

**COEFICIENTE DE PARTIÇÃO DO RUBÍDIO ENTRE SOLUÇÃO HIDROTHERMAL,  
SANIDINA, LEUCITA E FUSÃO SÍLICO-SANIDÍNICA A ALTAS TEMPERATURAS E 2 Kb**

A.P. Moreira<sup>1</sup>, F. Delbove<sup>2</sup>, J.V. Valarelli<sup>3</sup>

1. Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Centro Niterói, 24000 Rio de Janeiro, RJ
2. Centre de Recherches sur la Synthèse et Chimie des Minéraux, C.N.R.S., 1A, Rue de la Ferrollerie, Cedex 45075 Orléans, France
3. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, Caixa Postal 20899, 01498 São Paulo, SP

## ABSTRACT

Leucite, sanidine and silico-sanidine fusion were synthesized in various KCl hydrothermal solutions (HS) containing different amounts of tagged RbCl. The partition coefficients  $K_d = \text{Rb/K}$  synthetic phase/ $\text{Rb/K}$  hydrothermal solution were evaluated as being

$$K_{d_{\text{Lc-HS}}}^{2\text{Kb}, 930^\circ\text{C}} = 1,8 ; \quad K_{b_{\text{Lc-HS}}}^{2\text{Kb}, 1030^\circ\text{C}} = 1,3 ;$$

$$K_{d_{\text{fusion-HS}}}^{2\text{Kb}, 1030^\circ\text{C}} = 0,55 ; \quad K_{d_{\text{San-HS}}}^{2\text{Kb}, 930^\circ\text{C}} = 0,47$$

Those values reflect the ideality of the intervening phases since they were determined over the explicit linear range of  $K_d$ .

Under the experimental conditions mentioned it was verified that:

- Rb has greatest affinity to leucite when in equilibrium with the hydrothermal solution, and that affinity is lowered when the temperature rises.
- in the equilibrium between hydrothermal solution and sanidine or silico-sanidine fusion, Rb has slight preference for the hydrothermal solution (HS).

## RESUMO

Efetuarão-se séries de sínteses de leucita, sanidina e fusão sílico-sanidínica em presença de solução hidrotermal (SH), contendo HCl e proporções variadas de traços de RbCl, com "rubídio marcado" 87, Rb. Foram determinados os seguintes coeficientes médios de partição ( $K_d$ ), relacionando Rb/K da fase sintetizada com Rb/K da solução hidrotermal nas temperaturas indicadas e a pressão total de 2 Kbar.

$$K_{d_{\text{Lc-SH}}}^{2\text{Kb}, 930^\circ\text{C}} = 1,8 ; \quad K_{b_{\text{Lc-SH}}}^{2\text{Kb}, 1030^\circ\text{C}} = 1,3 ;$$

$$K_{d_{\text{San-SH}}}^{2\text{Kb}, 930^\circ\text{C}} = 0,47 ; \quad K_{d_{\text{fusão-SH}}}^{2\text{Kb}, 1030^\circ\text{C}} = 0,55$$

Esses valores são válidos dentro dos limites de linearidade do  $K_d$ , refletindo condições de equilíbrio e idealidade das fases envolvidas.

Nessas condições experimentais, constatou-se que:

- o rubídio tem maior afinidade pela leucita quando em equilíbrio com uma solução hidrotermal e essa afinidade diminui com a temperatura;
- tratando-se de equilíbrios entre solução hidrotermal (SH) e sanidina ou fusão sílico-sanidínica, o rubídio tem ligeira preferência pela solução hidrotermal (SH).

## INTRODUÇÃO

Os elementos maiores de minerais podem ser substituídos por elementos traços na estrutura cristalina (Goldschmidt, 1937), na dependência do raio, carga, eletronegatividade, tipo de estrutura e outros fatores (P e T). A partir de 1950, a importância desse mecanismo de troca levou muitos estudiosos a realizarem experimentos de reações de trocas de íons em silicatos. Por serem fundamentais em petrologia, foram

os feldspatos, feldspatóides e micas os mais enfocados (Eugster, 1955; Orville, 1963; Iiyama, 1974a, 1974b; Ghelis & Lagache, 1972; Beswick, 1973; Debron, 1965; Lagache, 1968, 1974a, 1974b, 1984; Lagache & Sabatier, 1973; Roux et al., 1971; Volfinger, 1976; Volfinger & Robert, 1980, etc.).

Soluções diluídas tendem a ser ideais e o comportamento dos elementos presentes

é descrito por relações de concentrações até limites a serem determinados experimentalmente.

O estudo experimental dos domínios de estabilidade e do quimismo das fases minerais fornece indicações sobre os parâmetros termodinâmicos reinantes durante a gênese das associações minerais. A distribuição de elementos entre fases coexistentes em equilíbrio pode ser estudada com a ajuda da lei de Berthelot-Nernst aplicada a soluções sólidas.

Quando um silicato, possuindo um elemento maior (M) na sua estrutura, cristaliza em equilíbrio com uma solução contendo um outro elemento menor (T), a composição do cristal, expressa por relação de número de átomos  $(T/M)_{\text{crist.}}$ , é função da mesma relação  $(T/M)_{\text{SH}}$  da solução. A razão da concentração de ambos os elementos da solução sólida guarda com a razão de concentração da solução hidrotermal (SH) de comportamento ideal, uma relação que pode ser expressa por:

$$(T/M)_{\text{SH}} = K_d (T/M)_{\text{crist.}} \quad (1)$$

O coeficiente de partição  $K_d$  é função da pressão, da temperatura, da estrutura do mineral e da natureza dos elementos traços. Em experimentos isotérmicos e isobáricos, se essa expressão é verificada, os pontos experimentais se alinham numa reta de inclinação unitária, o que leva a dizer que também a solução sólida tem comportamento ideal.

## METODOLOGIA

A avaliação da gênese e da evolução dos magmas pode ser realizada através da análise quantitativa do comportamento dos elementos traços entre as diferentes fases presentes: silicatos cristalizados, fase fundida silicatada e fluidos hidrotermais eventualmente presentes no final de cristalização. Isso vem sendo realizado com frequência em amostras naturais de rochas efusivas.

Nos estudos de laboratório, a distribuição de um elemento traço entre dois ou mais minerais é feito pelo método direto. Minerais são colocados em contato com uma solução diluída contendo um elemento maior e um menor, num sistema fechado de altas temperaturas, até que cesse a troca de íons e o equilíbrio seja atingido. Essa situação é válida entre soluções e minerais e

minerais entre si. No entanto, a experiência mostra que a constatação do equilíbrio através de dosagens, quando presentes elementos traços com concentração a nível de ppm e ppb, uma série de inconvenientes são assinalados e não permite a aplicação da lei de Nernst com segurança (Volfinger, 1976).

Desde 1970, alguns pesquisadores vem seguindo o método indireto (Wyart et al., 1971; Cullers et al., 1970/1973; Zielinsky et al., 1974; Delbove, 1978 e Carron et al., 1980), evitando problemas analíticos e trabalhando com uma boa precisão. Esse método consiste no equilíbrio separado das fases cristalizada (c) e fundida (f) com uma solução hidrotermal (SH). O coeficiente de partição entre a fase cristalizada (mineral A e mineral B) e a fase hidrotermal de um lado e entre a fase e essa mesma solução hidrotermal de outro pode ser determinado experimentalmente com solução hidrotermal de composições idênticas. O sucesso deste método depende essencialmente da estabilidade recíproca da solução hidrotermal de referência com as fases estudadas e do comportamento dos constituintes dessa solução nas proximidades do ideal.

Para facilitar as dosagens dos elementos traços em baixas concentrações, empregam-se, nas experiências, traçadores radioativos.

As cintilações das partículas  $\beta$  emitidas pelo rubídio 86 foram medidas em um contador Geiger-Müller. Cada série de análises realizada pela radioquímica é acompanhada por padrão, permitindo estabelecer a quantidade desse elemento traço nas fases sólida e líquida.

Para acelerar o estado de equilíbrio das reações, usou-se como material de partida para as sínteses dos minerais ou das fusões silicatadas, misturas de óxidos amorfos.

As condições e conduta experimental estão descritas em Moreira, 1988; Moreira et al., 1989, 1990b, 1990c.

O controle dos produtos sólidos (gel) usados como material de partida das experiências e a identificação do mineral cristalizado e fundido são feitos pelos métodos clássicos de difratometria de raios X e por microscopia óptica.

O potássio da solução é determinado por fotometria de chama. A quantidade de potássio contida no sólido é calculada por diferença, levando em conta o teor em rubídio anteriormente determinado.

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados das medidas são apresentados nas Tabelas 1 a 4 e Figuras 1 e 2.

Nestas, utilizou-se em coordenadas logarítmicas, a relação  $[Rb/K]$  em número de átomos nos sólidos em função dessa mesma relação nas soluções associadas. As figuras

Tabela 1 – Dados de experiências de síntese de soluções sólidas de leucita,  $(K,Rb)AlSi_2O_6$  em equilíbrio com fluidos hidrotermais (KCl-RbCl- $H_2O$ ) a  $1030^\circ C$  e 2Kb.

Exper. Nº	ANTES DO ENSAIO			DEPOIS DO ENSAIO							
	mg Gel	$\mu$ atomo g Solução		mg	Mineral			Filtrado			Kd
		K	Rb		$\mu$ atomo g		Rb/K	$\mu$ atomo g		Rb/K	
					K	Rb		K	Rb		
101	61,10	160,85	3,23 $10^{-3}$	48,70	222,28	1,89 $10^{-3}$	8,49 $10^{-6}$	164,45	1,11 $10^{-3}$	6,75 $10^{-6}$	1,26
104	58,90	141,03	1,39 $10^{-2}$	50,90	233,28	1,02 $10^{-2}$	4,37 $10^{-5}$	97,44	3,85 $10^{-3}$	3,95 $10^{-5}$	1,11
103	60,10	179,70	0,157	50,40	230,99	0,101	4,39 $10^{-4}$	146,55	5,01 $10^{-2}$	3,42 $10^{-4}$	1,28
106	60,10	184,90	8,37	37,40	171,41	3,98	2,37 $10^{-2}$	148,73	2,32	1,56 $10^{-2}$	1,52
102	60,40	193,02	17,57	52,40	240,16	10,69	4,65 $10^{-2}$	160,36	5,38	3,47 $10^{-2}$	1,34

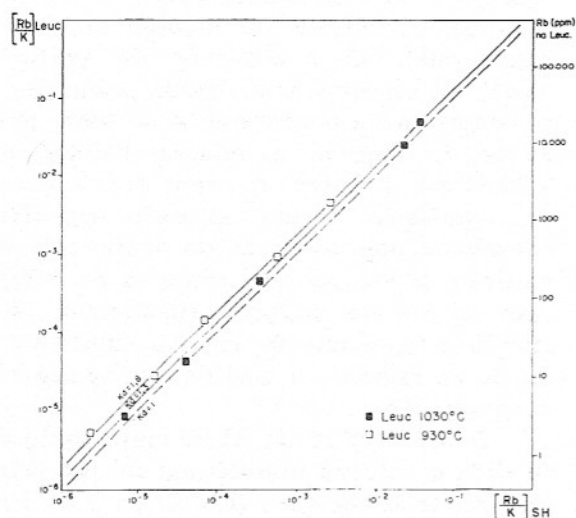


Figura 1 – Curvas de equilíbrio da distribuição de Rb, obtidas a  $930^\circ$  e  $1030^\circ C$  e 2000 bars ( $pH_2O$ ), entre uma solução hidrotermal de KCl e 1,5 N e leucita cristalizada. A reta tracejada corresponde a um equilíbrio de Kd constante igual a um.

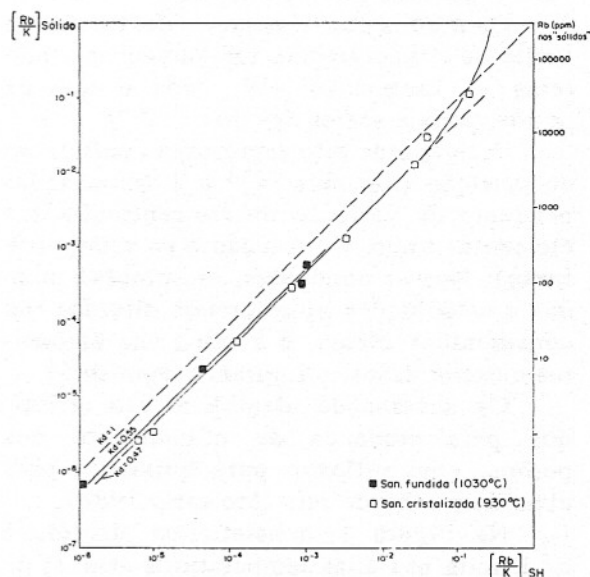


Figura 2 – Curvas de equilíbrio da distribuição de Rb, obtidas a  $930^\circ$  e  $1030^\circ C$  e 2000 bars ( $pH_2O$ ), entre uma solução hidrotermal de KCl e 1,5 N e sanidina cristalizada. A reta pontilhada corresponde a um equilíbrio de Kd constante igual a um.



Tabela 2 – Dados dos coeficientes de partição do Rb entre soluções sólidas de leucita (K,Rb)AlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub> e fluidos hidrotermais (KCl-RbCl-H<sub>2</sub>O), obtidos em experiências a 930°C e 2Kb.

Exper. Nº	ANTES DO ENSAIO			DEPOIS DO ENSAIO							
	mg Gel	µ atomo g Solução		mg	Mineral			Filtrado			Kd
		K	Rb		µ atomo g		Rb/K	µ atomo g		Rb/K	
					K	Rb		K	Rb		
11	60,50	158,72	3,26 10 <sup>-3</sup>	54,60	236,28	1,181 10 <sup>-3</sup>	5,00 10 <sup>-6</sup>	160,50	3,852 10 <sup>-4</sup>	2,40 10 <sup>-6</sup>	2,08
18	59,00	145,02	2,32 10 <sup>-2</sup>	40,70	232,26	6,48 10 <sup>-3</sup>	2,79 10 <sup>-5</sup>	102,01	1,75 10 <sup>-3</sup>	1,72 10 <sup>-5</sup>	1,62
12	60,40	185,03	0,1512	53,60	250,22	4,05 10 <sup>-2</sup>	1,62 10 <sup>-4</sup>	163,31	1,184 10 <sup>-2</sup>	7,25 10 <sup>-5</sup>	2,23
16	61,20	178,04	2,34	49,30	137,64	1,192	8,66 10 <sup>-3</sup>	154,20	0,903	5,85 10 <sup>-3</sup>	1,48
13	62,10	190,00	7,38	50,40	190,26	4,064	2,136 10 <sup>-2</sup>	145,30	1,978	1,36 10 <sup>-2</sup>	1,57

evidenciam os resultados analíticos e os coeficientes de partição dos elementos em cada experiência de cada série.

Os pontos experimentais, dentro de um limite de concentração, alinham-se segundo retas de inclinação 45°, após o que os pontos podem sofrer desvios.

O trecho de reta representa coeficiente de partição constante, a P e T fixos, independente da variação da concentração dos elementos traços na solução e no cristal (ou fusão). Nessas condições, as soluções sólidas e as soluções hidrotermais diluídas são consideradas ideais, e a troca dos elementos entre as fases, atingiram o equilíbrio.

Os desvios da idealidade são refletidos pela mudança de alinhamento dos pontos, com inflexão para baixo ou para cima do trecho de reta (Moreira, 1988).

Na Figura 1, constatou-se idealidade da leucita nas duas temperaturas através de curvas dos experimentos. A distribuição do rubídio permaneceu constante ( $Kd^{1030^{\circ}C} = 1,3$ ) sem nenhum desvio entre as relações  $(Rb/K)_{min}$  de  $8,49 \cdot 10^{-6}$  até  $4,65 \cdot 10^{-2}$ , correspondendo à concentração de 3 a 18.200 ppm. Na leucita, a 930°C, o coeficiente de partição passou a 1,8 e permaneceu cons-

tante no intervalo de idealidade  $(Rb/K)_{min} = 5 \cdot 10^{-6}$  até  $2,14 \cdot 10^{-2}$ , cuja concentração de Rb em ppm variou de 2 a 8.500.

Na Figura 2, observa-se as curvas de equilíbrio da distribuição de Rb e K entre sanidina cristalizada ou fundida e solução hidrotermal. O coeficiente de partição (0,47) da sanidina cristalizada permaneceu constante até a concentração de 4900 ppm de Rb, no intervalo da relação  $(Rb/K)_{min}$  de  $2,78 \cdot 10^{-6}$  a  $1,6 \cdot 10^{-2}$ . A partir daí, a curva de equilíbrio forma inflexão positiva, constatada pelo aumento do coeficiente de partição (0,80) na concentração de 35000 ppm de Rb no mineral cristalizado, isso mostra a tendência do íon Rb substituir o íon K no mineral, a medida que aumenta a concentração.

O  $Kd = 0,55$  de Rb/K entre sanidina fundida e solução hidrotermal foi estabelecido entre as relações  $(Rb/K)$  de  $7,51 \cdot 10^{-7}$  até  $5,50 \cdot 10^{-4}$ , cujas concentrações de Rb na fusão variam de 0,20 até 150 ppm.

## CONCLUSÕES

Nas condições experimentais, observou-se:

Tabela 3 – Dados experimentais dos equilíbrios de troca entre soluções sólidas de sanidina (K,Rb)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> e fluidos hidrotermais (KCl-RbCl-H<sub>2</sub>O) a 930°C e 2Kbar.

Exper. Nº	ANTES DO ENSAIO			DEPOIS DO ENSAIO							
	mg Gel	µ atomo g Solução		mg	Mineral			Filtrado			Kd
		K	Rb		µ atomo g		Rb/K	µ atomo g		Rb/K	
					K	Rb		K	Rb		
1	69,40	222,91	2,01 10 <sup>-3</sup>	59,40	213,48	5,93 10 <sup>-4</sup>	2,78 10 <sup>-6</sup>	215,09	1,21 10 <sup>-3</sup>	5,64 10 <sup>-6</sup>	0,49
7	67,30	214,14	2,44 10 <sup>-3</sup>	62,80	225,70	8,08 10 <sup>-4</sup>	3,58 10 <sup>-6</sup>	159,64	1,36 10 <sup>-3</sup>	8,55 10 <sup>-6</sup>	0,42
4	72,60	229,41	3,67 10 <sup>-2</sup>	62,20	223,46	1,28 10 <sup>-2</sup>	5,74 10 <sup>-5</sup>	231,20	2,84 10 <sup>-2</sup>	1,23 10 <sup>-4</sup>	0,47
3	70,50	222,26	0,1996	47,50	170,68	4,98 10 <sup>-2</sup>	2,92 10 <sup>-4</sup>	217,14	0,137	6,33 10 <sup>-4</sup>	0,46
8	67,40	209,26	0,86	56,10	201,62	0,260	1,29 10 <sup>-3</sup>	220,84	0,619	2,80 10 <sup>-3</sup>	0,46
6	81,80	151,43	7,052	68,40	245,69	2,97	1,21 10 <sup>-2</sup>	159,59	4,23	2,65 10 <sup>-2</sup>	0,46
9	69,00	213,81	11,99	65,00	233,60	4,51	1,93 10 <sup>-2</sup>	171,61	6,69	3,90 10 <sup>-2</sup>	0,49
2	71,50	232,00	58,35	56,80	203,34	22,89	0,113	200,22	28,18	1,41 10 <sup>-1</sup>	0,80

a) Ligeira preferência do rubídio pela leucita em detrimento da solução hidrotermal (Kd = 1,80 a 930°C-2Kb e Kd = 1030°C-2Kb), preferência que diminui com o aumento da temperatura.

b) Maior afinidade do rubídio pela solução hidrotermal que pela sanidina cristalizada, evidenciada pelo coeficiente de partição Kd = 0,47 (930°C/2Kb).

c) Coeficiente de partição (Kd) ligeiramente superior na sanidina fundida quando comparada com a sanidina cristalizada (Kd = 0,55 a 1030°C/2Kb), evidenciando a preferência desse elemento também pela solução hidrotermal.

d) Para soluções hidrotermais equivalentes, a 930°C e 2Kb, o rubídio concentra-

se quatro vezes mais na leucita que na sanidina. Lagache, 1968, em experimentos a 600°C e 1 Kbar, constatou valores oito vezes maior na distribuição do Rb entre leucita e sanidina. Esses dados confirmam a hipótese da estrutura da leucita se tornar mais fechada para substituição do K pelo Rb, com o aumento da temperatura.

e) Ainda para soluções hidrotermais equivalentes, o rubídio concentra-se 2,4 vezes mais na leucita que numa fusão sílico sanidílica (1030°C e 2Kb).

f) Se os valores de Kd<sub>San-SH</sub> 0,47, obtido a 930°C, e de Kd<sub>fusão-SH</sub> = 0,55, obtido a 1030°C, forem extrapolados para a temperatura provável de equilíbrio entre sanidina cristalizada e fusão-sílico-sanidí-

Tabela 4 – Dados de experiências de troca Rb-K entre fusões sílico-sanidínicas 0,93 (K,Rb)AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - 0,07 SiO<sub>2</sub> e fluidos hidrotermais (KCl-RbCl-H<sub>2</sub>O) a 1030°C e 2Kbar.

Exper. Nº	ANTES DO ENSAIO			DEPOIS DO ENSAIO							
	mg Gel	µ atomo g Solução		mg	Mineral			Filtrado			Kd
		K	Rb		µ atomo g		Rb/K	µ atomo g		Rb/K	
					K	Rb		K	Rb		
612	65,20	184,24	1,90 10 <sup>-3</sup>	61,50	205,50	1,54 10 <sup>-4</sup>	7,51 10 <sup>-7</sup>	166,24	1,77 10 <sup>-4</sup>	1,062 10 <sup>-6</sup>	0,71
610	65,30	263,20	1,58 10 <sup>-2</sup>	195,14	4,64	2,38 10 <sup>-3</sup>	214,07 10 <sup>-5</sup>	9,16	4,28 10 <sup>-3</sup>	0,55 10 <sup>-5</sup>	
607	71,30	202,76	0,204	60,70	202,83	6,998 10 <sup>-2</sup>	3,45 10 <sup>-4</sup>	127,88	0,114	8,89 10 <sup>-4</sup>	0,39
611	72,20	208,61	0,32	57,60	197,47	0,106	5,50 10 <sup>-4</sup>	171,36	0,176	1,03 10 <sup>-3</sup>	0,53

nica (980°C), obtém-se o valor de  $Kd_{\text{San-fusão}} = 0,85$  indicando que, a medida que a sanidina cristaliza de tal fusão, o Rb tem ligeira preferência pela fase fundida.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à CAPES cujos auxílios

permitiram o estágio de um dos autores (A.H.P.M.) no CRSCM-CNRS de Orléans, França e bolsa de demanda social para doutoramento no IGc/USP; ao Departamento de Química Analítica do IQ da UFF por ter permitido esses afastamentos; ao CNPq por bolsa de pesquisa a um dos autores (J.V.V.); e, à FAPESP por auxílio a pós-doutoramento em Orléans (J.V.V.) e da vinda de professor visitante (FD) no IGc/USP.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESWICK, A.E. (1973) An experimental study of alkali metal distributions in feldspars and micas. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **37**: 183-208.
- CARRON, J.P.B., LAGACHE, M. (1980) Étude expérimentale du fractionnement des éléments Rb, Cs, Sr et Ba entre feldspaths alcalins, solutions hydrothermales et liquides silicatés dans le système Q.Ab.Or.H<sub>2</sub>O à 2Kbar entre 700 et 800°C. *Bull-minéral*, **103**: 571-578.
- CULLERS, R.L., MEDARIS, L.G., HASKIN, L.A. (1970) Gadolinium distribution between aqueous and silicate phases. *Science*, **169**: 580-583.
- CULLERS, R.L., MEDARIS, L.G., HASKIN, I.A. (1973) Experimental studies of the distribution of rare earths as trace elements among silicate minerals and liquids and water. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **37**: 1499-1512.
- DEBRON, G. (1965) Contribution à l'étude des réactions d'échange des ions alcalins et alcalino-terreux dans les feldspathoïdes. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, **88**: 69-96.
- DELBOVE, F. (1978) Étude expérimentale de la distribution des alcalins K, Rb, Cs et des alcalino-terreux Ca, Sr, Ba entre albite cristallisée et fondue et solution hydrothermale. *Bull. Minérol.*, **101**: 317-333.
- EUGSTER, H.P. (1955) The cesium-potassium equilibrium in the system sanidine-water. *Carnegie Inst. Wash. Yearb.*, **54**: 112-113.



- GHELIS, M. et LAGACHE, M. (1972) Étude de l'équilibre entre les solutions hydrothermales et les feldspaths de la série  $KAlSi_3O_8$  à 600°C, sous une pression on 1000 bars. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, **95**: 157-158.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1937) *Geochemistry*. *Journ. Chem.*, p. 655.
- IYAMA, J.T. (1974a) Behaviour of trace elements in feldspars under hydrothermal conditions. The feldspars (W.S. Mackenzie & J. Zussman, editors), Manchester Univ. Press, 552-573.
- IYAMA, J.T. (1974b) Substitution, déformation locale de la maille et équilibre de distribution des éléments en traces entre silicates et solution hydrothermale. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, **97**: 143-51.
- LAGACHE, M. (1968) Étude expérimentale de la répartition des éléments traces entre la leucite, l'orthose et des solutions hydrothermales. Le rubidium à 600°C. *Compt. Rend. Acad. Sci., Paris* **267**: 141-4.
- LAGACHE, M. (1974a) Calcul des propriétés thermodynamiques des solutions ternaires leucite par le modèle Kohler. Application expérimentale dans le cas ou l'un des composants est à l'état des traces. *Comp. Rend. Acad. Paris*, **278**: 2497-2500.
- LAGACHE, M. (1974b) Utilisation du modèle de F. Kohler pour le calcul de la distribution d'un élément en trace entre une solution solide binaire et une solution hydrothermale. Application à quelques tectosilicates. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.*, **97**: 117-21.
- LAGACHE, M. (1984) The exchange equilibrium distribution of alkali and alkaline-earth elements between feldspars and hydrothermal solutions. In: *Feldspars and Feldspathoids*, Nato A.S. Series, William L. Brown.
- LAGACHE, M. & SABATIER, G. (1973) Distribution des éléments Na, K, Rb et Cs à l'état de trace entre feldspaths alcalins et solutions hydrothermales à 650°C, 1Kbar: données expérimentales et interprétation thermodynamique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **37**: 2617-40.
- MOREIRA, A.H.P. (1988) Síntese de leucita, sanidina e vidro sanidínico a 930-1030°C e 2Kb: coeficientes de partição de Rb, Ca, Sr e Ba entre essas fases e solução hidrotermal de KCl. Aplicações geológicas. Tese de doutoramento, USP. Resumo em *Rev. Bras. Geoc.*, **19**(1): 116, 1989.
- MOREIRA, A.H.P., DELBOVE, F. e VALARELLI, J.V. (1989a) Partição do Sr entre fluido hidrotermal ( $H_2O-HCl-SrCl_2$ ) e leucita, sanidina e fusão sanidínica a 2Kb e altas temperaturas. *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **61**(3): 275-284.
- MOREIRA, A.H.P., DELBOVE, F. e VALARELLI, J.V. (1989b) Sínteses de leucita, sanidina e fusão sílico-sanidínica para determinação dos coeficientes de partição do Ba, entre essas fases e fluido hidrotermal a altas temperaturas e 2Kb. *Rev. Bras. Geoc.*, **19**(4): 436-439.
- MOREIRA, A.H.P., VALARELLI, J.V. e DELBOVE, F. (1990a) Distribuição de Ca, Ba, Sr e Rb entre leucita e "magma" sanidínico a 2Kb e 1030°C. *Rev. Bras. Geoc.*, **20**(1).
- MOREIRA, A.H.P., DELBOVE, F. e VALARELLI, J.V. (1990b) Coeficiente de partição de Ca entre leucita, sanidina, fusão sílico-sanidínica e solução hidrotermal a 2Kb e altas temperaturas (930 a 1030°C). *Bol. IG/USP, Série Científica*, **21**: 1-12.
- ORVILLE, P.M. (1963) Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases. *Amer. J. Sci.*, **261**: 201-237.
- ROUX, J., VOLFINGER, M., LAGACHE, M., IYAMA, J.T., SABATIER, G., WYART, J. (1971) Ideal solid solution formation by substitution of and alkali earth elements in silicates. *Miner. Soc. Japan Special Papers*, **1**, 214-21.
- VOLFINGER, M. (1976) Effet de la température sur les distributions de Na, Rb et Cs entre la sanidine, la muscovite, la phlogopite et une solution hydrothermale sous une pression de 1Kb. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**: 267-282.
- VOLFINGER, M. & ROBERT, J.L. (1980) Structural control of the distribution of trace elements between silicates and hydrothermal solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**: 1455-1461.
- WYARD, J. & SABATIER, G. (1971) Distribution du rubidium à l'état de trace entre une solution hydrothermale et l'albite fondue ou cristallisée. *C.R.A.C. Sci. Paris*, **272**: 2745-2748.
- ZIELINSKY, R.A. & FREY, F.A. (1974) An experimental study of the partitioning of a rare earth elements (Gd) in the system diopside-aqueous vapor. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**: 545-565.