarga de 23,6cm para o período de 24.07.79 a 28.05.80, o que corresponde a uma taxa de infiltração de 15,2% da precipitação neste período.

No sítio atual de disposição de rejeitos radioativos do IPEN, obteve-se uma recarga de 63,5cm no período de 30.11.81 a 27.08.82, o que corresponde a uma taxa de infiltração de 39,2% da precipitação neste intervalo de tempo.

Apesar dos dois sítios estarem situados próximos um do outro, o antigo local está situado numa área de aterro, tendo portanto características de solo diferentes do sítio atual, o que pode explicar os diferentes valores obtidos para recarga.

Os resultados obtidos nos cinco locais no estado do Rio Grande do Norte através da injeção de trítio mostraram uma excelente correspondência entre o tipo de cobertura e as recargas. Assim é que, as maiores recargas foram obtidas em São José do Mipibu (39,8cm), Nísia Floresta (39,9cm) e Posto da Marinha (41,7cm). Nestes locais, é notório o domínio do solo arenoso, sobre a parte argilosa. Goianinha (11,9cm) e Campo Limpo (26,8cm), são os locais onde se observam as menores infiltrações. Nestas duas áreas, a ocorrência de coberturas arenosas é mais rara, relativamente

às demais.

Feitas as condições acima, escolheu-se para esta região um valor médio da recarga de 19,3cm/ano, correspondente à média das determinações efetuadas em Goianinha (11,9cm) e Campo Limpo (26,8cm) que representam melhor a região estudada.

Considerando-se a pluviometria média anual para a área, de 1212mm, o valor de recarga acima corresponde a uma taxa de infiltração de 16% (IPT, 1982).

No Viveiro - USP, foram realizadas injeções de trítio em 17.12.1985, onde foi realizada uma amostragem em 26.05.86, obtendo-se um valor de 60cm para 5 meses após a injeção.

Nesta experiência foi realizada apenas uma amostragem, não sendo possível completar um ciclo de chuva (um ano) por motivos de perda da localização exata dos pontos de injeção do traçador.

No distrito de Cajati-Jacupiranga, situado no Vale do Ribeira, São Paulo, realizaram-se injeções de trítio em 14.04.1988. Obteve-se para este local uma recarga de 1070mm o que corresponde a 65% da precipitação, que neste período foi de 1650mm (PFESTERER, comunicação verbal, 1989).

Esta infiltração alta pode ser explicada pelo local em estudo. Trata-se de uma região com clima quente e úmido, praticamente sem estiagem, com precipitações elevadas, com o solo, tendo alto conteúdo de umidade e alta permeabilidade.

CONCLUSÕES

A técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial é uma ferramenta útil, disponível e recomendável na estimativa da recarga de aquíferos.

Na maioria dos locais estudados, a maior fonte de recarga para os aquíferos é a precipitação. Desde que a precipi

tação é irregularmente distribuída no tempo e no espaço, o mesmo acontece com a recarga. Pode-se concluir também, dos resultados obtidos, que a quantidade de precipitação que alcança a zona de saturação depende de vários fatores, a saber, a deficiência de umidade do solo, a profundidade do nível d'água, a intensidade, duração e distribuição da precipitação, o uso da terra, as propriedades físicas do solo, a vegetação, a topografia, a temperatura do ar, a velocidade do vento, a evaporação, a evapotranspiração etc.

Desde que estes fatores variam significativamente de bacia para bacia, e em casos, dentro da própria bacia, uma extrapolação de valores de recarga de uma região para outra pode levar a resultados errôneos; portanto, é importante estudar cada região individualmente.

A aplicação da técnica de marcação da umidade com trítio artificial em locais com diferentes tipos de climas, permite concluir que ela pode ser aplicada, independentemente do tipo de clima de uma região.

Este método, além de ser preciso, apresenta algumas vantagens; não causa mudanças nas condições naturais, pode ser aplicado no campo sem requerer equipamentos sofisticados e, em geral, apresenta um custo relativamente baixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BLUME, H.P.; ZIMMERMANN, U.; MUNNICH, K.O.. Tritium tagging of soil moisture: the water balance of forest soils. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigations studies: proceedings of a symposium ... held in Istambul, 12-16 Jun. 1967. Vienna, 1967. p. 315-22.
02. CHANDRA, U.. Studies on exchange and movement of isotopes in soil and water media. Bombay, 1978.

(Thesis, Univ. Bombay).

03. CHANDRA, U. & POLI, D.C.R. Hydrological evaluation of radioactive waste disposal site at IPEN: Study of movement of soil moisture and groundwater recharge by artificial tritium tagging method. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Águas subterrâneas: anais do 1. congresso brasileiro. Recife , nov. 1980. Recife 1980. p. 545-55.

04. DATTA, P.S. & GOEL, P.S. Groundwater recharge in Panjab State (India) using tritium tracer. Nordic Hydrology. 8:225-236, 1977.

05. GOEL, P.S.; DATTA, P.S.; TANWAR, B.S. Measurement of vertical recharge to groundwater in Haryana State (India) using tritium tracer. Nordic Hydrology. 8:211-224, 1977.

06. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Estudo regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. São Paulo, 1982. (IPT-15795).

07. MUNNICH, K.O.. Moisture movement in the unsaturated zone. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Guide book on nuclear technique in hydrology. 1983 edition Vienna, 1983. p. 203-22. (Technical reports series, 911).

08. POLI, D.C.R.. Aplicação e avaliação da técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial em pesquisas hidrogeológicas no Brasil. São Paulo, 1989. (Tese de doutoramento, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

09. ZIMMERMANN, U.; MUNNICH, K.O.; ROETHER, W.; KREUTZ, W.;
SCHUBACH, K.; SIEGEL, O.. Tracer determine movement
of soil moisture and evapotranspiration. Science.
152: 346-7, 1966.