GEOCRONOLOGIA DOS GRANITÓIDES PORTUGUESES — ALGUNS PROBLEMAS

M. Serrano Pinto (1)

RESUMO — São referidos diversos requisitos e pressupostos envolvidos na datação radiométrica, especialmente os relacionados com o método de Rb-Sr, apresentando-se no contexto de cada um deles algumas questões que têm a ver com as datações de granitóides portugueses.

ABSTRACT — *Geochronology of Portuguese granitoids — Some problems.* Several assumptions and requirements involved in radiometric dating (Rb-Sr method in particular) are discussed in relationship with the relatively abundant age data from Portuguese granitoids and related problems.

1. INTRODUÇÃO

1.1 São relativamente numerosos, em Portugal, os locais de colheita de espécimes de granitóides sobre os quais incidiu análise isotópica em rocha total ou minerais separados, especialmente biotites, para efeitos de datação radiométrica. O número desses locais foi estimado recentemente em não inferior a 250, mas, entretanto, mais datações já surgiram (M. PINTO 1983, no prelo b).

A distribuição desses locais de colheita é, porém, irregular, com zonas de forte concentração de dados, como é o caso das áreas de Castro Daire — S. Pedro do Sul — Sátão e de Trancoso, e outras em que tais dados são escassos.

Entre os vários métodos de datação predominam os de Rb-Sr e de K-Ar, tendo análises isotópicas vindo a ser feitas, vai para mais de 20 anos, em diversos laboratórios, nomeadamente de França, Holanda, Portugal e Inglaterra.

Como resultado global desse trabalho tem-se, hoje, um conhecimento firme das idades de muitos intrusivos graníticos, em especial dos hercínicos.

Para além disso, os dados isotópicos têm dado achega importante à discussão quer da

gênese dos granitóides, quer de outros aspectos da história do segmento da crosta que corresponde a Portugal, nomeadamente estruturais, tectónicos, estratigráficos, metamórficos e de mineralização.

Crê-se que os dados geocronológicos relativos a rochas portuguesas se hão-de multiplicar, com as vantagens que daí advirão em termos de um melhor conhecimento da geologia do país.

1.2 No presente trabalho tecem-se alguns comentários acerca de diversos problemas metodológicos relacionados com a obtenção e uso desses dados isotópicos, em especial os relativos ao método de Rb-Sr.

Na verdade, a aplicação de qualquer método radiométrico, quer seja na fase de colheita de dados, quer na interpretação destes, implica o conhecimento dos seus fundamentos, a aceitação de certos pressupostos e a satisfação de certos requisitos. Sendo certo que se podem levantar, relativamente a estes dois últimos aspectos, alguns problemas cuja análise poderá interessar às pessoas menos experientes nestas questões — nomeadamente os alunos dos cursos de Geologia e Engenharia Geológica — o presente trabalho

(1) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3800 Aveiro

tem em vista, exactamente, fazer uma abordagem a essa análise.

2. OS PROBLEMAS

2.1 Há um número bastante elevado de determinações geocronológicas pelo método de Rb-Sr em rocha total e em minerais (especialmente biotites) de Portugal *in* MENDES 1967/1968, no anexo III desta obra. Tais resultados e sua interpretação têm sido objecto de críticas (TEIXEIRA 1976, SOUSA 1978, ABRANCHES *et al.* 1979), incidindo um dos pontos de crítica na utilização, por parte daquele autor, de um valor da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ igual a 0,7120 para muitas das determinações.

É, na verdade, necessário considerar tais resultados mais como índices gerais da idade das rochas e minerais, do que como idades reais de umas e outras e, assim, usar de um certo cuidado na sua utilização.

Será, porém, de interesse considerar os valores ali listados que apontam para «idades caledónicas» como indicadores de que as rochas graníticas a que eles se referem são, muito provavelmente, caledónicas, uma vez que determinações radiométricas mais recentes sobre tais formações têm confirmado a sua idade caledónica. São esses os casos dos granitóides de Mação — Penhascoso (ABRANCHES & CANILHO 1981/1982) e de Figueiró dos Vinhos (PEREIRA & MÁCEDO 1983, 1984), entre outros.

Por outro lado, na obra em consideração há «isócronas» de minerais separados de granitóides colhidos em vários pontos do País, às quais correspondem «idades» que são comuns a vários granitóides portugueses de idades determinadas por outros autores. Assim, aos valores de 280 M.A., 290 M.A., 305 M.A., 329 M.A. de «isócronas» de minerais indicadas *in* MENDES (1967/1968) correspondem grupos de idade de 280 ± 5 M.A., 290 ± 5 M.A., 305 ± 5 M.A. e 332 ± 5 M.A., ou semelhantes, indicados *in* M. PINTO (no prelo b) e PRIEM & TEX (1984).

Por tudo isto, os dados geocronológicos na obra em causa devem merecer cuidadosa consideração individual, pois eles podem fornecer indicações valiosas sobre a idade das formações a que individualmente se referem, tendo, obviamente, quer ser julgados à luz da informação geológica disponível.

2.2 Existe um conjunto de problemas que está relacionado com a utilização de valores não normalizados das constantes de decaimento dos isótopos radioactivos.

Efectivamente, nos cálculos que têm conduzido, ao longo dos anos, à obtenção de valores geocronológicos de rochas e minerais de Portugal

pelos métodos de Rb-Sr e K-Ar, não têm sido utilizados, sempre, os mesmos valores daqueles constantes. Assim, por exemplo, há resultados geocronológicos que foram obtidos através da utilização de três valores distintos de λ ^{87}Rb , a saber: $1,47 \times 10^{-11}/\text{ano}$ (veja-se MENDES 1967/1968, por exemplo), $1,39 \times 10^{-11}/\text{ano}$ (veja-se PRIEM *et al.* 1970) e, mais recentemente, $1,42 \times 10^{-11}/\text{ano}$ (veja-se M. PINTO 1983).

É evidente que daí podem surgir problemas, nomeadamente no caso de se fazerem comparações de resultados obtidos com diferentes valores das constantes, ou no de se pretender referir uma determinada idade de rocha ou mineral a uma escala geocronológica que foi construída a partir de determinações feitas com outros valores das constantes de decaimento.

Recalcular valores geocronológicos obtidos pelo método do Rb-Sr é operação rápida. Uma vez que há, actualmente, tendência generalizada para usar $1,42 \times 10^{-11}/\text{ano}$ como valor da constante de decaimento do ^{87}Rb (STEIGER & JÄGER 1977), a normalização fez-se multiplicando por 0,979 os valores geocronológicos que anteriormente tenham sido obtidos com λ $^{87}\text{Rb} = 1,39 \times 10^{-11}/\text{ano}$, e por 1,035 daqueles que tenham sido obtidos com λ $^{87}\text{Rb} = 1,47 \times 10^{-11}/\text{ano}$.

Assim, por exemplo, as idades 280 ± 11 (2 σ) M.A. e 298 ± 10 (2 σ) M.A. dos Younger Hercynian granites de Portugal (PRIEM *et al.* 1970) são recalculados em 290 ± 11 M.A., 308 ± 10 M.A., respectivamente, mantendo-se os intervalos 2 σ de idade originais.

Já não é com tanta rapidez que se recalcula qualquer valor obtido pelo método de K-Ar de modo a referi-lo às novas constantes, pelo que são de extrema utilidade as tabelas do tipo apresentado *in* HARLAND *et al.* (1982) para esse efeito.

Um outro tipo de problema surge quando em qualquer referência bibliográfica não é dado o valor da constante ou constantes utilizadas na determinação de valores geocronológicos (e.g. ALBUQUERQUE 1971). Se se pretende recalcular estes últimos, deverá tentar-se obter do autor, ou do laboratório onde a determinação foi feita, uma indicação adequada. Uma alternativa menos válida é pressupor que a determinação foi levada a efeito com a (s) constante (s) em uso na época.

Dois pressupostos em datações radiométricas são o de que as constantes de decaimento radioactivo não variaram ao longo da história da Terra e o de que as proporções relativas dos isótopos estáveis dos elementos também não sofreram mudança ao longo dessa história.

2.3 Nas determinações radiométricas por Rb-Sr, a obtenção de uma isócrona de rocha total requer que certos pressupostos sejam aceites e certas exigências sejam satisfeitas.

Entre estes acha-se o da formação praticamente instantânea (em termos de tempo geológico, entenda-se) do corpo ou corpos de rocha granitóide que constitui, ou constituem, a unidade a datar. Dito de outra maneira, a cristalização dos minerais da rocha que forma a unidade deve realizar-se num intervalo de tempo curto, comparado com a idade da rocha.

Torna-se, deste modo, necessário que o trabalho de geocronologia seja precedido ou acompanhado de trabalho de cartografia geológica de boa qualidade, de modo a ficar definida com rigor a unidade a datar. Em especial, no caso de uma unidade ser composta por vários corpos fisicamente separados, só a cartografia geológica garantirá que todos eles, efectivamente, a ela pertencem.

O caso dos maciços complexos, isto é, formado por corpos gregários de litologia diferente, também põe problemas que se relacionam, de certo modo, com a questão no apreço, pois há uma certa tendência para generalizar a todos os corpos de um maciço a idade que possa ter sido determinada para um deles. Ora, a experiência mostra que a rocha que forma cada um dos corpos pode ter uma idade própria e diferente das dos outros. Assim, por exemplo, no maciço de Castro Daire encontram-se, idades que vão desde os 322 M.A. aos 280 M.A., cada uma correspondendo a um ou dois corpos (M. PINTO 1983) e o maciço de Nisa é composto por várias unidades (RIBEIRO *et al.* 1965, FERNANDES *et al.* 1973, PENHA & ARRIBAS 1974) a cada uma das quais parece corresponder uma idade (M. PINTO 1985 a).

Deste modo, a amostragem para o trabalho geocronológico não deve incidir, à partida, sobre corpos rochosos que se sabe serem diferentes. A estes respeito, citem-se as restrições que BARR & AREIAS (1980) põem aos resultados que obtiveram sobre amostras de diversos maciços graníticos do Minho, exactamente porque, não obstante os respectivos dados isotópicos de Rb-Sr terem definido uma isócrona de rocha total, eles apresentam diferenças petrográficas e estruturais.

É claro que granitóides de tipos diferentes poderão incluir-se numa mesma isócrona (PRIEM *et al.* 1970), mas, para além da possibilidade de os dados isotópicos que a definem poderem ser objecto de outra interpretação que não conduza, necessariamente, à ideia, de sincronismo da formação dos mesmos, é preciso que os dados de campo não contradigam essa ideia.

Esta questão terá especial relevância no caso,

por exemplo, de se pretender datar os elementos granitóides que formam os conglomerados do Carbónico, e outros, que ocorrem em vários pontos do país (TEIXEIRA 1976, SCHERMERHORN 1956).

Deve ter-se em conta, ainda, a possibilidade de o método ou técnica de datação em uso não ter capacidade de resolução suficiente para distinguir idades que sejam próximas umas das outras. Considere-se, por exemplo, o caso das idades dos granitos de Canado e Frágoas, na área de Castro Daire, datados, respectivamente, de 324 ± 11 (2σ) M.A. e $320 \pm (2\delta)$ M.A. (M. PINTO 1983). Dada a magnitude dos intervalos 2σ , não é possível distinguir em absoluto as duas idades, muito embora elas sugiram que o granito de Frágoas seja mais moderno que o de Canado, o que, efectivamente, acontece, de acordo com os dados de campo (SCHERMERHORN 1956). Ora, é possível obter resultados de Rb-Sr em que a magnitude daqueles intervalos é bastante mais pequena, chegando a ser de 2 M.A. (veja-se, por exemplo, as datações de granitóides da área de Vila Real in PRIEM & TEX 1984, PRIEM *et al.* 1984), o que permite a possibilidade de redução daquele intervalo, com as vantagens daí decorrentes de esclarecimento de idades relativas de unidades para as quais não se dispõe de dados de campo que as permitam determinar.

A questão da formação praticamente instantânea de um corpo rochoso vista em relação com a sua datação terá, no caso do maciço de Arouca, um caso curiosíssimo que permanece um problema (M. PINTO 1985b).

Os dados isotópicos de 15 amostras de rocha total e de minerais separados de 3 delas definem duas isócronas, uma de 305 ± 8 M.A., correspondente a um grupo de 4 amostras, e outra de 313 ± 8 M.A., correspondente a um outro grupo, de 6 amostras. Há, ainda, uma indicação de que três das restantes amostras apresentam alguma colinearidade, a sugerir uma idade ainda mais elevada do que a das isócronas. Existindo, por outro lado, indicações de que a razão inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ é muito semelhante para todas as amostras, parece haver, no maciço, segmentos deste que apresentam idades diferenciadas, a sugerir uma zonalidade geocronológica. Se esta existe, ela não corresponde a qualquer zonalidade litológica ou estrutural, pois o maciço é isotrópico, de composição monótona (PEREIRA *et al.* 1980).

2.4 Há, no caso do método de Rb-Sr, requisitos de vária natureza que devem ser satisfeitos para que se possa obter uma isócrona cujos parâmetros t (idade) e r_i (razão inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$) não apresentem intervalos 2σ tão alargados que de pouco ou nada sirvam.

A magnitude desses intervalos é obtida através de tratamento estatístico de regressão que tem como finalidade obter a recta que melhor se ajuste a um conjunto de pontos (amostras) definidos por coordenadas (razões isotópicas) cuja determinação está sujeita a erros experimentais. Tal magnitude depende, entre outros factores, do número de amostras analisadas, do afastamento relativo dos pontos que lhes correspondem no diagrama $87\text{Sr}/86\text{Sr} - 87\text{Rb}/86\text{Sr}$, do grau de colinearidade desses pontos em relação com a reprodutibilidade dos métodos analíticos utilizados, e da dimensão da menor das abcissas.

Porque há vários tratamentos possíveis (veja-se SNELLING 1976 para revisão e crítica e, ainda, MCSAVANEY 1977) há toda a conveniência que, em trabalhos de geocronologia, seja dada a informação necessária e suficiente que permita o esclarecimento do leitor nesses aspectos, bem como noutros julgados relevantes relacionados com as condições experimentais de obtenção dos dados.

Ainda em relação à magnitude dos intervalos 2σ dos parâmetros t e r_i de isócronas, considerem-se os seguintes casos (M. PINTO 1983, 1985b): a) 17 amostras de rocha total do granito de Castro Daire definem uma isócrona de 303 ± 12 M.A. e $r_i = 0.7078 \pm 0.0011$. A inclusão dos dados isotópicos relativos a uma biotite separada de uma das amostras reduz drasticamente ambos os intervalos: 305 ± 6 M.A. e 0.7077 ± 0.0005 ; b) 8 amostras de rocha total do granito de Regoufe definem uma isócrona de 280 ± 9 M.A. com $r_i = 0.7222 \pm 0.0080$; a inclusão de dados de uma nona amostra de rocha total reduz só muito ligeiramente aqueles intervalos: 280 ± 8 M.A. e $r_i = 0.7222 \pm 0.0075$.

A inclusão de dados relativos a minerais separados na construção de uma isócrona «rocha total + mineral», para efeitos de «melhoria» dos parâmetros em causa, é aceitável desde que os dados geológicos disponíveis assegurem, com razoável grau de certeza, que os minerais são minerais primários que não foram alterados na sua composição isotópica após a sua cristalização.

Em alternativa, e para o caso de séries de rochas cogenéticas de formação não muito diferenciada no tempo, poderá tentar-se combinar numa mesma isócrona os dados referentes a uma dada formação e os referentes a uma outra que àquela esteja ligada por diferenciação magmática. Relativamente aos granitóides de Portugal, refere-se que esta abordagem não tem sido utilizada, pois, em geral, conseguem-se boas isócronas sem ser necessário recorrer a ela, para além das dificuldades que se encontram na verificação do co-magmatismo de duas formações. Por outro

lado, citam-se os resultados obtidos por PRIEM *et al.* (1984) para o granito a sul de Vila Real e para o filão de Contães como merecedores de análise sob aquele ângulo.

Quanto ao caso b), uma nova amostragem poderá, eventualmente, permitir a redução do intervalo 2σ referente a r_i . Na verdade, teria que se procurar amostras de razões $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ mais baixas que as encontradas, pois a menor para as 9 amostras de granito de Regoufe é de cerca de 47, elevadíssima, portanto.

- 2.5 Nunca será demais salientar que o trabalho de geocronologia sobre uma determinada unidade deve ser sempre precedido, ou acompanhado, de trabalho geológico. Efectivamente, para além de ser através deste que é definida a unidade, é ainda através dele que esta fica a ser conhecida em aspectos que interessam à interpretação dos dados isotópicos.

Considere-se, o caso descrito in PRIEM *et al.* (1978). Ele não diz respeito a granitóides, mas, como não se conhece em Portugal nenhum que lhe seja semelhante e que a granitóides se refira, é aqui considerado como exemplo da importância que a informação geológica tem nos aspectos interpretativos dos dados isotópicos, de Rb-Sr no caso vertente. Transcreve-se do sumário do referido trabalho: «... Ten whole-rock samples from the Megacryst Tuff Formation (área de Aljustrel) yield a Rb-Sr isochron of 315 ± 7 Ma with initial $87\text{Sr}/86\text{Sr} = 0.7135 \pm 0.0007$ ($\lambda 87\text{Rb} = 1.39 \cdot 10^{-11}$, a^{-1} ; errors at 95% confidence level). The isotopic age is too young with respect to the biostratigraphic age (estimated at around 350 Ma), so it must reflect a time of Sr isotopic homogenization through a sequence of volcanic tuffs. This resetting of the whole-rock Rb-Sr isochron took place under conditions of metamorphism as low as the low-greenschist facies...».

Usando terminologia apropriada, aquela isócrona é uma isócrona aparente ou errónea, por motivos óbvios. Efectivamente, ela não traduz a verdadeira idade da formação, a qual é estimada em mais antiga.

Não se conhecendo, repete-se, caso semelhante para os granitóides de Portugal — nos quais, à semelhança de outras rochas plutónicas, o sistema Rb-Sr em rocha total parece relativamente mais resistente aos efeitos de metamorfismo (PRIEM *et al.* 1978) — são, porém, conhecidos muitos casos em que aquele sistema, bem como o sistema K-Ar, de minerais separados de granitóides foram perturbados por aquecimento causado por intrusões graníticas mais modernas, fornecendo esses minerais (micas, na sua maior parte) idades mais modernas que as das rochas donde provieram. Numerosas datações de mine-

rais, em Portugal, deverão ser vistas nesta perspectiva (PRIEM *et al.* 1970, M. PINTO no prelo b).

Conhecem-se, também, granitóides portugueses em que o sistema Rb-Sr resistiu aos efeitos do metamorfismo regional hercínico e a esforços cisalhantes intra-hercínicos e posteriores, fornecendo isócronas de idade anterior. É esse o caso do granito-gnaiss de Oliveira de Azeméis, com isócrona de 379 ± 12 M.A., que ocorre na zona de cisalhamento Porto — Tomar (M. PINTO no prelo a).

Digno de menção é, ainda, o do quartzodiorito gnáissico de Folhense (Sever do Vouga), a ocorrer numa zona de migmatização e onde são visíveis outros efeitos de metamorfismo e de deformação, mas fornecendo uma isócrona de 512 ± 19 M.A. (M. PINTO 1980/1981).

Na área de Pinhel, o ortognaiss de Pala, que ocorre na zona de cisalhamento Penalva do Castelo — Marofa — Jusbado, fornece uma isócrona Rb-Sr de 372 ± 19 M.A., enquanto que os dados isotópicos de micas dele separados fornecem uma «isócrona» de 344 ± 2 M.A. no diagrama $40\text{Ar}/36\text{Ar}$ - $40\text{K}/36\text{Ar}$ (MACEDO & FERREIRA 1981, MACEDO *et al.* 1983).

O estudo dos efeitos de cisalhamento no sistema isotópico Rb-Sr de granitóides portugueses é de interesse, dada a ocorrência de diversas zonas desse tipo a afectar essas rochas. Que há mudanças químicas que têm a ver com a mobilidade do Sr e, possivelmente, do Rb desde a rocha não deformada à cisalhada, prova-o o trabalho de APARÍCIO & BELLIDO (1978) sobre granitóide hercínico do Sistema Central Espanhol. A hipótese de uma acção conjunta mecânica e química para explicar a milonitização por cisalhamento do granito de Sátão também é aceite por A. PINTO (1982).

Há, portanto, processos geológicos actuantes sobre rochas preexistentes capazes de perturbar os sistemas isotópicos quer ao nível da rocha total, quer ao nível dos minerais, de tal modo que as amostras colhidas se comportam como sistemas abertos em relação à migração de isótopos. Assim, o processo de decaimento radioactivo deixa de ser o único envolvido na mudança de proporções relativas dos isótopos pai e filho in situ. Mas refere-se, de novo, que pode haver uma abertura isocrónica dos sistemas com homogeneização isotópica, como no caso das rochas da zona de Aljustrel.

Além do metamorfismo e da deformação por cisalhamento, outras causas há para a abertura dos sistemas isotópicos em minerais e rocha total. Entre elas encontra-se a meteorização química, pelo que uma outra exigência, de natureza muito prática, de aplicação dos métodos radio-

métricos é a colheita de amostras frescas que, por vezes, é extremamente difícil de ser levada a cabo.

Uma outra causa possível de abertura do sistema isotópico Rb-Sr é o metassomatismo, aí se incluindo o autometassomatismo, de que se conhecem numerosos casos em Portugal relacionados com granitóides (veja-se, por exemplo, SCHERMERHORN 1956, SLUIJK 1963, A. NEIVA 1974, J. NEIVA 1979, DERRÉ *et al.* 1982 e BUSSINK 1984?).

Na verdade, se o processo metassomático envolver a mobilização do Rb e Sr, podem ficar perturbadas, a diferentes escalas (mineral, conjunto de minerais, rocha total), as razões isotópicas anteriormente existentes.

Há determinações de idade por Rb-Sr em vários granitóides que foram sujeitos a metassomatismo. Assim, para o complexo granítico de Castro Daire, SCHERMERHORN (1956) refere-se ao metassomatismo do granito de Alva provocado pela instalação do granito porfiróide central (granito de Calde). A estes granitos correspondem, respectivamente, isócronas de 304 ± 7 M.A. e 282 ± 5 M.A.. Para o granito de Regoufe e para o granito da Panasqueira, ambos com efeitos matassomáticos bem visíveis (veja-se, por exemplo, SLUIJK 1963 e BUSSINK 1984?) obtiveram-se isócronas de rocha total 280 ± 8 M.A. e 289 ± 4 M.A., respectivamente (M. PINTO 1985b, PRIEM *et al.* 1984).

Estes exemplos parecem evidenciar que o sistema isotópico Rb-Sr em rocha total é resistente a alterações provocadas por tais processos post-magmáticos. Na verdade, é difícil conceber um modo de actuação tão uniforme do (s) agente (s) de metassomatismo ao longo da massa das intrusões que venha a provocar a abertura daquele sistema com homogeneização isotópica e consequente obtenção de isócrona. Por outro lado, também não se concebe que o granito de Calde, datado de 282 ± 5 M.A., provoque metassomatismo no granito de Alva e este forneça uma isócrona de idade anterior.

Seria de interesse fazer determinações pelo método do Rb-Sr em minerais separados dos granitos datados, numa tentativa de se saber se eles teriam sido perturbados pelo processo metassomático. Neste contexto, é curioso constatar que uma datação K-Ar sobre moscovite aponta para uma idade de 296 M.A. do granito greisenizado da Panasqueira (CLARK 1970), portanto não muito afastada do valor de isócrona Rb-Sr de rocha total.

Ainda uma outra causa possível de não obtenção de isócrona por aquele método com dados isotópicos referentes a uma unidade é a não constância da razão $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ inicial em toda a

unidade. Não é conhecido nenhum caso de granitóides portugueses que possa ser aqui incluído com segurança.

- 2.6. O conceito de errócrona é mais amplo do que o que foi indicado acima.

Se no diagrama $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ - $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ os pontos implantados não se dispõem em colinearidade perfeita, ou então dentro de uma faixa de tolerância definida basicamente pela reprodutibilidade analítica, no interior de qual ainda se admite colinearidade, então a recta de melhor ajuste é uma errócrona.

Há vários casos de obtenção de errócronas deste tipo (o mencionado em 2.5 poderá ser designado «isócrona aparente») para granitóides de Portugal.

A partir do momento em que o geocronologista identifica uma errócrona, cabe-lhe decidir o que fazer com os dados isotópicos. Uma das opções é obter uma «isócrona de referência» (PRIEM *et al.* 1970). Outra é aumentar o intervalo 2σ (erro) do coeficiente angular, m , da errócrona — o qual, como se sabe, se liga a t pela fórmula $t = 1/\lambda \ln(1+m)$ — bem como o da razão r_1 , de modo a aceitar uma dispersão de pontos maior do que a permitida pela reprodutibilidade analítica (ABRANCHES & CANILHO 1981/1982). Outra opção é constatar a obtenção da errócrona e parar aí.

De notar que o geocronologista pode desprezar um ou outro ponto do diagrama, o qual seja a causa de não obtenção de isócrona e cuja implantação «anormal» se constate não resultar de erros analíticos ou de tratamento destes.

- 2.7. Uma última questão: o da concordância ou discordância de resultados de diferentes datações de uma mesma unidade.

Dos poucos casos que se conhecem e que dizem respeito aos granitóides portugueses, pode concluir-se que há casos de concordância e casos de discrepância.

Assim, quanto a exemplos, e para além do mencionado (Panasqueira), conhece-se o de uma biotite do granito de Calde, datada de 292 M.A. *in* MENDES (1967/1967), e aí incluída na «isócrona» de minerais de 290 M.A., a qual apresenta dados isotópicos que permitem a sua inclusão na isócrona de rocha total de 282 ± 5 M.A. obtida para aquele granito (M. PINTO 1983).

(Esta datação de biotite (MENDES 1961) serviu o estabelecimento da escala de tempos geológicos do Carbónico de FRANCIS & WOODLAND (1964), revista por LAMBERT (1971), uma vez que o granito de Calde é intrusivo em formações do Estefaniano. Também intrusivos nestas formações, ainda na área de Castro Daire — Sátão, são o granito de Cota, a que é atribuída uma idade semelhante à do de

Calde (283 ± 6 M.A., K-Ar) *in* A. PINTO (1983), o granito das Fontainhas e o que fica para leste deste (veja-se SCHERMERHORN 1956), cujas datações se revestem, por isso mesmo, de especial interesse).

A título de exemplo das dificuldades que se põem quando se fazem comparações de idades, cita-se o caso do granito de S. Pedro do Sul datado por MENDES (1967/1968) de 327 ± 11 M.A. (biotite não pertencente a qualquer «isócrona» de minerais desse autor), por BASHAM *et al.* (1980) de 321 ± 31 M.A. (uraninite) e, finalmente, por PRIEM *et al.* (1984) de 315 ± 3 (rocha total). É curioso verificar que a r_1 obtida para a isócrona de rocha total é de 0,711 e a tomada pelo Dr. Francisco Mendes foi de 0,712.

Ainda dentro dos casos de concordância, embora não relacionado com granitóides, cita-se o da confirmação que a idade de 482 ± 12 M.A. do ortognaisse alcalino de Alter Pedroso (PRIEM *et al.* 1970; rocha total, Rb-Sr) teve pelo método de U-Pb (LANCELOT & ALLEGRET 1982; zircão).

Este último caso permite admitir a possibilidade de se vir a obter concordância para aqueles granitóides ante-hercínicos, como os de Pedrógão Grande e Figueiró dos Vinhos, onde ela se não verifica, actualmente (ABRANCHES & CANILHO 1981/82; PEREIRA & MACEDO 1983, 1984).

CONCLUSÃO

A obtenção de isócronas reais e aparentes, e mesmo a de isócronas de referência, para unidades litológicas pode revelar-se de extrema importância na decifração da história geológica dessas unidades e das regiões onde ocorrem.

Para a obtenção de uma isócrona real de Rb-Sr concorrem a satisfação de vários requisitos e a aceitação de vários pressupostos que assim se podem resumir: a) A constante de desintegração do 87Rb deve ser conhecida com rigor, ou ter um valor internacionalmente aceite, e deve ter sido constante ao longo da história da Terra. b) As proporções relativas dos isótopos de Rb e Sr (estáveis) devem ter permanecido constantes ao longo da história geológica da unidade (e da Terra). c) A unidade litológica a datar deve ter-se formado de modo essencialmente instantâneo há t milhões de anos. d) As amostras de rocha colhidas na unidade devem ser frescas e representativas em termos de composição da rocha; devem ter, no seu conjunto, uma gama de razões Rb/Sr que assegure um afastamento relativo de pontos no diagrama $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ - $87\text{Rb}/86\text{Sr}$ adequado ao traçado da isócrona. e) A análise de Rb e Sr e/ou a análise isotópica destes elementos devem ser tão rigorosas e reprodutíveis quanto possível. f) O processo de desintegração radioactiva deve ter sido o único processo envolvido na mudança de proporções relativas dos isótopos pai e filho; isto é, todos

os minerais individuais das amostras devem ter permanecido sistemas fechados no que diz respeito à migração de Rb e Sr. g) A razão inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ deve ser constante ao longo da unidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANCHES, M. C. B. & CANILHO, M. H. (1981/82) — Determinações de idade pelo método do Rb - Sr de granitos portugueses — Mem. Acad. Ciênc. Lisboa, Cl. Ciências, 24: 17-31.
- ABRANCHES, M. C. B., CANILHO, M. H. & CANÊLHAS, M. G. S. (1979) — Idade absoluta pelo método do Rb - Sr dos granitos do Porto e de Portalegre (Nota preliminar) — Bol. Soc. Geol. Portugal, 21, 2/3: 239-248.
- ALBUQUERQUE, C. A. R. (1971) — Petrochemistry of a series of granitic rocks from Northern Portugal — Geol. Soci. Amer. Bull., 82, 11: 2783-2798.
- APARÍCIO, A. & BELLIDO, F. (1978) — Cambios texturales, mineralógicos y geoquímicos en rocas graníticas milonitizadas — Bol. Geol. Min., 89, 6: 607-612.
- BARR, S. M. & AREIAS, L. (1980) — Petrology and geochemistry of granitic intrusions in the Viana do Castelo area, Northern Portugal — Geol. Mijnb., 59, 3: 273-281.
- BASHAM, I. R., VAIRINHO, M. M. B. & BOWLES, J. F. W. (1982) — Uranium bearing accessory minerals in the São Pedro do Sul granite, Portugal - International Atomic Energy Agency. (TC-295/1: 279-298).
- BUSSINK, R. W. (1984?) — Geochemistry of the Panasqueira tungsten-tin deposit, Portugal — Geologica Ultraiectina, 33: 1-170.
- CLARK, A. H., (1970) — Potassium-argon age and regional relationships of the Panasqueira tungsten-tin mineralization-Comun. Serv. Geol. Portugal, 54: 243-261.
- DERRÉ, C., LÉCOLLE, M., NORONHA, F. & ROGER, G. (1982) — Minéralisations à Sn-W liées aux granitoïdes dans le Nord du Portugal: importance des processus magmatiques et métasomatiques hydrothermaux — Comun. Serv. Geol. Portugal, 68, 2: 191-212.
- FERNANDES, A. P., PERDIGÃO, J. C., CARVALHO, H. F. & PERES, A. M. (1973) — Carta geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 28D — Castelo de Vide — Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- FRANCIS, E. H. & WOODLAND, A. W. (1964) — The Carboniferous period. In «The Phanerozoic time-scale» — Geol. Soc. London, vol. 120S: 221-232.
- HARLAND, W. B., COX, A. V., LLEWELLYN, P. G., PICKTON, C. A. G., SMITH, A. G. & WALTERS, R. (1982) — A geologic time scale — Cambridge University Press, Cambridge.
- LAMBERT, R. J. (1971) — The pre-Pleistocene Phanerozoic time-scale, a review — In «The Phanerozoic time-scale, a supplement» — Geol. Soc. London, Special Publication, 5: 9-32.
- LANCELOT & ALLEGRET (1982) — Radiochronologie U/Pb de l'orthogneiss alcalin de Pedroso (Alto Alentejo, Portugal) et évolution anté-hercynienne de l'Europe occidentale — N. Jb. Miner. Mh, 9: 385-394.
- MACEDO, C. A. R. & FERREIRA, M. P. (1981) — O sinclinal paleozóico de Esposende (Porto) — Sequeros (Salamanca): o troço entre a Marofa e o Sátão (Portugal Central) — Cuad. Geolog. Iber. 7: 633-644.
- MACEDO, C. R., SOUSA, M. B. & PEREIRA, E. L. (1983) — Livro-guia das excursões a realizar em Portugal — VIII Reunião sobre a Geologia do Oeste Penins., Salamanca e Coimbra, vol. sumários. Univ. Coimbra.
- MCSAVANEY, M. J., (1977) — Fitting of isochrons for dating by the Rb-Sr method. In: «G. FAURE: Principles of isotope geology. Annexe» — John Wiley & Sons, New York.
- MENDES, F. (1961) — Determinação, pelo método do estrôncio, da idade absoluta de algumas rochas e minerais de Portugal continental e ultramarino — Garcia de Orta, 9, 4: 767-778.
- MENDES, F. (1967/1968) — Contribution à l'étude géochronologique, par la méthode au strontium, des formations cristallines du Portugal — Bol. Mus. Labor. Miner. Geol. Fac. Ciênc., Lisboa, 11, 1: 3-155.
- NEIVA, A. M. R. (1974) — Greisenization of a muscovite-biotite-albite-granite of Northern Portugal — Chem. Geol. 13: 295-308.
- NEIVA, J. M. COTELO (1979) — Alterações metassomáticas nas rochas encaixantes de jazigos minerais de diferenciação granítica — Mem. Not., 88: 45-59.
- PENHA, M. H. & ARRIBAS, A. (1974) — Datación geocronológica de algunos granitos uraníferos españoles — Bol. Geol. Min., Madrid, 85., 3: 271-273.
- PEREIRA, E., GONÇALVES, L.S.M. & MOREIRA, A. (1980) — Carta geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 13D — Oliveira de Azeméis — Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- PEREIRA, L. C. G. & MACEDO, C. A. R. (1983) — Sobre a idade dos granitos de Figueiró dos Vinhos, Pedrógão Grande e dum pegmatito do Casal do Zote (Dornes) no sector da sutura Ossa-Morena — Zona Centro - Ibérica, a norte de Tomar (Portugal Central); algumas implicações geotectónicas — Com. Serv. Geol. Portugal, 69, 9: 265-266.
- (1984) — Nova contribuição para o enquadramento tectónico do granito de Figueiró dos Vinhos, no sector da sutura da zona de Ossa-Morena e zona Centro-Ibérica, entre Coimbra e Tomar (Portugal Central) — VI Reunião do Grupo Ossa-Morena, Coimbra, vol. sumários, Univ. Coimbra.
- PINTO, A. FERREIRA (1982) — O granito deformado de Sátão (Viseu) — aspectos texturais, estruturais e mineralógicos — Mem. Not., 94: 59-69.
- (1983) — Rochas granitoïdes hercínicas pós-tectónicas da área de Sátão — Penalva do Castelo — características petrológicas e geoquímicas — Mem. Not., 96: 34-74.
- PINTO, M. S. (1980/1981) — Geochronology of a gneissic quartz-diorite from Sever do Vouga (Aveiro, Northern Portugal) — Bol. Soc. Geol. Portugal, 22: 121-124. (Volume de homenagem ao Professor Carlos Teixeira).

- (1983) — Geochronology of Portuguese granitoids: a contribution — *Stvd. Geol. Salmanticensis*, 18: 277-306. (VIII Reunião Geol. Oeste Penins., Salamanca, Coimbra, 1983).
- (1984) — O granito gnássico de Fânzeres (Porto, Portugal) — idade e caracterização geoquímica geral — *Mem. Not.*, 98: 231-242.
- (1985a) — Carboniferous granitoids of Portugal: some geochemical and geochronological aspects — *An. Fac. Ciênc., Porto, Supl. vol. 64*, (1983): 15-33.
- (1985b) — Granitóides dos maciços de Arouca e Regoufe: dados geoquímicos e isotópicos e algumas implicações — Trabalho submetido à apreciação de «Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal».
- (no prelo a) — Contribuição para o conhecimento geoquímico e isotópicos dos granitóides da área de Oliveira de Azeméis — *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 23.
- (no prelo b) — Escala geocronológica de granitóides portugueses ante-mesozóicos — uma proposta — *Mem. Not.*, 99.
- PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A. I. M., HEBEDA, E. H., SCHERMERHORN, L. J. G., VERDURMEN, E. A. Th. & VERSCHURE, R. H. (1978) — Sr isotopic homogenization through whole-rock systems under low — greenschist facies metamorphism in Carboniferous pyroclastics at Aljustrel ((Southern Portugal) — *Chem. Geol.*, 21: 307-314.
- PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A. I. M., VERSCHURE, R. H., HEBEDA, E. H. & VERDURMEN, E. A. Th. (1970) — Dating events of acid plutonism through the Paleozoic of the Western Iberian Peninsula — *Ecolg. Geol. Helvet.*, 63, 1: 155-274.
- PRIEM, H. N. A., SCHERMERHORN, L. J. G., BOELRIJK, N. A. I. M. & HEBEDA, E. H. (1984) — Rb-Sr geochronology of Variscan granitoids in the tin-tungsten province of Northern Portugal: a progress report — *Terra Cognita*, 4, 2: 212-213.
- PRIEM, H. N. A. & TEX, E. den (1984) — Tracing crustal evolution in the NW Iberian Peninsula through the Rb-Sr and U-Pb systematics of Paleozoic granitoids: a review — *Phys. Earth Plan. Int.*, 35: 121-130.
- RIBEIRO, O., TEIXEIRA, C., CARVALHO, H., PERES, A., FERNANDES, A. P., ASSUNÇÃO, C. T. & PILAR, L. (1965) — Carta geológica de Portugal na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha 28B — Nisa — Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SCHERMERHORN, L. J. C. (1956) — Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Daire - São Pedro do Sul - Sátão region (Northern Portugal) — *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 37: 5-617. (Tese).
- SLUIJK, D. (1963) — Geology and tin-tungsten deposits of Regoufe area, Northern Portugal — Universidade de Amsterdam, Amsterdam. (Tese).
- SNELLING, N. J. (1976) — Least squares fitting of straight lines to analytical data: geochronological applications. A review and commentary. — *Inst. Geol. Sciences, London, Report 76-18*, não publicado.
- SOUSA, M. J. L. (1978) — O grau de incarbonização (rang) dos carvões durienses e as consequências genéticas, geológicas e estruturais que resultam do seu conhecimento — *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 63: 179-365.
- STEIGER, R. & JÄGER, E. (1977) — Subcommission on geochronology. Convention on the use decay constants in geo - and cosmochronology. — *Earth Planet. Sci. Letters*, 36: 359-362.
- TEIXEIRA, C. (1976) — Acerca da idade das rochas graníticas portuguesas — *Bol. Soc. Geol. Portugal*, 20, 1/2: 131-163.

Manuscrito depositado em Dezembro de 1986