



# HISTÓRIA DE PORTUGAL

# HISTÓRIA DE PORTUGAL

## DOS TEMPOS PRÉ-HISTÓRICOS AOS NOSSOS DIAS

*Dirigida por*

**João Medina**

Professor Catedrático da Faculdade de Letras  
Universidade de Lisboa



**ediclube**

Edição e Promoção do Livro, Lda.

Nas guardas: *vaso do povoado  
do Monte Novo dos Albardeiros  
(Reguengos de Monsaraz). Foto  
de Victor S. Gonçalves.*

Maquetização do Departamento de Produção  
sobre projecto gráfico de Luís Bianchi Candeias

Edita:

© S.A.E.P.A.

Avda. de Manóteras, 50-52

Madrid (Espanha)

Edição em exclusivo para

EDICLUBE

Edição e Promoção do Livro, Lda.

Quinta Grande - Lote 14 - Alfragide

2700 Amadora (Portugal)

© das ilustrações pertence às instituições, entidades  
e pessoas mencionadas nas respectivas legendas

Reservados todos os direitos. Proibida a reprodução,  
total ou parcial, dos textos ou das ilustrações  
sem autorização prévia e por escrito dos editores

Impresso em Espanha

por Egedsa

Sabadell, Barcelona

ISBN 84-408-0105-X (o.c.)

ISBN 84-408-0106-8 (vol. I)

Depósito legal n.º B-20856-94

# A datação pelo radiocarbono

## Alguns princípios básicos

O carbono, um dos elementos químicos, é conjuntamente com o hidrogénio um componente de todos os compostos orgânicos e, por conseguinte, fundamental para a vida. Ocorre na Natureza sob a forma de três isótopos –  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  e  $^{14}\text{C}$ . Enquanto os dois primeiros, os mais abundantes, são estáveis, o último é radioactivo.

O  $^{14}\text{C}$  (ou radiocarbono) forma-se continuamente nas altas camadas da atmosfera devido à acção da radiação cósmica. Uma vez formado, combina-se rapidamente com o oxigénio originando moléculas de dióxido de carbono radioactivo, as quais se dispersam, também rapidamente, por toda a atmosfera. Sendo o  $^{14}\text{C}$  um isótopo radioactivo, o seu núcleo, que é instável, desintegra-se e transforma-se num núcleo de azoto pela emissão de uma partícula  $\beta^-$  e de um antineutrino:



A taxa de declínio (ou de decaimento) radioactivo é normalmente

por António M. Monge Soares



*Furador languedocense. Foto Victor S. Gonçalves (MAEDS).*

caracterizada pelo período que, no caso do  $^{14}\text{C}$ , tem o valor de  $5730 \pm 40$  anos.

Devido à idade da Terra (vários milhões de anos) e ao valor do período existe, na atmosfera, um balanço de equilíbrio entre a taxa de produção e a taxa de declínio do radiocarbono. Daí que todos os organismos vivos em equilíbrio com a atmosfera tenham, em primeira aproximação, o mesmo teor de radiocarbono relativamente à quantidade total de carbono que entra na sua constituição.

Quando um organismo vivo morre, o seu teor em radiocarbono começa a decrescer devido ao processo de desintegração radioactiva. Decrescimento esse que se efectua a um determinado ritmo de acordo com o período do radiocarbono. Então, com base na taxa de declínio, e se se conhecer a concentração inicial em radiocarbono, é possível calcular o intervalo de tempo que decorreu desde o momento da morte do organismo.

Foi Libby, um professor de Química da Universidade de Chicago, que, nos finais da década de 40, teorizou e pôs em prática o método de datação pelo radiocarbono, o que lhe valeu a atribuição do Prémio Nobel da Química em 1960.

Dois postulados fundamentais estão na base do método. O primeiro é o de que o teor em radiocarbono na atmosfera se tem mantido constante ao longo do tempo. Assim, o teor inicial em radiocarbono de uma qualquer amostra de qualquer idade é idêntico ao teor desse isótopo em qualquer ser vivo actual. É evidente que a queima de combustíveis fósseis, a partir da Revolução Industrial, e os testes nucleares, já neste século, destruíram o equilíbrio de que se falou atrás e, portanto, o teor actual nos seres vivos terá de ser corrigido. Por isso, em qualquer laboratório, se utiliza como padrão moderno de referência um padrão artificial representado por 95% da actividade do ácido oxálico N.B.S.

O segundo postulado diz que o teor em radiocarbono na atmosfera é idêntico para qualquer ponto do globo. Daí a universalidade do método, uma vez que a localização geográfica das amostras não influi no seu teor em radiocarbono.

Libby, ao determinar o período do radiocarbono a partir de três medições independentes, obteve o valor de  $5568 \pm 30$  anos (*libby half-life*), o qual foi utilizado, durante a década de 50, determinado em 1962 e referido atrás ( $5730 \pm 40$  anos), continuou a ser usado por todos os laboratórios mais tarde.

### Datas convencionais de radiocarbono

Já foi referido que, em datação pelo radiocarbono, o padrão moderno de referência é representado por 95% da actividade do ácido oxálico N.B.S. Essa grandeza corresponderia à actividade da madeira que se queimou em 1950, se os efeitos resultantes da queima dos combustíveis fósseis e dos testes nucleares estivessem ausentes. Deste modo, 1950 d.C. é o ano zero do «calendário do radiocarbono».

Um outro fenómeno a ter em conta na datação pelo radiocarbono é o do fraccionamento isotópico. Embora os isótopos de um determinado elemento sejam quimicamente indistinguíveis, as suas velocidades de reacção são diferentes e, por conseguinte, em qualquer transformação biológica as concentrações finais dos diferentes isótopos serão diferentes das iniciais. Assim, cada tecido ou material biológico terá uma determinada composição isotópica resultante do fraccionamento isotópico ocorrido quando do processo ou processos específicos que lhe deram origem. Por isso, fazendo uso de um espectrómetro de massa, procede-se à medição da

razão isotópica entre o  $^{13}\text{C}$  e o  $^{12}\text{C}$  na amostra, tomando como padrão de referência o padrão PDB (uma belemnite da formação cretácica Peedee da Carolina do Sul), e assume-se que o efeito de fraccionamento para o  $^{14}\text{C}$  é o dobro do sofrido pelo  $^{13}\text{C}$ . As razões isotópicas são normalmente expressas como valores de uma grandeza  $\delta$  (que não valerá a pena aqui definir), a qual toma, conforme o tipo de material, determinados valores que geralmente não variam mais do que 2 ou 3‰ daqueles que são indicados no Quadro I.

Quadro I  
Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para vários materiais

Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Turfa	-27
Madeira e plantas $\text{C}_3$	-25
Colagéneo	-20
Plantas $\text{C}_4$	-13
Plantas aquáticas (água doce)	-16
Plantas aquáticas (marinhas)	-12
$\text{CO}_2$ atmosférico	8
Conchas marinhas	0

Pode, agora, definir-se o que se entende por data convencional de radiocarbono – é aquela que é calculada assumindo que: a) o primeiro postulado de Libby é válido; b) o período do  $^{14}\text{C}$  tem o valor de 5 568 anos; c) o padrão moderno de referência é representado por 95% da actividade do ácido oxálico N.B.X.; d) a actividade da amostra é normalizada para  $\delta^{13}\text{C} = -25\%$  e o ano de 1950 d.C. é o ano zero de referência. Assim, as datas convencionais de radiocarbono são expressas em anos BP (*Before Present*), onde o presente é definido como sendo o ano de 1950 d.C.

Além disso, as referidas datas são publicadas pelos laboratórios de radiocarbono juntamente com os respectivos desvios-padrões, os quais quantificam o seu grau de incerteza. Na verdade, o decaimento radioactivo é de natureza aleatória e, portanto, a incerteza ou erro dos resultados obtidos nas medições terá de ser estimado por meio de métodos estatísticos. Então, o desvio-padrão, ou parâmetro-sigma ( $\sigma$ ), significa que há uma probabilidade de 68,3% de o verdadeiro valor da data convencional de radiocarbono estar dentro do intervalo  $\pm 1\sigma$  do resultado experimental, de 95,4% dentro do intervalo  $\pm 2\sigma$  e 99,7% no intervalo  $\pm 3\sigma$ . Deve notar-se que a incerteza que acompanha cada data convencional de radiocarbono, a qual vem expressa pelo desvio-padrão, não é rigorosamente «simétrica» em virtude da lei do declínio radioactivo ser uma lei exponencial. Contudo, a «assimetria» só se torna verdadeiramente significativa no caso de datas de materiais muito antigos em que o termo  $+\sigma$  é apreciaavelmente maior do que o termo  $-\sigma$ .

Do que se disse atrás está implícito que o desvio-padrão quantifica os erros aleatórios cometidos experimentalmente. No entanto, o laboratório poderá cometer também erros sistemáticos quando efectua as medições e o desvio-padrão deverá, de igual modo, quantificar esses erros. A maneira mais expedita de quantificar os erros sistemáticos é proceder a calibrações interlaboratoriais. Em exercícios deste tipo, várias amostras de diversos materiais, previamente homogeneizadas, são distribuídas por vários laboratórios para datação. A análise dos resultados permite quantificar os erros sistemáticos cometidos a partir, por exemplo, do cálculo de um parâmetro denominado factor multiplicativo do erro ( $\theta$ ), o qual, como o nome indica, deverá multiplicar o desvio-padrão. A última intercalibração labo-



Das perspectivas do Laboratório de Radiocarbono do Departamento de Química do LNETI.

ratorial levada a cabo, a mais completa até hoje realizada (participaram 69 laboratórios), foi da responsabilidade da Agência Internacional de Energia Atómica e efectuou-se em 1989-1990. No Quadro II apresentam-se os valores obtidos pelo Laboratório de Radiocarbono do Departamento de Química do ICEN (LNETI).

Quadro II  
Resultados obtidos pelo LNETI na intercalibração laboratorial efectuada pela AIEA

Amostra	Tipo	Valores médios ponderados			
		(Consensus values)		Valores obtidos no LNETI	
		PMC (%)*	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	pMC (%)*	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$
C-1	Mármore Carrara	0,00±0,02	2,42±0,33	0,45±0,28	1,80±0,05
C-2	Travertino	41,14±0,03	-8,25±0,31	41,38±0,4	-8,43±0,05
C-3	Celulose	129,41±0,06	-24,91±0,49	128,46±0,86	-25**
C-4	Madeira	0,20-0,44	-23,96±0,62	0,49±0,15	-24,00±0,05
C-5	Madeira	23,05±0,02	-25,49±0,72	22,81±0,22	-25,80±0,05

\* Percentagem de carbono moderno

\*\* Valor estimado

Perante estes resultados que, note-se, estão todos dentro do intervalo  $\pm 2\sigma$  do *consensus value*,  $\theta$  toma um valor menor do que 1, o que permite afirmar que o desvio-padrão associado às datas obtidas pelo laboratório do LNETI (e que quantifica apenas os erros aleatórios cometidos experimentalmente), traduz correctamente a incerteza dos resultados.

### A calibração das datas convencionais de radiocarbono

Como já se referiu, as datas convencionais de radiocarbono são determinadas admitindo que o primeiro postulado de Libby é válido. No entanto, cedo se verificou que o teor em radiocarbono na atmosfera não se tem mantido constante ao longo do tempo. O radiocarbono forma-se como resultado da interacção da radiação cósmica com as partículas das altas camadas da atmosfera e, como se sabe, a radiação cósmica é de natureza electromagnética. A quantidade de radiação cósmica que atinge a Terra depende da intensidade do campo geomagnético terrestre e, de há muito, é conhecido que a sua intensidade tem variado ao longo do tempo. Logicamente terá, então, havido variabilidade na quantidade de radiação cósmica que interactua com as altas camadas da atmosfera e, por conseguinte, a taxa de produção de radiocarbono não será uma constante. Na verdade, a variabilidade da intensidade do campo geomagnético terrestre, conjugada com outros factores de ordem cósmica e também terrestre, está na base da não-validade do primeiro postulado de Libby. Daí que um ano de radiocarbono não corresponda a um ano de calendário solar. Por consequência, as datas convencionais de radiocarbono têm de ser convertidas em datas de calendário, através do uso de uma curva de calibração. É por esta razão que se continua a utilizar o período de Libby (5 568 anos) e não o correcto, pois a utilização deste último não conduziria a idades reais e apenas daria azo, porventura, a grandes confusões.

Várias curvas de calibração têm sido publicadas desde meados dos anos 60. Todas elas se baseiam na datação pelo radiocarbono de anéis de árvores previamente datados pela dendrocronologia. Na 12.<sup>a</sup> Conferência Internacional sobre o Radiocarbono realizada em 1985 em Trondheim, Noruega, foram apresentadas curvas de alta precisão. Entre elas destacam-se as curvas de STUIVER e PEARSON e as de PEARSON e STUIVER, as

quais cobrem, respectivamente, os intervalos de tempo 1950 d.C. – 500 a.C. e 500 a.C. – 2500 a.C. e constituem, conjuntamente e pela primeira vez, uma curva de calibração universalmente aceite. Esta aceitabilidade universal resulta do facto de ter sido possível replicar os resultados das determinações que estão na base da sua construção de um modo consistente ao longo de todo o intervalo de tempo, por via de determinações independentes realizadas nos laboratórios de radiocarbono de Belfast e de Seattle, a partir de amostras de madeira da mesma idade, mas de origens geográficas diferentes. O laboratório de Belfast utilizou a técnica da cintilação líquida no processo de datação e as determinações foram feitas a partir de blocos de 20 anéis de madeira de carvalhos da Irlanda, na sua maioria, da Escócia e do Norte de Inglaterra. O laboratório de Seattle utilizou contadores proporcionais de gás ( $\text{CO}_2$ ) e séries de 10 anéis de madeira de abeto do Noroeste dos EUA, de sequóia da Califórnia e de carvalhos da zona do Danúbio (Sul da Alemanha). Duplicados de amostras de madeira datados nos dois laboratórios demonstram que as diferenças sistemáticas entre eles são muito pequenas ( $2,4 \pm 2,3$  anos para  $n = 87$ ) e que as diferenças nas datas de radiocarbono obtidas a partir de amostras de madeira da mesma idade provenientes da Irlanda, do Sul da Alemanha e do Noroeste dos Estados Unidos são da mesma ordem de grandeza das anteriores ( $4,2 \pm 2,4$  anos para  $n = 106$ ). Deste modo, embora a curva fosse construída a partir da datação de amostras de madeira de diferentes árvores que cresceram em diferentes altitudes em diversas regiões, idênticos resultados teriam sido obtidos se todas as medições tivessem sido feitas (se isso fosse possível) a partir da madeira de uma única árvore de uma única localidade. Assim, a recomendação da 12.<sup>a</sup> Conferência Internacional sobre o Radiocarbono para que esta curva fosse aceite universalmente foi feita sobre bases sólidas, consistentes e não susceptíveis de controvérsia.

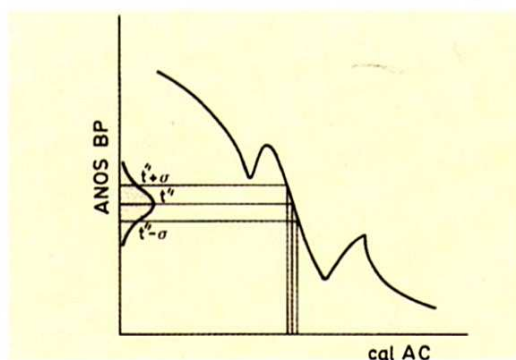
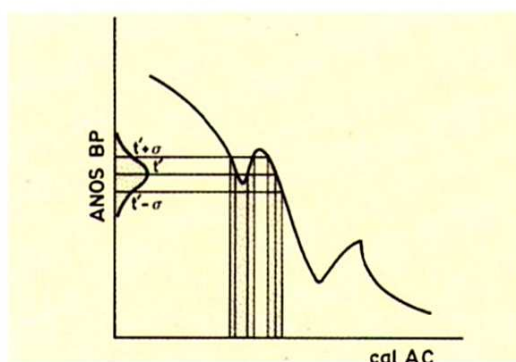
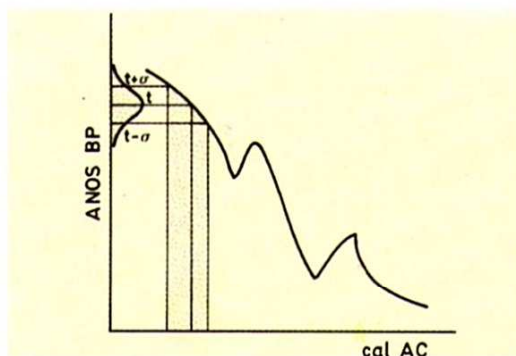
Uma característica das curvas de calibração é o seu carácter ondulatório. Daí pode resultar que, em determinados troços da curva, quando a verdadeira idade aumenta, a idade de radiocarbono não aumente necessariamente. Na verdade, quando a distribuição normal ou Gaussiana de um resultado de radiocarbono com o seu erro associado é transformada pela aplicação da curva de calibração numa distribuição de datas de calendário, essa distribuição já não é Gaussiana nem matematicamente definível e a sua forma dependerá do troço de curva utilizado. Por isso, as datas calibradas já não consistem num valor médio com um determinado desvio-padrão, mas sim num intervalo ou numa série de intervalos, onde se podem individualizar as intercepções com a curva de calibração. Nas figuras da página 146 mostram-se, esquematicamente, três exemplos de conversão de datas convencionais de radiocarbono em datas de calendário. Note-se que as datas calibradas apresentadas ou calculadas deste modo não têm em conta que as datas convencionais consistem numa distribuição Gaussiana, isto é, não contêm qualquer informação acerca do valor da probabilidade associada aos vários sub-intervalos que poderemos considerar no intervalo ou intervalos de datas de calendário obtidos ao converter uma data convencional. Vários métodos de determinação dessas probabilidades foram propostos na 13.<sup>a</sup> Conferência Internacional de Radiocarbono em Dubrovnik, Jugoslávia, mas nenhum deles obteve ainda um consenso generalizado.

As várias curvas de calibração apresentadas em Trondheim, bem como vários métodos de cálculo da probabilidade associada aos sub-intervalos obtidos ao calibrar datas convencionais de radiocarbono, encontram-se computadorizados (podem obter-se em disquetes), o que permite, de um modo rápido e expedito, a calibração de uma data ou de séries de datas e, depois de calibradas, a sua comparação ou combinação.



*Uma das salas do Departamento de Química do LNETI.*





## O efeito de reservatório oceânico

Ao tecerem-se algumas considerações sobre a base do método de datação pelo radiocarbono foi referido que é necessário conhecer o teor inicial em radiocarbono das amostras e que esse teor é representado por 95% da actividade do ácido oxálico N.B.S. Isto é válido para os organismos terrestres que estão em equilíbrio com a atmosfera. Para os aquáticos, já essa validade é questionável, na medida em que esses organismos retiram o carbono, que entra na sua constituição, de um meio cujo teor em radiocarbono difere do da atmosfera.

Não se irá aqui referir o que acontece com os vários tipos de meios aquáticos, mas sim e apenas com o reservatório oceânico, uma vez que a fiabilidade das datas obtidas a partir de amostras da biosfera marinha, mais especificamente das conchas marinhas, é potencialmente importante, não só para o estabelecimento da cronologia de contextos arqueológicos, mas também para o estudo da evolução da linha de costa e reconstrução do ambiente costeiro.

O carbonato, de que as conchas são essencialmente constituídas, formou-se a partir dos carbonatos dissolvidos na água do mar, a qual é deficiente em radiocarbono comparada com a atmosfera. As trocas de carbono entre os diferentes reservatórios geoquímicos, as diversas circulações oceânicas e o decaimento radioactivo do  $^{14}\text{C}$  constituem as razões pelas quais existe um menor teor em  $^{14}\text{C}$  no oceano em comparação com a atmosfera. Além disso, pelas mesmas razões e ao contrário do que acontece com a atmosfera, existe variabilidade desse teor entre as diversas massas oceânicas. Estes factos originam o chamado efeito de reservatório oceânico, isto é, devido a essa deficiência em radiocarbono do meio marinho, qualquer organismo que se forme nesse meio terá uma idade aparente (*Iap*) da ordem de algumas centenas de anos, a qual variará de região para região do oceano.

Na costa ocidental da Península Ibérica, bem como em orlas costeiras de algumas outras regiões, ocorre um fenómeno sazonal, o *upwelling* costeiro, definido como o transporte vertical de águas profundas para a superfície do oceano por processos diferentes da turbulência ou da difusão. Essas águas profundas são mais deficientes em radiocarbono do que as águas superficiais e, por isso, o efeito de reservatório oceânico é mais acentuado nas regiões onde o fenómeno de *upwelling* se verifica.

Um estudo conduzido no Departamento de Química do ICEN (LNETI) permitiu determinar o valor de *Iap* para as costas ocidental e sul portuguesas e estudar a sua eventual variabilidade ao longo do Holocénico. Os valores médios actuais de *Iap*, obtidos para a costa ocidental  $- 700 \pm 35$  anos - e para a costa sul  $- 660 \pm 35$  anos -, são estatisticamente indiferenciáveis e indicativos de um *upwelling* muito intenso, o que está de acordo com outros indicadores deste fenómeno. Por outro lado, é possível concluir que entre cerca de 1300 BP e 1100 BP o *upwelling* na região em estudo terá sofrido um aumento drástico da sua intensidade, uma vez que anteriormente a 1300 BI, *Iap* toma o valor médio de  $360 \pm 35$  anos.

A realização deste estudo tornou, assim, possível a utilização de conchas marinhas, provenientes da orla costeira de Portugal Continental, como material fiável na obtenção de datas convencionais de radiocarbono. Como é evidente, estas datas deverão ser corrigidas para o efeito de reservatório oceânico subtraindo-lhes, conforme o caso aplicável, o valor de *Iap* determinado. Uma vez corrigidas, poderão ser comparadas com as datas obtidas com materiais originados na biosfera terrestre e calibradas fazendo uso das curvas de calibração atrás referidas.

## Algumas recomendações finais

As várias Conferências Internacionais sobre o Radiocarbono têm aprovado algumas normas, quer para os laboratórios, quer para os «utilizadores» das datas de radiocarbono. Algumas delas foram referidas ao longo deste texto.

No tocante à publicação pelos investigadores, nomeadamente pelos arqueólogos, das datas de radiocarbono, algumas regras recomendadas não têm sido, por vezes, seguidas, o que tem originado deficiências na divulgação e interpretação das datas.

Assim, quando se publica uma data convencional de radiocarbono, ela deverá ser sempre referenciada pelo número de laboratório e expressa em anos BP. O subtrair-se 1950 ao valor da data convencional, o que é relativamente vulgar em publicações de Arqueologia, não tem, como se viu, qualquer significado. Se a data convencional foi obtida a partir de um material não proveniente da biosfera terrestre, deverá ser também corrigida para o efeito de reservatório, indicando-se o valor da correcção efectuada.

Quando se calibram datas convencionais de radiocarbono, deverá ser sempre indicada a curva de calibração utilizada e a notação será, conforme o caso, cal AC, cal DC ou, ainda, cal BP.

Os laboratórios de radiocarbono recomendam que estas normas sejam estritamente seguidas.

## Sugestões de leitura

AITCHISON, T.C.; LEESE, M.; MICHYZYNSKA, D.J.; MOOK, W.OG.; OTLET, R.L.; OTTAWAY, B.S.; PAZDUR, M.F.; PLICHT, J.; REIMER, P.J.; ROBINSON S.W.; SCOTT, E.M.; STUIVER, M.; WENINGER, B., 1989 – *A Comparison of Methods Used for the Calibration of Radiocarbon Dates*. «Radiocarbon», 31 (3), pp. 846-864.

AITKEN, M.J., 1990 – *Science-based Dating in Archaeology*, Logman Archaeology Series, London, 274 p.

BOWMAN, S., 1990 – *Radiocarbon Dating*. British Museum Publications, London, 64 p.

CABRAL, J.M.P., 1990 – «Química e Pré-história: datação pelo radiocarbono». In «*Química e Sociedade: a Presença da Química na Actividade Humana*» (A.R. DIAS e J.J.M. RAMOS eds.), Escolar Editora e Sociedade Portuguesa de Química, Lisboa, pp. OD89-144.

CABRAL, J.M.P., 1991 – «Arqueometria». *Colóquio/Ciências*, 7, pp. 58-78.

CABRAL, J.M.P.; SOARES, A.M.M., 1984 – «Datação pelo radiocarbono. II – Sobre a estimação do verdadeiro valor das datas convencionais de radiocarbono e a comparação de duas datas». *Arqueologia*, 10, pp. 89-99.

GILLESPIE, R., 1986 – *Radiocarbon User's Handbook*. Oxford University Committee for Archaeology, Oxford, 36 p.

ROZANSKI, K., 1991 – *Report. International Atomic Energy Agency Consultants' Group Meeting on C-14 Reference Materials for Radiocarbon Laboratories*. Vienna, 9 p. + 5 Anexos.

SCOTT, E.M.; AITCHISON, T.C.; BAXTER, M.S.; COOK, G.T.; HARKNESS, D.D., 1990 – *International Collaborative Study Report*, Glasgow, 175 p.

SOARES, A.A.M.M., 1989 – *O Efeito de Reservatório Oceânico nas Águas Costeiras de Portugal Continental*. ICEN-LNETI, 135 p.

SOARES, A.M.M., 1990 – *Datação pelo Radiocarbono: Principais Desenvolvimentos na Década de 80*. ICEN-LNETI, 40 p.

SOARES, A.M.M.; CABRAL, J.M.P., 1984 – *Datação pelo Radiocarbono. I – Algumas considerações sobre a questão da amostragem*. «Informação Arqueológica», 4, pp. 278-283.

STUIVER, M.; KRA, R. (Eds.), 1986 – «12th International Radiocarbon Conference. Calibration Issue». *Radiocarbon*, 28 (2B), pp. 805-1030.