

A posição do "Homem de Lagoa Santa"

Os restos humanos depositados nos sedimentos holocênicos da Lapa Vermelha IV são de um único ser e representam um indivíduo feminino, ainda jovem, de idade em torno de 23 anos. Os ossos foram encontrados em pontos diferentes, relativamente próximos um do outro, dentro do esquema da setorização arqueológica. A sua disposição natural, num depósito quaternário de 5a1 envergadura, nos induziu a uma associação com os demais vertebrados. É difícil explicar como estes restos humanos, pertencentes a um mesmo indivíduo, achavam-se dispostos em posições diferentes, tanto no sentido vertical como no horizontal. Daí, a razão pela qual, procuramos tridimensionar a posição dos ossos humanos dentro do pacote sedimentar com base nos dados levantados na operação de decapagem realizada pelos arqueólogos. O bloco diagrama, então, poderá ser utilizado para a localização, no espaço e no tempo dos vestígios de interesse arqueológico e paleontológico.

A fauna associada ao homem nos sedimentos

Os sedimentos encolventes dos restos humanos contem a mesma microfauna de vertebrados, típica em toda a sequencia holocênica. A macrofauna de vertebrados, por sua vez, apresenta Cervidae, Carnívora, Tayassuidae, etc. cujos animais, poderiam ter sido fontes de alimento para o Homem, embora antropologicamente, o Homem de Lagoa Santa é considerado mais vegetariano do que onívoro, segundo suas estruturas dentárias. Outros vertebrados como peixes, anfíbios, répteis e aves podem ter sua ocorrência registrada naturalmente no ambiente da região.

* * * * *

MÉTODOS DE DATAÇÃO APLICADOS À ESPELEOLOGIA

Ivo Karmann

Luiz Enrique Sánchez

Centro Excursionista Universitário - CEU

Abstracts : This work is about the radiocarbon dating of calcite's deposits and organic inclusions in cavern's sediments. Any deposit of carbon has a quantity of radioactive isotope 14 ($10^{-10}\%$) including of course, dead organisms and calcite's deposits; so it is possible to determine their ages, what is very interesting to speleology as much as to archaeology and paleontology. All the datation methods by

measuring the contents of radiocarbon begin by the conversion of the sample's carbon in pure elemental carbon or its compound that is put in a radiochemistry counter chamber where its number of disintegrations is measured per minute; this value is compared with the value obtained using present carbon or compound. One of the main interpretations got by scientists who studied this method and applied it to caves is the temporal localization of glacial epochs when didn't occur the growth of stalagmites.

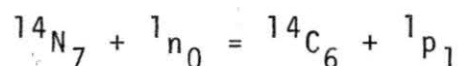
I - Introdução

É de interesse da espeleologia saber a idade das rochas encaixantes das grutas e abismos. No caso das cavernas do Vale do Ribeira, elas estão encaixadas no calcário do Grupo Açungui, que é do Pré-Cambriano e tem uma idade entre 600 e 650 milhões de anos, que foi determinada pelo método K-Ar através de minerais separados de amostras de rochas metamórficas da formação. Não entraremos em detalhes sobre a determinação destas idades por ser um trabalho de Geologia Regional.

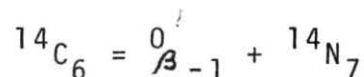
Trataremos aqui, como assunto ligado diretamente à espeleologia, da datação da calcita secundária em depósitos de cavernas pelo método carbono-14 e, pelo mesmo método, da datação de inclusões de origem orgânica em sedimentos cavernícolas.

II - Origem do Carbono-14

O carbono-14 é produzido na alta atmosfera (a uma altitude aproximada de 10.000 metros) por bombardeamento de neutrons sobre núcleo de nitrogênio-14, de acordo com a reação :



Os raios cósmicos, constituídos na sua maioria de protons viajando a alta velocidade, penetram na atmosfera, colidindo com núcleos dos átomos formadores dos gases atmosféricos; essas colisões produzem, entre outras partículas, neutrons, que por sua vez reagem com o nitrogênio-14 de acordo com a reação :



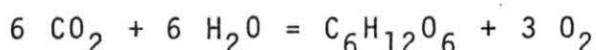
III - O ciclo do Carbono-14 na natureza

A quantidade de carbono-14 fica constante na natureza, porque a formação de novos isótopos é compensada pelo decaimento do mesmo número de isótopos. No planeta inteiro decaem e são formados cerca de 10 kg de carbono-14 por ano. No total a reserva é de 80 ton, das quais 96 % ficam como carbonatos no mar, 2 % como dióxido de carbono no ar e o res-

tante distribuído por diversos materiais, entre os quais os depósitos secundários de calcita e as inclusões orgânicas em sedimentos cavernícolas.

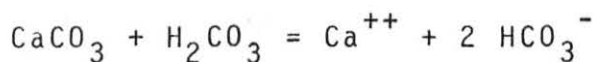
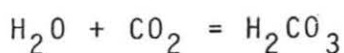
No momento de sua formação, o nuclídeo radioativo é muito reativo e, assim, se combina com o oxigênio do ar formando o $^{14}\text{CO}_2$ (dióxido de carbono radioativo); o $^{14}\text{CO}_2$ está, portanto, misturado ao dióxido de carbono do ar, e com uma proporção de 1:10¹².

Isto significa que uma parte do dióxido de carbono absorvido pelos vegetais no processo da fotossíntese será o radioativo:



Enquanto o vegetal vive, a proporção de dióxido de carbono radioativo permanece constante; no momento em que ele morre essa relação começa a cair devido à desintegração do carbono-14 sem conseqüente reposição. Se um desses restos vegetais for encontrado numa escavação, ele poderá ser objeto de datação, medindo-se a sua radioatividade. Os animais por sua vez, ao alimentarem-se de vegetais, estarão ingerindo uma certa quantidade de carbono radioativo, que também é constante enquanto o animal vive; no momento em que ele morre essa relação também começa a cair. O mesmo acontece com animais carnívoros, que assimilam o carbono radioativo de outros animais.

Por outro lado, a água que penetra pelas diáclases de calcário também contém dióxido de carbono radioativo; o CO_2 dissolvido na água forma ácido carbônico que vai corroer o calcário removendo o carbonato de cálcio da rocha de acordo com as reações:



Temos portanto, dissolvidos na água, íons Ca^{++} e HCO_3^- . Assim, quando a solução chega à caverna, devido principalmente ao fato de que a concentração de dióxido de carbono é menor no ar do que na água, o CO_2 dissolvido é liberado e conseqüentemente, como a concentração de CaCO_3 na água depende da quantidade de CO_2 dissolvida, a calcita irá precipitar, constituindo assim o sínter de cavernas, que contém uma pequena percentagem de carbono-14. Desse modo, é possível a datação de depósitos de calcita secundária medindo-se sua radioatividade.

Análises de sínter recém-formado revelam que este possui uma concentração inicial de carbono-14 20% menor que o material orgânico.

IV - O método

Todos os métodos de datação de objetos pela medida de seu conteúdo de carbono-14 começam pela conversão do carbono da amostra em carbono elementar puro ou num composto puro de carbono. O carbono ou seu composto é então colocado numa câmara de contagem radioquímica e o número de desintegrações por minuto é contado; este valor é comparado com o número de desintegrações por minuto produzido pelo carbono ou composto atual. Costuma-se determinar a idade pela aplicação da fórmula:

$$\text{idade (em anos)} = \frac{-\log (N/N_0)}{\log 2} \cdot 5730$$

onde N/N_0 é a fração remanescente de carbono-14 e 5730 é a meia-vida do carbono-14 em anos.

Assim, por exemplo, se o número de desintegrações por minuto é a metade do valor atual, então $N/N_0 = 1/2$ e

$$\begin{aligned} \text{idade} &= \frac{-\log 1/2}{\log 2} \cdot 5730 = \frac{-(\log 1 - \log 2)}{\log 2} \cdot 5730 = \\ &= \frac{\log 2}{\log 2} \cdot 5730 = 5730 \text{ anos, o que é óbvio.} \end{aligned}$$

Existem três métodos de contagem: (a) o do carbono sólido; (b) o da cintilação e (c) o gasoso. No primeiro método, desenvolvido na Universidade de Chicago por Libby e associados, as desintegrações são contadas com a amostra na forma sólida; atualmente este método é considerado ineficiente pois requer grandes quantidades de carbono ou um período de contagem muito longo. No segundo método o carbono é convertido num composto orgânico que é dissolvido numa solução de fósforo de cintilação; o elétron produzido pela desintegração do carbono produz um flash de luz quando colide com uma molécula de fósforo dissolvido na solução. O número de desintegrações por minuto do carbono é obtido a partir da contagem dos flashes de luz. Este método é muito mais eficiente que o anterior e permite uma contagem por um tempo mais curto ou a extensão do limite de idade de 40.000 anos, contra 25.000 do carbono sólido. Já no método de contagem de gás, este é colocado num recipiente cilíndrico com um fio axial elevado a um potencial positivo de milhares de volts em relação às paredes do cilindro; quando um átomo de carbono-14 se desintegra, o elétron que ele produz é atraído pelo fio, o que ocasiona uma contagem. Os gases mais utilizados são o dióxido

do de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o acetileno (C_2H_2). Este método tem permitido a extensão do limite de idade para cerca de dez meias-vidas, ou mais de 50.000 anos.

O método utilizado no Laboratório de Cronologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo é : (a) gotejamento de ácido clorídrico sobre a amostra de calcita; (b) armazenamento do dióxido de carbono liberado; (c) produção de carbeto de lítio a partir do dióxido de carbono; (d) produção de acetileno por hidrólise do carbeto de lítio; (e) purificação com ácido fosfórico ; (f) obtenção de benzeno a partir de reação catalítica do acetileno. O benzeno é então colocado numa câmara de contagem por períodos de 100 minutos durante 24 horas a partir do número de desintegrações por minuto da amostra, chega-se à sua idade.

V - Problemas

O método assume a constância em tempos passados da relação atmosférica e oceânica entre o C-14 e o C-12. Mas uma flutuação na quantidade de carbono-14 na atmosfera durante a época anterior a Cristo, foi inicialmente suspeitada das discrepâncias encontradas entre as datas radiocarbônicas e as cronologias estabelecidas para as primeiras dinastias egípcias - as datas carbono-14 para este era são consistentemente atrasadas de 300 ao 500 anos.

Agora, com a dendrocronologia, existe um meio de se avaliar estas flutuações, comparando-se as idades radiocarbônicas com as obtidas a partir da contagem de anéis de árvores. O estudo da duração e magnitude dessas flutuações podem levar a um entendimento de sua origem. Uma das hipóteses é a seguinte : é sabido, através de dados do paleo e arqueomagnetismo, que o campo magnético da Terra tem variado ao longo do tempo; como a quantidade de raios cósmicos do campo geomagnético, uma variação deste acarretaria uma variação daquela e conseqüentemente, na produção de novos átomos de carbono-14.

As flutuações poderiam também ter tido origem em uma variação da atividade solar, ou uma variação das condições de equilíbrio entre a atmosfera e oceanos, ou ainda numa desconhecida combinação de vários fatores.

VI - Interpretações

Depois da comprovação do método e da validade dos dados obtidos formou-se a preocupação de escolher problemas e resolvê-los através destas datações, pois não é de muita utilidade fazer as datações apenas para se saber a idade de algum espeleotema, mas sim usar estes valores na

interpretação da evolução da paisagem, evolução do clima e localização no tempo de processos de desmoronamentos.

Para este procedimento precisamos escolher locais com condições especiais, pois o quimismo e a variedade de formas do sinter depende de condições geográficas, principalmente fitogeográficas e hidrogeográficas como também das condições físicas do macro e micro-clima. O sinter de cavernas apresenta sempre uma estrutura estratigráfica, o que pode fornecer dados importantes, mesmo sendo complexo e variado.

Em muitas cavernas aparecem grupos de espeleotemas que visualmente poderiam ser agrupados de acordo com uma classe de formas; talvez cada forma represente uma geração de formação, o que já foi comprovado por datações radiocarbônicas em cavernas européias.

A teoria de precipitação da calcita diz que gerações de sinter são representantes de determinados períodos climáticos, o que mostra a importância de reconhecermos uma correlação entre dados morfológicos e grandezas condicionadas pelo clima. O objetivo final de um estudo de morfologia do sinter cavernícola seria o de reconhecer precisamente qual o processo responsável por cada forma. Na maioria dos casos um grande número de fatores físicos e químicos está relacionado, o que torna a tarefa muito difícil, se não impossível.

Contudo, podemos fazer aproximações, pois é sabido que há fatores que influem muito mais que outros na morfologia de determinada formação.

No sentido de pesquisas paleoclimáticas a tarefa fica um pouco mais simples, pois uma teoria que englobe todas as formas possíveis não é necessária neste caso; é suficiente a escolha, entre as muitas formas, daquela em que se reflitam mais nitidamente as condições ambientais. Esta forma é a estalagmite.

As primeiras análises de sinter foram realizadas no Instituto de Física da Universidade de Heidelberg. O interesse deste instituto era saber a idade do gás carbônico solubilizado na água, que é de grande interesse prático, pois assim pode-se determinar se a água subterrânea está ligada ao ciclo da água ou não, e disto depende a produtividade de de poços.

Os estudos seguintes de datação de sinter efetuaram-se nos laboratórios de carbono-14 e hidrogênio-3 do Serviço Geológico de Hannover através da orientação de Mebus A. Geyh. Estes estudos objetivaram o reconhecimento imediato dos períodos e velocidade de crescimento das estalagmites. Para isto serviria, a princípio, uma datação da base da estalagmite e outra do ápice.

Os primeiros intervalos de crescimento das estalagmites caíram no período pós-glacial (de 5.000 a 8.000 anos). Assim comprovou-se a hipótese do princípio de formação do sinter: cada espeleotema (estalagmite) representa um intervalo de tempo no qual houve ótimas condições de vegetação, isto é, um período de clima quente e úmido. Sendo isto verdade, então deveríamos encontrar toda a história climática registrada nas estalagmites, durante o intervalo de crescimento das mesmas. Por isto elaborou-se um quadro estatístico com o resultado obtido a partir de 100 estalagmites. Geyh montou um histograma para interpretar os valores, e comprovou as expectativas. Distingue-se nesse gráfico uma geração de estalagmite interglacial e outra pós-glacial.

Desse modo pode-se aplicar a sintercronologia para estabelecer as idades do começo, fim e períodos interglaciais da última glaciação. Para a Europa Central não houve formação de sinter entre 20.000 e 12.000 anos atrás.

Determinando idades da base e do ápice das estalagmites podemos obter a velocidade de crescimento; aqui obteve-se resultados bastante diferentes entre o pós-glacial e o último interglacial. Para o segundo, o valor obtido foi de $\pm 1,5 \sim 1,0$ mm/século e para o primeiro foi de ± 15 mm/século.

A partir da observação das estalagmites formadas no interglacial, viu-se que estas são mais largas (maior diâmetro) que as do pós-glacial; daí conclui-se que houve neste período uma pluviosidade maior que no pós-glacial.

Bibliografia

- . Suguio, K. e Petri, S., "Sobre os Metassedimentos do Grupo Açungui do Extremo Sul do Estado de São Paulo". Sec. Serv. Ob. Publ. e FFCL - USP . São Paulo, 1969.
- . Wise, E.N., "The C-14 Age Determination Method" . Geochronology . University of Arizona Bulletin. Tucson, 1955.
- . Harbaugh, J.W., "Stratigraphy and the Geologic Time Scale" . WM. C. Brown Company Publishers. Dubuque, 1968.
- . Franke, H.W., "Geheimnisvolle Hohlenwelt". Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1974.
- . Franke, H.W., "Morphologie und Stratigraphie des Tropfsteins Ruckschlusse auf Gro en des Palaoklimas", Geol. Jub., vol. 89. Hannover, november, 1971.
- Franke, H.W., "Agressive Wasser", Bild der Wissenschaft, Stuttgart,

- fevereiro, 1975, pág. 40-47.
- . Franke, H.W., "Tropfstein-Kalender", Bild der Wissenschaft, Stuttgart, março, 1973, pág. 218-228.
 - . Franke, H.W. e Geyh, M.A., "Isotopenphysikalische Analysenergebnisse von Kalksinter - Überblick zum Stand ihrer Deutbarkeit", Die Hohle ano 21, vol. 1, Viena, 1970.
 - . Franke, H.W. e Geyh, M.A., "¹⁴C-Datierungen von Kalksinter aus slowenischen Höhlen", Der Aufschluss, ano 22, vol. 7-8. Hannover, 1971
 - . Geyh, M.A., "Zeitliche Abgrenzung von Klimaänderungen mit ¹⁴C Daten von Kalksinter und Organischen Substanzen", Beih. geol. Jb., vol 98. Hannover, dezember, 1970.
 - . Stewart, E.R., "Dating Techniques in Archeology with particular Reference to Radiocarbon Dating", Proceedings of the First Federal Science Congress.
 - . Rainey, F.E., Ralph, E.K., "Archeology and its New Technology", Science September 23, 1966, vol. 153, nº 3743, pages 1481-1491.
 - . Johnson, F., Arnold, J.R. e Flint, R.F., "Radiocarbon Dating, International Conference", Science, February 8, 1957, pages 240-2.
 - . Franke, H.W. e Geyh, M.A., "Zur Wachstumsgeschwindigkeit von Stalagmiten", Atompraxis, sonderdruckaus heft 1, 16, Jahrg. Jan/febr. 1970.

* * * * *

GEOMORFOLOGIA E ESPELEOLOGIA

Aziz Nacib Ad'Sāber
Instituto de Geografia - USP

Abstract:

Studies on the morphological aspects of limestone areas, subject to the processes of chemical dissolution under different morphoclimatic conditions, were responsible for the breeding of new branches of