

# Estudo das condições de formação de complexos e da precipitação do hidróxido de berílio

José Farias de Oliveira \*

Mohamed Mandouh A. El-Naggar \*\*

1. INTRODUÇÃO
2. FORMAÇÃO DE COMPLEXOS POLINUCLEARES DE BERÍLIO
3. PRECIPITAÇÃO DO HIDRÓXIDO DE BERÍLIO
4. CONCLUSÕES
5. BIBLIOGRAFIA

\* Técnico do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

\*\* Técnico do Depto. de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ



## Resumo

A produção de berílio metálico, óxido de berílio ou liga berílio-cobre que são os três produtos básicos de utilização industrial, passa pela etapa de precipitação do hidróxido de berílio, nos processos atualmente em utilização. No entanto, vários hidroxí-complexos podem estar presentes, tais como  $\text{Be}(\text{OH})_2 \text{ aq.}$ ,  $\text{Be}_2\text{OH}^{+++}$ ,  $\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++}$  além de  $\text{Be}^{++}$  dependendo das condições do sistema. A identificação dos complexos polinucleares  $\text{Be}_2\text{OH}^{+++}$  e  $\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++}$  é um dado

## 1. Introdução

Os concentrados de berílio produzidos no país, contendo cerca de 10% de óxido de berílio, são exportados em sua totalidade (1). O Brasil possui as maiores reservas de berílio do mundo e sua ocorrência normalmente está associada a rochas pegmatíticas.

O tratamento subsequente dos concentrados segue, em geral, duas rotas alternativas (2). Podem ser tratados pelo chamado processo fluorídrico, envolvendo sinterização após mistura com fluoreto férrico de sódio, lixiviação e precipitação do hidróxido de berílio. Alternativamente, podem ser tratados por processo que envolve as etapas de fusão a 1625°C, lixiviação com ácido sulfúrico, purificação, e precipitação do hidróxido de berílio.

Dadas as características especiais do berílio (2), sua aplicação na indústria aeroespacial, na engenharia nuclear e na indústria elétrica e eletrônica o tem tornado um metal estrategicamente importante.

No entanto, vapores e poeira de berílio são causadores de doença séria nos pulmões (beriliose), e ainda existem fortes indicações de serem também produtos carcinogênicos (2). Desta forma, pesquisas e tentativas de industrialização devem ser envolvidas de cuidados especiais, partindo-se de todas as informações já disponíveis, tanto no que diz respeito à tecnologia envolvida

importante para o estudo de equilíbrio. Com base em valores das constantes de equilíbrio tabeladas, foi efetuado um estudo que permitiu determinar a percentagem de berílio presente sob a forma dos diversos íons complexos para três valores de concentração analítica em função do pH. Na resolução da equação decorrente das quatro reações químicas envolvidas foi utilizado um programa de computação, que permitiu o levantamento dos diagramas de distribuição dos diversos íons presentes, além dos valores limite de pH para precipitação do hidróxido de berílio.

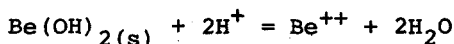
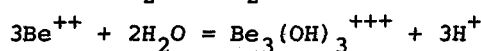
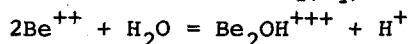
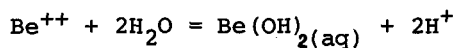
como no que tange aos pré-requisitos de controle do processo.

No presente trabalho, são apresentados os resultados de tratamento de dados referentes às condições de equilíbrio das diversas espécies iônicas em solução.

## 2. Formação de complexos polinucleares de berílio

A hidrólise da maioria dos metais de transição caracteriza-se pela formação de espécies polinucleares, onde vários átomos do metal estão presentes na estrutura do íon complexo (3).

No caso do berílio, as espécies  $\text{Be}_2\text{OH}^{+++}$  e  $\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++}$  foram identificadas por Sillen<sup>4</sup> e as reações de equilíbrio são dadas por:



correspondendo às equações de equilíbrio:

$$[\text{Be}(\text{OH})_2(\text{aq})][\text{H}^+]^2 = K_1 \cdot [\text{Be}^{++}] \quad (1)$$

$$[\text{Be}_2\text{OH}^{+++}][\text{H}^+] = K_2 \cdot [\text{Be}^{++}]^2 \quad (2)$$

$$[\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++}] [\text{H}^+]^3 = K_3 \cdot [\text{Be}^{++}]^3 \quad (3)$$

$$[\text{Be}^{++}] = K_s \cdot [\text{H}^+]^2 \quad (4)$$

onde os valores das constantes de equilíbrio são:

$$K_1 = 1,25 \times 10^{-11}$$

$$K_2 = 5,75 \times 10^{-4}$$

$$K_3 = 2,18 \times 10^{-9}$$

$$K_s = 6,3 \times 10^6$$

Através do balanço de massa do berílio, tem-se que:

$$C = [\text{Be}^{++}] + [\text{Be}(\text{OH})_2] + 2 [\text{Be}_2\text{OH}^{+++}] + 3\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++} \quad (5)$$

$$\text{De (1), tem-se: } \text{Be}(\text{OH})_2 = \frac{K_1 [\text{Be}^{++}]}{[\text{H}^+]^2}$$

$$\text{De (2): } \text{Be}_2\text{OH}^{+++} = \frac{K_2 [\text{Be}^{++}]^2}{[\text{H}^+]}$$

$$\text{De (3): } \text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++} = \frac{K_3 [\text{Be}^{++}]^3}{[\text{H}^+]^3}$$

e portanto:

$$C = [\text{Be}^{++}] + \frac{K_1 [\text{Be}^{++}]}{[\text{H}^+]^2} + \frac{2K_2 [\text{Be}^{++}]^2}{[\text{H}^+]} + \frac{3K_3 [\text{Be}^{++}]^3}{[\text{H}^+]^3}$$

ou ainda:

$$\frac{3K_3 [\text{Be}^{++}]^3}{[\text{H}^+]^3} + \frac{2K_2}{[\text{H}^+]} [\text{Be}^{++}]^2 + \left[ \frac{K_1}{[\text{H}^+]^2} + 1 \right] [\text{Be}^{++}] - C = 0$$

e finalmente:

$$[\text{Be}^{++}]^3 + \frac{2K_2 [\text{H}^+]^2}{3K_3} [\text{Be}^{++}]^2 + \frac{[\text{H}^+]^3 \left[ \frac{K_1}{[\text{H}^+]^2} + 1 \right]}{3K_3} [\text{Be}^{++}] - \frac{C [\text{H}^+]^3}{3K_3} = 0 \quad (6)$$

A resolução da equação acima foi efetuada com auxílio de um programa de computação, através do qual, para cada par de valores de  $[\text{H}^+]$  e C, eram calculados os coeficientes:

$$\text{coef. 2} = \frac{2K_2 [\text{H}^+]^2}{2K_3}$$

$$\text{coef. 1} = \frac{[\text{H}^+]^3}{3K_3} \left[ \frac{K_1}{[\text{H}^+]^2} + 1 \right], e$$

$$\text{coef. 0} = \frac{C [\text{H}^+]^3}{3K_3}$$

e em seguida calculados os valores de concentração molar e percentuais das espécies  $\text{Be}^{++}$ ,  $\text{Be}_2\text{OH}^{+++}$ ,  $\text{Be}_3(\text{OH})_3^{+++}$  e  $\text{Be}(\text{OH})_2(\text{aq})$ .

### 3. Precipitação do hidróxido de berílio

A possibilidade de precipitação de  $\text{Be}(\text{OH})_2$  é dada pela equação de solubilidade (4)

$$[\text{Be}^{++}] = K_s [\text{H}^+]^2$$

Substituindo-se este valor em (5), tem-se que:

$$C = K_s [\text{H}^+]^2 + \frac{K_1 K_s [\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+]^2} + \frac{2K_2 K_s^2 [\text{H}^+]^4}{[\text{H}^+]} + \frac{3K_3 K_s^3 [\text{H}^+]^6}{[\text{H}^+]^3}$$

ou seja:

$$C = K_s [\text{H}^+]^2 + K_1 K_s + (2K_2 K_s^2 + 3K_3 K_s^3) [\text{H}^+]^3 \quad (7)$$

que é a equação do limite de precipitação. Através desta equação foram calculados, em função do pH, os valores de C além dos quais começa a haver a precipitação do  $\text{Be}(\text{OH})_2$ .

Os cálculos estão sintetizados na Tabela I e estão apresentados graficamente na Figura 1.

Acima deste contorno,  $\text{Be}(\text{OH})_2$  precipita-se, a equação (6) não mais prevalece, e agora  $[\text{Be}^{++}]$  e  $[\text{H}^+]$  estão relacionados por (4). Na presença do precipitado, C não entra no cálculo e (4) pode ser relacionada com (1), (2) e (3), para obtenção das expressões para as concentrações das várias espécies, em função de  $[\text{H}^+]$ .

$$\text{Assim: } [\text{Be}^{++}] = K_s [\text{H}^+]^2 \quad (8)$$

$$\text{Be}(\text{OH})_2(\text{aq}) = \frac{K_1 K_s [\text{H}^+]^2}{[\text{H}^+]^2} = K_1 K_s \quad (9)$$

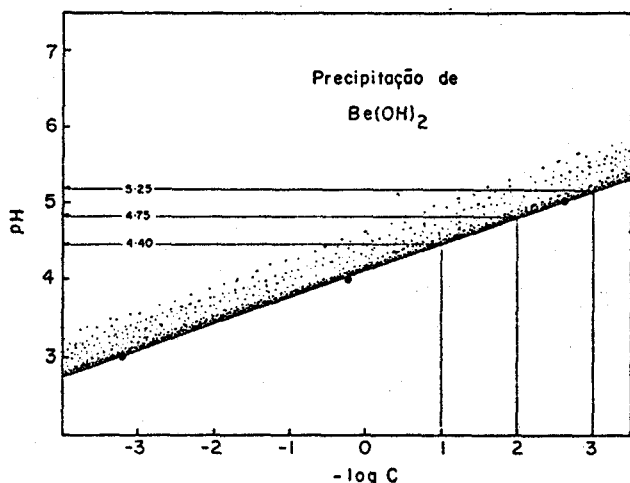
$$\text{Be}_2\text{OH}^{+++} = \frac{K_2 K_s^2 [\text{H}^+]^4}{[\text{H}^+]} = K_2 K_s^2 [\text{H}^+] \quad (10)$$

Tabela I - Cálculos para determinação de concentração limite de precipitação para diferentes valores de pH

pH	$[H^+]$	$[H^+]^2$	$[H^+]^3$	$K_s [H^+]^2$	$K_1 K_s$	$(2k_2 K_s^2 + 3K_3 K_s^3)$ (A)	$(A) \cdot [H^+]^3$	C Limite	$-\log C$
3	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	6,3	$7,875 \times 10^{-5}$	$1,680 \times 10^{12}$	$1,680 \times 10^3$	$1,68 \times 10^3$	-3,23
4	$10^{-4}$	$10^{-8}$	$10^{-12}$	$6,3 \times 10^{-2}$	$7,875 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{12}$	1,680	1,74	-0,24
5	$10^{-5}$	$10^{-10}$	$10^{-15}$	$6,3 \times 10^{-4}$	$7,875 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{12}$	$1,680 \times 10^{-3}$	$2,38 \times 10^{-3}$	2,62

Figura 1 - Diagrama de contorno da precipitação de  $Be(OH)_2$ .

$$Be_3(OH)_3^{+++} = \frac{K_3 K_s^3 [H^+]^6}{[H^+]^3} = K_3 K_s^3 [H^+]^3 \quad (11)$$



Os cálculos correspondentes estão apresentados na Tabela II. A partir do gráfico da Figura 1, foram determinados os valores de pH a partir dos quais inicia-se a precipitação de  $Be(OH)_2$  para as concentrações  $C = 10^{-1}$ ,  $C = 10^{-2}$  e  $C = 10^{-3}$ .

#### 4. Conclusões

O conjunto dos resultados obtidos foi utilizado na elaboração final dos diagramas de equilíbrio apresentados nas figuras 2, 3 e 4.

Tabela II - Cálculos da concentração das diversas espécies após o ponto de precipitação

C inicial	$[H^+]$	$Be^{++}$	$Be(OH)_2(aq)$	$Be_2(OH)^{+++}$	$Be_3(OH)_3^{+++}$	C final
		$K_s [H^+]^2$	$K_1 K_s$	$K_2 K_s^2 [H^+]^3$	$K_3 K_s^3 [H^+]^3$	
$10^{-1}$	$10^{-5}$	$6,3 \times 10^{-4}$ 0,63%	$7,8 \times 10^{-5}$ 0,07%	$2,3 \times 10^{-5}$ 0,04%	$5,4 \times 10^{-4}$ 1,62%	$2,37 \times 10^{-3}$ 2,37%
$10^{-2}$	$10^{-5}$	$6,3 \times 10^{-4}$ 6,3%	$7,8 \times 10^{-5}$ 0,7%	$2,3 \times 10^{-5}$ 0,4%	$5,4 \times 10^{-4}$ 16,20%	$2,37 \times 10^{-3}$ 23,7%
$10^{-2}$	$10^{-6}$	$6,3 \times 10^{-6}$ 0,06%	$7,8 \times 10^{-5}$ 0,78%	$2,2 \times 10^{-8}$ 0,00%	$5,4 \times 10^{-7}$ 0,05%	$8,5 \times 10^{-5}$ 0,85%
$10^{-3}$	$10^{-6}$	$6,3 \times 10^{-6}$ 0,63%	$7,8 \times 10^{-5}$ 7,80%	$2,2 \times 10^{-8}$ 0,00%	$5,4 \times 10^{-7}$ 0,05%	$8,5 \times 10^{-5}$ 8,5%
$10^{-3}$	$10^{-7}$	$6,3 \times 10^{-8}$ 0,00%	$7,8 \times 10^{-5}$ 7,8%	$2,2 \times 10^{-11}$ 0,00%	$5,4 \times 10^{-10}$ 0,00%	$7,8 \times 10^{-5}$ 7,8%

Figura 2 - Diagrama de distribuição do berílio nos diversos complexos em função do pH, para uma concentração analítica de  $C = 0.1$  molar.

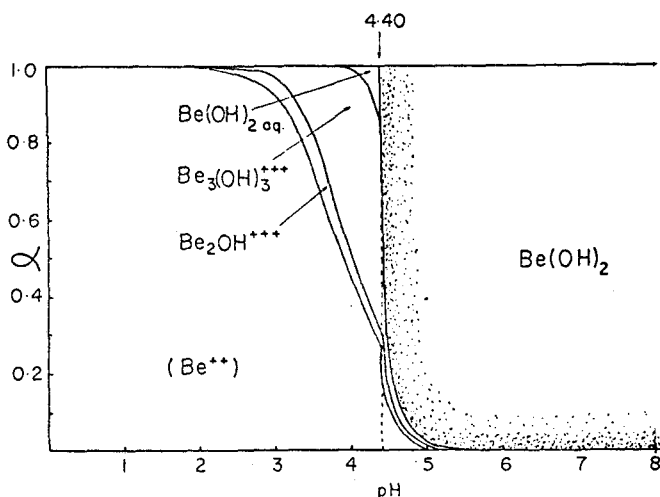


Figura 3 - Diagrama de distribuição do berílio nos diversos complexos em função do pH, para uma concentração analítica de  $C = 10^{-2}$  molar.

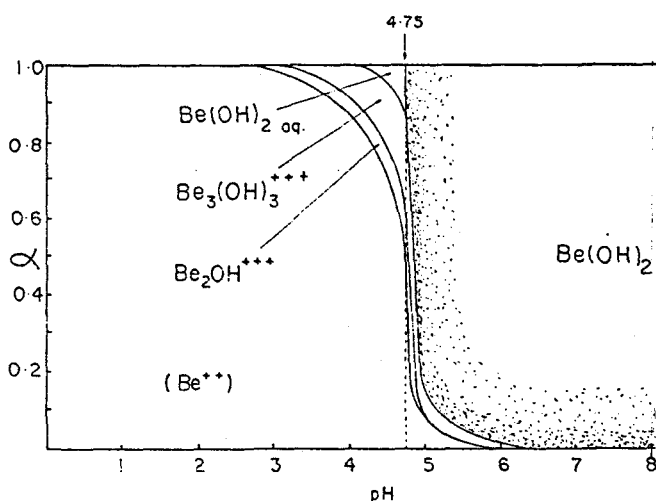
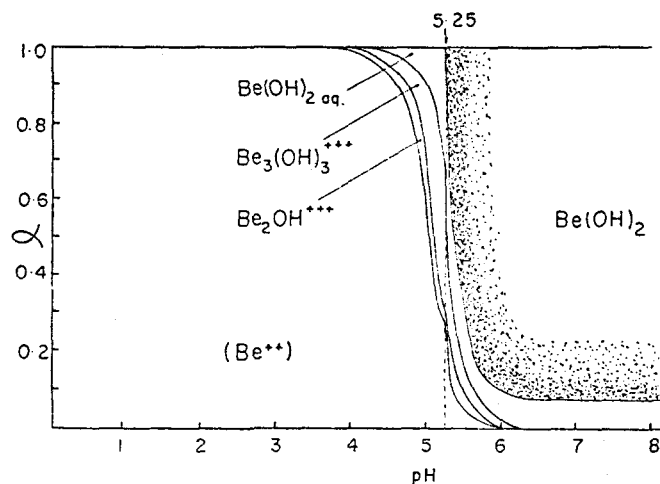


Figura 4 - Diagrama de distribuição do berílio nos diversos complexos em função do pH, para uma concentração analítica de  $C = 10^{-3}$  molar.



Para soluções não-saturadas, as curvas representam as equações (1), (2), (3) e (5), até se atingir o valor de pH limite para precipitação, definido a partir da Figura 1, onde sofre uma descontinuidade. A partir deste ponto, grande parte do berílio precipita-se, e a concentração residual das espécies é governada pelas equações (8), (9), (10) e (11).

É importante notar que, abaixo do ponto de saturação,  $Be^{++}$  é a espécie predominante em todas as concentrações. No entanto, a percentagem de  $Be(OH)_2(aq)$  aumenta, à medida que se tem maior diluição. Para  $C = 0,1$  M, o íon polinuclear  $Be_3(OH)_3^{+++}$  apresenta-se como a segunda espécie em termos quantitativos, diminuindo à medida que diminui a concentração da solução. Para  $C = 10^{-3}$ , a percentagem de  $Be(OH)_2(aq)$ , sendo quantificada acima do ponto de saturação por  $K_1K_s$ , permanece constante, assumindo, o seu valor, proporção significativa, à medida que decresce a concentração inicial.

## 5. Bibliografia

- (1) DIAS, J. Perfil analítico do berílio. s.l., Departamento Nacional da Produção Mineral, 1973. (Boletim n. 5).
- (2) PETKOF, B. Berillyum. Washington, Bureau of Mines, Aug. 1979. (Mineral Commodity Profiles).
- (3) BUTLER, J. N. Ionic equilibrium - A mathematical approach. Reading, Addison Wesley, 1971.
- (4) SILLEN, L. G. Quarterly Review, 13: 146, 1959. Apud: BUTLER, J.N. Ionic equilibrium.
- (5) ATKINSON, F. G. & McBRUDE, J. Graphical representation of hydrolysis of the ferric ion. Journal of Chemical Education, 38(3), Mar. 1961.
- (6) BASOLO, F. Mechanisms of substitution reaction of metal complexes. In: Survey of progress in chemistry. New York, Academic Press, 1964.
- (7) BUTLER, J. N. An approach to complex equilibrium problems. Journal of Chemical Education, 38(3), Mar. 1961.

Tabela III. Cálculo dos coeficientes efetuado por computação

## CONSTANTES E COEFICIENTES

C	(H+)	COEF2	COEF1	COEFO	C-LIMITE
0.100D 00	0.100D-01	0.176D 02	0.153D 03	-0.153D 02	0.168D 07
0.100D-01	0.100D-01	0.176D 02	0.153D 03	-0.153D 01	0.168D 07
0.100D-02	0.100D-01	0.176D 02	0.153D 03	-0.153D 00	0.168D 07
0.100D-03	0.100D-01	0.176D 02	0.153D 03	-0.153D-01	0.168D 07
0.100D 00	0.316D-02	0.176D 01	0.482D 01	-0.482D 00	0.531D 05
0.100D-01	0.316D-02	0.176D 01	0.482D 01	-0.482D-01	0.531D 05
0.100D-02	0.316D-02	0.176D 01	0.482D 01	-0.482D-02	0.531D 05
0.100D-03	0.316D-02	0.176D 01	0.482D 01	-0.482D-03	0.531D 05
0.100D 00	0.100D-02	0.176D 00	0.153D 00	-0.153D-01	0.169D 04
0.100D-01	0.100D-02	0.176D 00	0.153D 00	-0.153D-02	0.169D 04
0.100D-02	0.100D-02	0.176D 00	0.153D 00	-0.153D-03	0.169D 04
0.100D-03	0.100D-02	0.176D 00	0.153D 00	-0.153D-04	0.169D 04
0.100D 00	0.316D-03	0.176D-01	0.483D-02	-0.482D-03	0.537D 02
0.100D-01	0.316D-03	0.176D-01	0.483D-02	-0.482D-04	0.537D 02
0.100D-02	0.316D-03	0.176D-01	0.483D-02	-0.482D-05	0.537D 02
0.100D-03	0.316D-03	0.176D-01	0.483D-02	-0.482D-06	0.537D 02
0.100D 00	0.100D-03	0.176D-02	0.153D-03	-0.153D-04	0.174D 01
0.100D-01	0.100D-03	0.176D-02	0.153D-03	-0.153D-05	0.174D 01
0.100D-02	0.100D-03	0.176D-02	0.153D-03	-0.153D-06	0.174D 01
0.100D-03	0.100D-03	0.176D-02	0.153D-03	-0.153D-07	0.174D 01
0.100D 00	0.316D-04	0.176D-03	0.489D-05	-0.482D-06	0.594D-01
0.100D-01	0.316D-04	0.176D-03	0.489D-05	-0.482D-07	0.594D-01
0.100D-02	0.316D-04	0.176D-03	0.489D-05	-0.482D-08	0.594D-01
0.100D-03	0.316D-04	0.176D-03	0.489D-05	-0.482D-09	0.594D-01
0.100D 00	0.100D-04	0.176D-04	0.172D-06	-0.153D-06	0.239D-02
0.100D-01	0.100D-04	0.176D-04	0.172D-06	-0.153D-07	0.239D-02
0.100D-02	0.100D-04	0.176D-04	0.172D-06	-0.153D-08	0.239D-02
0.100D-03	0.100D-04	0.176D-04	0.172D-06	-0.153D-09	0.239D-02
0.100D 00	0.316D-05	0.176D-05	0.109D-07	-0.482D-07	0.195D-03
0.100D-01	0.316D-05	0.176D-05	0.109D-07	-0.482D-08	0.195D-03
0.100D-02	0.316D-05	0.176D-05	0.109D-07	-0.482D-09	0.195D-03
0.100D-03	0.316D-05	0.176D-05	0.109D-07	-0.482D-10	0.195D-03
0.100D-00	0.100D-05	0.176D-06	0.208D-08	-0.153D-10	0.874D-04
0.100D-01	0.100D-05	0.176D-06	0.208D-08	-0.153D-11	0.874D-04
0.100D-02	0.100D-05	0.176D-06	0.208D-08	-0.153D-12	0.874D-04
0.100D-03	0.100D-05	0.176D-06	0.208D-08	-0.153D-13	0.874D-04

Tabela IV. Percentagem dos diversos íons presentes, calculadas para pares de valores de C e H<sup>+</sup>.

## SOLUÇÃO ALGÉBRICA

	(BE ++)	(BE (OX)2)	(BE 2OH ++)	BE 3(OH)3 ++	T+X+2Y+3Z	PERCT	PERCX	PERCY	PERCZ
1	0.989D-01	0.125D-07	0.562D-03	0.211D-05	0.100D 00	99.43	0.00	0.57	0.00
1	0.999D-02	0.126D-08	0.574D-05	0.217D-08	0.100D-01	99.94	0.00	0.06	0.00
1	0.100D-02	0.126D-09	0.575D-07	0.218D-11	0.100D-02	99.99	0.00	0.01	0.00
1	0.100D-03	0.126D-10	0.575D-09	0.218D-14	0.100D-03	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0.964D-01	0.122D-06	0.169D-02	0.619D-04	0.100D 00	98.21	0.00	1.72	0.06
1	0.996D-02	0.126D-07	0.181D-04	0.683D-07	0.100D-01	99.82	0.00	0.18	0.00
1	0.100D-02	0.126D-08	0.182D-06	0.690D-10	0.100D-02	99.98	0.00	0.02	0.00
1	0.100D-03	0.126D-09	0.182D-08	0.691D-13	0.100D-03	100.00	0.00	0.00	0.00
1	0.870D-01	0.110D-05	0.435D-02	0.143D-02	0.100D 00	93.76	0.00	4.69	1.55
1	0.988D-02	0.125D-06	0.561D-04	0.210D-05	0.100D-01	99.41	0.00	0.56	0.02
1	0.999D-03	0.126D-07	0.574D-06	0.217D-08	0.100D-02	99.94	0.00	0.06	0.00
1	0.100D-03	0.126D-08	0.575D-08	0.218D-11	0.100D-03	99.99	0.00	0.01	0.00
1	0.548D-01	0.692D-05	0.547D-02	0.114D-01	0.100D 00	76.47	0.01	7.63	15.89
1	0.949D-02	0.120D-05	0.164D-03	0.591D-04	0.100D-01	97.69	0.01	1.69	0.01
1	0.996D-03	0.126D-06	0.181D-05	0.683D-07	0.100D-02	99.80	0.01	0.18	0.01
1	0.100D-03	0.126D-07	0.182D-07	0.690D-10	0.100D-03	99.97	0.01	0.02	0.00
1	0.222D-01	0.280D-04	0.285D-02	0.240D-01	0.100D 00	45.28	0.06	5.79	48.87
1	0.709D-02	0.893D-05	0.289D-03	0.776D-03	0.100D-01	86.85	0.11	3.54	9.51
1	0.981D-03	0.124D-05	0.554D-05	0.206D-05	0.100D-02	99.11	0.12	0.56	0.21
1	0.998D-04	0.126D-06	0.572D-07	0.216D-08	0.100D-03	99.81	0.13	0.06	0.00
1	0.758D-02	0.956D-04	0.105D-02	0.301D-01	0.100D 00	19.53	0.25	2.69	77.52
1	0.315D-02	0.397D-04	0.180D-03	0.215D-02	0.100D-01	57.02	0.72	3.26	36.99
1	0.841D-03	0.106D-04	0.129D-04	0.410D-04	0.100D-02	92.87	1.17	1.42	4.53
1	0.982D-04	0.124D-05	0.176D-06	0.654D-07	0.100D-03	98.52	1.24	0.18	0.07
1	0.245D-02	0.309D-03	0.346D-03	0.322D-01	0.100D 00	6.95	0.88	0.98	91.19
1	0.110D-02	0.138D-03	0.692D-04	0.288D-02	0.100D-01	26.24	3.31	1.65	68.80
1	0.425D-03	0.535D-04	0.104D-04	0.167D-03	0.100D-02	64.78	8.16	1.58	25.47
1	0.846D-04	0.107D-04	0.411D-06	0.132D-05	0.100D-03	87.23	10.99	0.42	1.36
1	0.779D-03	0.983D-03	0.110D-01	0.327D-03	0.100D 00	2.26	2.85	0.32	94.58
1	0.353D-03	0.446D-03	0.227D-04	0.305D-02	0.100D-01	9.12	11.51	0.59	78.77
1	0.147D-03	0.186D-03	0.394D-05	0.220D-03	0.100D-02	26.43	33.35	0.71	39.51
1	0.387D-04	0.488D-04	0.272D-06	0.400D-05	0.100D-03	42.16	53.19	0.30	4.36
1	0.245D-03	0.309D-02	0.346D-04	0.322D-01	0.100D 00	0.69	8.69	0.10	90.52
1	0.109D-03	0.138D-02	0.685D-05	0.283D-02	0.100D-01	2.52	31.79	0.16	65.52
1	0.408D-04	0.514D-03	0.956D-06	0.148D-03	0.100D-02	5.80	73.05	0.14	21.02
1	0.717D-05	0.904D-04	0.296D-04	0.804D-06	0.100D-03	7.29	91.86	0.03	0.82

- (8) SWINNERTON, J. W. & MILLER, W. W. Use of a digital computer for solving a complex chemical **equilibrium**. Journal of Chemical Education, 36 (10), Oct. 1959.
- (9) POKRAS, L. On the species present in aqueous solutions of "salts" of polyvalent metals. Journal of Chemical Education, 33(4), Apr. 1956.

#### Agradecimentos

A Wilson dos Anjos Teixeira pela elaboração do programa de computação em FORTRAN, utilizado no presente trabalho.