

DETERMINAÇÃO DA RAZÃO $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ NO LABORATÓRIO DE GEOLOGIA ISOTÓPICA DA UNIVERSIDADE DE AVEIRO: RESULTADOS PRELIMINARES

S. Ribeiro¹, K. Sato², L. Petronilho², M.R. Azevedo¹, J.F. Santos¹ & J. Medina¹

RESUMO - No presente trabalho, pretende-se fazer uma avaliação da reprodutibilidade e do rigor das medições da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do espectrómetro de massa do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro. A qualidade analítica foi testada por duas vias: 1) confrontando os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidos em padrões internacionais com os referenciados na bibliografia; 2) comparando os resultados de análises de amostras de rocha efectuadas em duplicado na Universidade de Aveiro e no Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo. O bom ajustamento entre os resultados obtidos em padrões e os valores recomendados, bem como a concordância entre as análises de materiais geológicos realizadas nos dois laboratórios citados, indicam que o espectrómetro de massa do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro tem condições de produzir resultados da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com um nível de qualidade comparável à de laboratórios análogos.

Palavras chave: razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; espectrometria de massa.

ABSTRACT - The main objective of this work is to assess the precision and accuracy of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic analyses produced in the Laboratory of Isotope Geology of the University of Aveiro. This was done using two different approaches: 1) comparing the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios obtained in international standards and the recommended values; 2) assessing the differences between the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of rock samples analysed in duplicate in the University of Aveiro and in the Centro de Pesquisa Geocronológicas of the University of São Paulo. The results obtained in international standards and samples show that the procedure used in the Laboratory of Isotope Geology of the University of Aveiro gives both accurate and precise Sr isotopic analyses.

Key words: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio; mass spectrometry.

1. INTRODUÇÃO

A Universidade de Aveiro, através da Unidade I&D ELMAS (Evolução Litosférica e do Meio Ambiental de Superfície) tem vindo a desenvolver esforços na construção de um Laboratório de Geologia Isotópica, com o objectivo de proporcionar à comunidade científica nacional, infraestruturas e equipamentos que possibilitem a análise de isótopos utilizados em datação absoluta e estudos geoquímicos de materiais geológicos. Este investimento iniciou-se com a aquisição de um espectrómetro de massa de fonte sólida (VG Sector 54) e ir-se-á completar com a construção de uma sala limpa (ar classe 100), onde se irão implementar: numa primeira fase, as metodologias

analíticas necessárias para a extracção dos elementos Rb, Sr, Sm e Nd; numa segunda fase, as metodologias para separação de U, Th e Pb. Entretanto, através de um programa de colaboração com o Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de S. Paulo (CPGeo), foram estabelecidos os procedimentos analíticos para análise de Rb-Sr e Sm-Nd no espectrómetro de massa da Universidade de Aveiro. Do intercâmbio das duas instituições resultaram diversas medições da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em padrões internacionais, em amostras de rocha processadas no laboratório limpo do CPGeo e analisadas em ambos os espectrómetros e em amostras preparadas nas duas instituições e analisadas no

¹ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-183, Aveiro, Portugal.

² Centro de Pesquisas Geocronológicas, Universidade de São Paulo, CEP 05422-970, São Paulo, Brasil

equipamento da Universidade de Aveiro. Este estudo permitiu fazer uma avaliação da qualidade dos dados obtidos no espectrómetro de massa da Universidade de Aveiro.

2. PREPARAÇÃO QUÍMICA DAS AMOSTRAS

A metodologia adoptada para a determinação da razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tem três etapas fundamentais: digestão ácida da rocha, separação do Sr dos restantes componentes da matriz por cromatografia iónica e medição da razão isotópica por espectrometria de massa. Seleccionou-se um conjunto de amostras que foram processadas em duplicado no laboratório limpo do CPGeo, de forma a que fosse possível analisá-las nos espectrómetros de massa do CPGeo e da Universidade de Aveiro. Simultaneamente, foi escolhido um grupo de amostras que foi preparado no CPGeo e num laboratório químico, desprovido de sistema de limpeza de ar, na Universidade de Aveiro. A litologia das amostras seleccionadas para este estudo, assim como os valores das concentrações de Rb e Sr obtidas por fluorescência de raios X, são apresentadas na tabela 1.

2.1 Preparação de reagentes e destilação de água

A purificação da água foi realizada por tridestilação num destilador de quartzo. Os ácidos HCl e HNO_3 foram bidestilados em destiladores de quartzo e o ácido HF foi destilado por “sub-boiling” pelo método das duas garrafas de teflon. Deste modo, obteve-se uma concentração de Sr no branco na ordem dos 20 pg g^{-1} , para os ácidos concentrados, e de 1 pg g^{-1} , para a água. O material utilizado nas diferentes fases de preparação das amostras foi previamente descontaminado com HNO_3 (50%) e água tridestilada.

2.2 Ataque químico das amostras

Para cada amostra, foi pesada uma alíquota de cerca de 100 mg num copo de teflon com tampa (Saville[®]), com 15 ml de capacidade. Adicionou-se à amostra uma solução composta por 1 ml de HNO_3

(conc.) e 2 ml de HF (conc.) e colocou-se o copo fechado num banho de ultrassons durante 45 min (PETRONILHO, sem data). Em seguida, o copo foi colocado sob uma lâmpada de infravermelhos, a aproximadamente 60°C , durante 24h. Em amostras com grande resistência química, de difícil dissolução, o ataque foi feito sob pressão (aproximadamente 1800 psig) em bombas de digestão (Parr Instrument Company), colocadas numa estufa a 220°C , durante 2 ou 3 dias. Após a dissolução completa da amostra, os ácidos e os compostos voláteis de SiF_6 foram removidos por evaporação, sob lâmpadas de infravermelhos, em evaporadores de teflon com entrada de ar filtrado. O pó residual foi dissolvido em 5ml de HCl (6 N) para assegurar a dissolução dos fluoretos, e aquecido durante uma noite a 60°C com o copo fechado. Após completa dissolução, o ácido foi evaporado e o resíduo dissolvido em 3 ml de HCl (2,6N). A solução resultante foi sujeita a centrifugação em tubos de polipropileno para evitar a contaminação da resina com eventuais resíduos.

2.3 Separação química do Sr

A separação de Sr foi feita em colunas de quartzo de 7mm de diâmetro, contendo cerca de 5 ml de uma solução aquosa de resina catiónica (AG8 50W Bio-Rad).

Antes da deposição da amostra, a resina foi lavada com HCl (6N) e H_2O e condicionada com HCl (2,6N) e 1 ml de H_2O . Depositou-se a amostra e colectou-se o Sr, usando HCl (2,6N) como eluente, de acordo com o esquema de calibração das colunas descrito por SATO *et al.* (1995) e PETRONILHO (sem data). A solução foi evaporada e o resíduo analisado no espectrómetro de massa.

3. ESPECTROMETRIA DE MASSA

O espectrómetro de massa de ionização térmica VG Sector 54 instalado no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro está equipado com um sistema de detectores Faraday (composto por 6

colectores móveis e um central fixo) e um detector Daly.

3.1 Deposição

A amostra foi dissolvida com 1 µl de H_3PO_4 (1N), depositada num filamento central de Ta, previamente desgaseificado, e seca por aumento da temperatura no filamento até atingir uma coloração ligeiramente avermelhada.

3.2 Condições de análise

Para análise das razões isotópicas de Sr, foi utilizado um procedimento dinâmico com 3 intensidades de campo magnético distintas e uma intensidade do feixe iónico, para o ^{88}Sr , de 2×10^{-11} V. Em cada amostra, foram medidas de 100 a 200 razões em blocos de 20 razões, sendo a duração total da análise de 1,5 a 2h.

A ionização preferencial dos isótopos mais leves no início da análise leva a que as razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ e $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variem progressivamente ao longo do tempo - fraccionamento de massa. O grau de fraccionamento de uma amostra depende de diversos factores, nomeadamente da temperatura de ionização, da composição e quantidade de amostra e do tipo de filamento. No entanto, no caso dos isótopos de Sr, o fraccionamento pode ser facilmente corrigido através da normalização das razões medidas para o valor $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$ (DICKIN, 1997). Esta correcção foi realizada para cada ciclo de análise pelo sistema de aquisição de dados do equipamento.

A análise regular do padrão internacional NBS 987 permitiu controlar a reprodutibilidade e o rigor das análises. Em 35 medições do padrão NBS 987 (tabela 2), obteve-se para a razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, o valor de 0,710242 com uma reprodutibilidade de 0,0044% ($\pm 0,000032$) e uma precisão interna inferior a $\pm 0,000012(2\sigma)$. Estes resultados estão claramente de acordo com os valores recomendados pela Micromass - 0,71023-0,71026 (0,001%), assim como com os obtidos no CPGeo (SATO, comunicação oral) - 0,71024 \pm

0,00006 (2σ), ou os publicados por THIRLWALL (1991) - 0,710248 \pm 0,000012 (2σ).

A razão isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ medida em 12 análises do padrão E&A ($0,708010 \pm 0,000030$; tabela 3) coincide com valor de consenso - 0,7080 – proposto por KAWASHITA *et al.*, (1997), o que, conjugado com os dados anteriores, revela o rigor das análises produzidas no espectrómetro de massa da Universidade de Aveiro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 4, são apresentados os resultados isotópicos das amostras preparadas no CPGeo e analisadas nos espectrómetros de massa do CPGeo e da Universidade de Aveiro. Usando o parâmetro Δ como uma medida da diferença entre as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ medidas no CPGeo e na Universidade de Aveiro, verifica-se que somente 5 das 37 amostras analisadas apresentam valores de Δ superiores a 0,008%. Projectando os valores obtidos em ambos os espectrómetros num gráfico e aplicando o método dos mínimos quadrados (gráfico 1), observa-se uma excelente concordância entre os dados dos dois laboratórios, pois não se verificam diferenças significativa para um grau de confiança de 95%. Os resultados obtidos, quer em padrões quer em amostras, demonstram que o espectrómetro de massa do Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro está em condições de produzir análises isotópicas de Sr com um nível de qualidade comparável à de outros laboratórios internacionais.

Apesar de não existir ainda uma sala limpa no Laboratório de Geologia Isotópica de Aveiro, seleccionou-se um conjunto de 6 amostras que foram processadas e analisadas independentemente no CPGeo e na Universidade de Aveiro com o objectivo de testar as técnicas de separação química de Sr nesta última instituição. Salienta-se que foram escolhidas amostras com uma elevada concentração de Sr, de forma a minorar a contaminação que pudesse ser causada por um ambiente desprovido de sistema de limpeza de ar.

Os resultados destas análises estão apresentados na tabela 5. Verifica-se que, neste conjunto de análises, as diferenças relativas entre os valores obtidos nos dois laboratórios são inferiores a 0,011%, o que não parece ser significativo, tendo em conta de que se tratou de uma preparação química independente e que as condições do laboratório químico da Universidade de Aveiro não foram as ideais. Com a conclusão da construção da sala limpa, espera-se que o Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro alargue o espectro de materiais geológicos a analisar e implemente as metodologias de análise de isótopos de outros elementos.

BIBLIOGRAFIA

DICKIN A. F. (1997) - *Radiogenic Isotope Geology*.

Cambridge University Press, 2nd ed, 490 p.

KAWASHITA, K., MARQUES, F., SOARES, E. &

PINTO M. S. (1997) - Proposta para valores de consenso para $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em carbonatos de estrôncio NBS-987 e Sr_N (E&A). *Actas X Semana de Geoquímica/ IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa*, Braga, pp. 397-400.

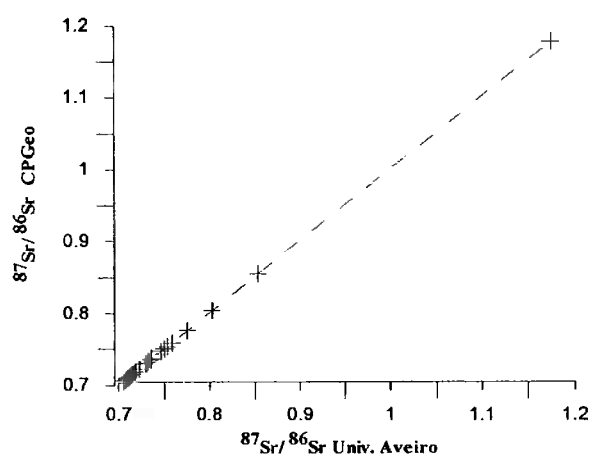
MICROMASS (1997) - *Micromass Sector 54 Thermal Ionisation Mass Spectrometer*. Specification Note 201.

PETRONILHO, L. (sem data) - Notas internas acerca dos procedimentos analíticos utilizados no laboratório Rb-Sr no Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de S. Paulo.

SATO, K., TASSINARI C., KAWASHITA, K. & PETRONILHO, L. (1995) - O método geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações. *An. Acad. Bras. Ci.*, 67(3), pp. 313-336.

THIRLWALL, M.F. (1991) - Long-term reproducibility of multicollector Sr and Nd isotope ratio analysis. *Chem. Geol.*, 94, pp. 85-104.

Gráfico 1: Valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ obtidos nos espectrómetros do CPGeo e da Universidade de Aveiro, em amostras preparadas no CPGeo (tabela 4).



A recta apresentada foi obtida pelo método dos mínimos quadrados cuja equação é $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{Av}} = 0,00014 + 0,99980 \, ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{CPGeo}}$, de coeficiente de correlação $= 0,9999998$ limite conf._{95%} (a) $= -0,0003 - 0,00032$; limite conf._{95%} (b) $= 0,99957 - 1,00003$.

Tabela 1 - Litologia e concentrações de Sr e Rb das amostras.

Ref, Lab	Litologia	Sr ¹ (ppm)	Rb ¹ (ppm)
Granitóides Variscos (Zona Centro Ibérica)			
SPS 786	Granodiorito	304,0	140,4
SPS 787	Granito porfiróide biotítico	125,7	243,5
SPS 788	Granito porfiróide biotítico	102,9	331,2
SPS 790	Granodiorito	432,3	173,9
SPS 791	Monzodiorito quártzico	590,2	113,9
SPS 809	Granito de duas micas	48,8	336,7
SPS 996	Granito porfiróide biotítico – moscovítico	88,0	327,3
SPS 998	Granito biotítico – moscovítico	539,4	200,2
SPS 1003	Granito porfiróide biotítico	94,6	315,5
SPS 1004	Granito biotítico – moscovítico	249,6	264,7
SPS 1234	Granito porfiróide biotítico – moscovítico	114,3	454,7
SPS 1235	Granito porfiróide biotítico – moscovítico	159,7	271,4
SPR 13515	Monzodiorito quártzico	286,1	184,4
SPR 13516	Monzodiorito quártzico	278,9	171,6
SPR 13517	Granodiorito	538,0	181,0
SPR 13518	Granodiorito	278,6	213,7
SPR 13521	Diorito	576,0	142,4
SPR 13763	Granito porfiróide biotítico	117,2	296,9
SPR 13764	Granito porfiróide biotítico	114,3	270,7
SPR 13765	Granito porfiróide biotítico	133,4	249,4
SPR 13981	Granito porfiróide biotítico – moscovítico	76,1	416,6
Granitóides Variscos (Zona de Ossa Morena)			
SPR 13985	Granito biotítico – moscovítico	191	194
SPR 13988	Granito biotítico	83	129
SPR 13991	Metagabro	703	8
SPR 13993	Monzogabro	305	242
SPR 13995	Granodiorito	435	210
SPR 13996	Monzodiorito quártzico	273	61
SPR 13997	Granodiorito	271	102
SPR 13998	Granodiorito	168	116
SPR 13999	Tonalito	252	46
SPR 14001	Granito biotítico	167	119
SPR 14002	Granito biotítico-moscovítico	102	287
SPR 14004	Tonalito	314	137
SPR 14370	Tonalito	331,0	114,1
SPR 14371	Granodiorito	269,9	128,3
SPR 14372	Filão dacítico	152,4	145,7
SPR 14373	Granito	70,4	275,5
SPR 14375	Granito moscovítico	63,2	122,4
SPR 14376	Granito	57,5	219,0
Granitóides Pré-Variscos (Zona de Ossa Morena)			
SPR 13986	Ortognaisse	27	203
SPR 13987	Ortognaisse	8	246
SPR 13989	Ortognaisse	284	77
SPR 14005	Ortognaisse	91	96

¹Dados obtidos por FRX

Tabela 2 - Resultados das análises, no espectrómetro de massa da Universidade de Aveiro, do padrão NBS 987.

⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr NBS 987	
1997	1998
0,710226 ± 0,000010	0,710224 ± 0,000012
0,710229 ± 0,000008	0,710217 ± 0,000012
0,710220 ± 0,000008	0,710228 ± 0,000010
0,710225 ± 0,000008	Média ¹ : 0,710223 ± 0,000010
0,710237 ± 0,000008	2000
0,710224 ± 0,000012	0,710260 ± 0,000006
0,710240 ± 0,000012	0,710263 ± 0,000006
0,710207 ± 0,000012	0,710246 ± 0,000006
0,710199 ± 0,000012	0,710251 ± 0,000006
Média ¹ : 0,710223 ± 0,000026	0,710255 ± 0,000010
1999 ²	0,710251 ± 0,000008
0,710256 ± 0,000006	0,710247 ± 0,000008
0,710256 ± 0,000006	0,710243 ± 0,000008
0,710246 ± 0,000006	0,710243 ± 0,000006
0,710262 ± 0,000006	0,710248 ± 0,000006
0,710255 ± 0,000006	0,710252 ± 0,000008
0,710256 ± 0,000006	0,710256 ± 0,000008
0,710242 ± 0,000006	0,710245 ± 0,000006
0,710256 ± 0,000006	0,710251 ± 0,000008
	0,710245 ± 0,000006
Média ¹ : 0,710254 ± 0,000012	Média ¹ : 0,710250 ± 0,000012
Média global: 0,710242 ± 0,000032 (N=35)	

Os valores de erros são apresentados sob a forma 2σ

Cada valor foi corrigido para ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0,1194 por uma lei de correcção exponencial (VG Isotech-Micromass)

¹ -- Média de cada período

² -- A partir de 1998 verificou-se um ligeiro aumento dos valores resultante uma intervenção correctiva no espectrómetro de massa

Tabela 3 : Resultados das análises, no espectrómetro de massa da Universidade de Aveiro, do padrão Sr E&A.

⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr Sr E&A	
1997	1999 – 2000
0,708005 ± 0,000010	0,708036 ± 0,000008
0,707995 ± 0,000008	0,708031 ± 0,000006
0,707992 ± 0,000008	0,708011 ± 0,000006
0,707997 ± 0,000008	0,708019 ± 0,000006
0,707997 ± 0,000008	0,708030 ± 0,000006
0,708006 ± 0,000008	Média ² : 0,708025 ± 0,000020
0,708000 ± 0,000008	
Média ¹ : 0,707999 ± 0,000010	
Média dos 2 períodos: 0,708010 ± 0,000030 (N=12)	

Os valores de erros são apresentados sob a forma 2σ

Cada valor foi corrigido para ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr=0,1194 por uma lei de correcção exponencial (VG Isotech-Micromass)

¹ -- Média de cada período

² -- A partir de 1998 verificou-se um ligeiro aumento dos valores resultante uma intervenção correctiva no espectrómetro de massa

Tabela 4 – Resultados obtidos em amostras preparadas quimicamente no CPGeo e analisadas nos espectrómetros do CPGeo e da Universidade de Aveiro

Ref, Lab	CPGeo $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Univ, Aveiro $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Δ^1 (%)
SPS 786	0,710800 ± 11	0,710678 ± 47	0,0172
SPS 787	0,730556 ± 21	0,730501 ± 56	0,0075
SPS 788	0,747358 ± 23	0,747395 ± 48	-0,0049
SPS 790	0,710297 ± 28	0,710259 ± 47	0,0053
SPS 791	0,707665 ± 36	0,707530 ± 47	0,0191
SPS 809	0,802860 ± 56	0,802873 ± 53	-0,0016
SPS 996	0,754110 ± 62	0,754128 ± 43	-0,0024
SPS 998	0,712050 ± 54	0,712012 ± 40	0,0053
SPS 1003	0,751010 ± 62	0,750899 ± 43	0,0148
SPS 1004	0,722940 ± 44	0,722932 ± 42	0,0011
SPS 1234	0,759153 ± 13	0,759146 ± 11	0,0009
SPS 1235	0,732735 ± 12	0,732716 ± 10	0,0025
SPR 13515	0,713157 ± 28	0,713160 ± 47	-0,0004
SPR 13516	0,712913 ± 28	0,712969 ± 50	-0,0079
SPR 13517	0,709371 ± 21	0,709423 ± 45	-0,0073
SPR 13518	0,715432 ± 50	0,715471 ± 47	-0,0055
SPR 13521	0,707874 ± 50	0,708059 ± 45	-0,0261
SPR 13763	0,736999 ± 37	0,737033 ± 8	-0,0046
SPR 13764	0,736349 ± 44	0,736334 ± 8	0,0020
SPR 13765	0,729682 ± 44	0,729684 ± 8	-0,0003
SPR 13981	0,774942 ± 11	0,774934 ± 8	0,0010
SPR 13985	0,718865 ± 11	0,718880 ± 7	-0,0020
SPR 13988	0,735613 ± 11	0,735631 ± 9	-0,0024
SPR 13991	0,705815 ± 12	0,705802 ± 8	0,0019
SPR 13993	0,718532 ± 11	0,718493 ± 7	0,0054
SPR 13995	0,711899 ± 9	0,711913 ± 7	-0,0020
SPR 13986	0,853321 ± 13	0,853319 ± 10	0,0002
SPR 13987	1,175972 ± 14	1,175866 ± 16	0,0090
SPR 13989	0,714519 ± 13	0,714521 ± 7	-0,0003
SPR 13996	0,709349 ± 13	0,709347 ± 7	0,0003
SPR 13997	0,713082 ± 10	0,713079 ± 7	0,0004
SPR 13998	0,718685 ± 11	0,718680 ± 7	0,0007
SPR 13999	0,710903 ± 11	0,710908 ± 11	-0,0007
SPR 14001	0,716814 ± 12	0,716789 ± 10	0,0035
SPR 14002	0,750722 ± 27	0,750716 ± 9	0,0008
SPR 14004	0,712989 ± 36	0,713015 ± 9	-0,0036
SPR 14005	0,730675 ± 12	0,730691 ± 7	-0,0022

¹ Valor determinado por $[\text{CPGeo-Av}]/\text{CPGeo} \times 100\%$

Os erros são apresentados sob a forma 2σ

Tabela 5 – Resultados de amostras preparadas independentemente nos laboratórios do CPGeo e da Universidade de Aveiro

Ref, Lab	CPGeo $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Univ, Aveiro $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Δ^1 (%)
SPR 14370	0,712628 ± 57	0,712548 ± 21	0,011
SPR 14371	0,714495 ± 21	0,714495 ± 23	0,000
SPR 14372	0,721373 ± 50	0,721291 ± 22	0,011
SPR 14373	0,760349 ± 68	0,760384 ± 24	-0,005
SPR 14375	0,728586 ± 29	0,728649 ± 23	-0,009
SPR 14376	0,75583 ± 15	0,755802 ± 23	0,003

¹ Valor determinado por $[\text{CPGeo-Av}]/\text{CPGeo} \times 100\%$

Os erros são apresentados sob a forma 2σ

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST 57TH STREET, NEW YORK, N.Y. 10022