

# Eclética Química

*Print version* ISSN 0100-4670 *On-line version* ISSN 1678-4618

Eclet. Quím. vol.23 São Paulo 1998

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46701998000100007>

**Determinação da temperatura de solubilização da prata em ligas de Cu-Al-Ag por medidas de resistência elétrica**

Mário CILENSE\*

Marcos Antonio LOPES\*\*

Antonio Tallarico ADORNO\*

Carlos Roberto Sobreira BEATRICE\*

**RESUMO:** As temperaturas onde ocorre a solubilização da fase rica em prata, em ligas de Cu-Al-Ag, foram determinadas através de medidas de variação da resistência elétrica com a temperatura. As derivadas das curvas obtidas experimentalmente permitiram determinar com precisão essas temperaturas e também que se traçasse um esboço da região onde ocorre a transição monofásica para bifásica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resistência elétrica; ligas a base de cobre; adições de prata; solubilização.

## **Introdução**

As ligas de Cu-Al apresentam boa estabilidade química e, dependendo da concentração de alumínio, boas propriedades mecânicas. Segundo o diagrama de equilíbrio do sistema Cu-Al<sup>4</sup>, a solubilidade do Al no cobre é completa até em torno de 8% em peso, que corresponde à região de existência da fase  $\alpha$ . As ligas com composição nessa região são bastante dúcteis e apresentam estrutura semelhante à do cobre puro. Adições de pequenas quantidades de prata a essas ligas melhoram ainda mais algumas de suas propriedades, como dureza<sup>2</sup> e resistência à corrosão sob tensão,<sup>6</sup> sem modificar apreciavelmente sua plasticidade e usinabilidade. A adição de prata altera também o limite de estabilidade de algumas fases presentes na liga Cu-Al<sup>4,5</sup> e sua resistividade elétrica.<sup>1</sup>

Adorno et al.<sup>2</sup> observaram algumas modificações nas propriedades mecânicas da liga Cu-5,4%Al-

5,2%Ag em relação à liga Cu-Al e atribuíram essas modificações à presença de precipitados de prata.

Adorno et al.<sup>1</sup> estudaram a distribuição de precipitados de prata e a influência da composição na resistividade elétrica das ligas Cu-5,2%Al, Cu-5%Ag, Cu-4,3%Al-4,7%Ag e Cu-8,4%Al-5,3%Ag, usando microscopia eletrônica de varredura, análise por dispersão de raios X (EDX) e medidas de variação da resistividade elétrica com a temperatura de equilíbrio. Os autores observaram a ocorrência de pontos de inflexão nas curvas de variação da resistividade elétrica com a temperatura, para as ligas contendo prata e atribuíram a presença dessas inflexões à dissolução da prata.

Neste trabalho, foram determinadas as temperaturas onde ocorre a solubilização da fase rica em prata, em ligas de Cu-Al-Ag com concentração fixa de Al em torno de 5% em peso e concentração de prata variando de 1% a 7% em peso, através de medidas de variação da resistência elétrica com a temperatura de aquecimento e das derivadas das curvas obtidas.

## Material e métodos

Foram fundidas seis ligas em um forno de indução, sob atmosfera de argônio, usando-se cadinho de grafite e materiais com pureza em torno de 99,97%. Os tarugos obtidos, com 16 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento, foram desbastados em aproximadamente 1 mm e suas pontas foram cortadas, para eliminar as regiões com maior concentração de impurezas. Amostras das ligas foram submetidas a análise química por via úmida e os resultados dessa análise são mostrados na [Tabela I](#).

Tabela 1 - Composição química das ligas preparadas (% em peso)

ligas	cobre	alumínio	prata
1	94,06	4,95	1,00
2	92,02	4,80	2,18
3	91,48	5,12	3,40
4	90,94	5,11	3,95
5	89,18	5,10	5,72
6	88,19	4,91	6,90

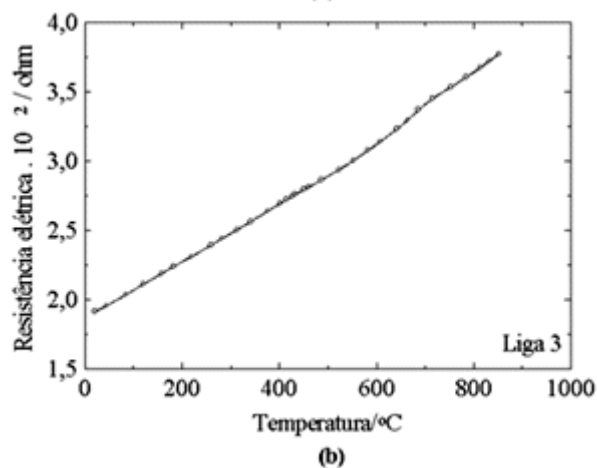
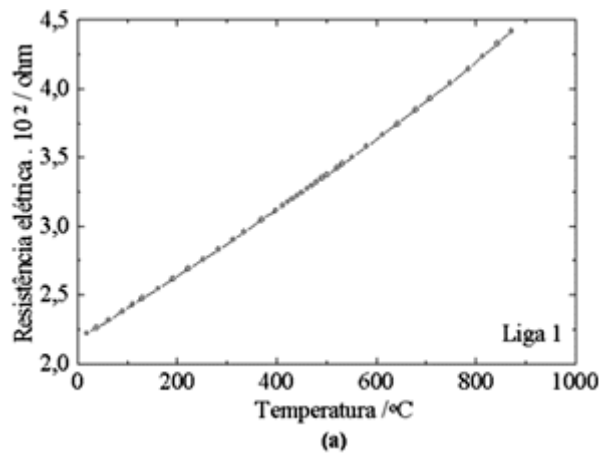
Os tarugos obtidos foram submetidos a um recozimento a 750° C durante 200 horas, para homogeneização. Em seguida, foram cortados no sentido longitudinal, as partes obtidas foram laminadas e dessas lâminas foram obtidos fios com diâmetro em torno de 0,4 mm e comprimento igual a 30 cm.

As medidas da resistência elétrica foram obtidas utilizando-se o método dos quatro pontos. A corrente passando na amostra era igual a 0,1 A, sendo monitorada por um circuito auxiliar com precisão em torno de 10<sup>-7</sup> A. A diferença de potencial nas extremidades da amostra foi medida utilizando-se um potenciômetro K3 Leeds & Northrup, com precisão em torno de 10<sup>-7</sup> V. Os fios das amostras foram enrolados em forma de hélice e soldados em um suporte, por meio de arco voltaico. As amostras assim montadas foram novamente submetidas a um tratamento térmico de recozimento a 750° C, durante duas horas, em atmosfera inerte. Os valores da resistência elétrica em função da temperatura de aquecimento correspondem à média de quatro medidas, obtidas com a

corrente circulando nos dois sentidos.

## Resultados e discussão

A [Figura 1](#) mostra os gráficos de variação da resistência elétrica com a temperatura, obtidos para as ligas 1 (1,00%Ag, [Figura 1-a](#)), 3 (3,40%Ag, [Figura 1-b](#)), 5 (5,72%Ag, [Figura 1-c](#)) e 6 (6,90%Ag, [Figura 1-d](#)). Nessa figura, pode-se observar uma pequena inflexão nas curvas obtidas para as ligas 3, 5, e 6. Essa inflexão é menos acentuada quanto menor o teor de prata, não sendo observada na curva correspondente à liga 1 e também não foi observada na curva correspondente à liga 2. A curva correspondente à liga 4 apresentou a inflexão. Esses resultados indicam que a presença dessa inflexão deve corresponder à solubilização da fase rica em prata, com as ligas passando da região bifásica para a região monofásica, o que concorda com os dados da literatura, obtidos por difração de raios X e microsonda de elétrons.<sup>3,5</sup>



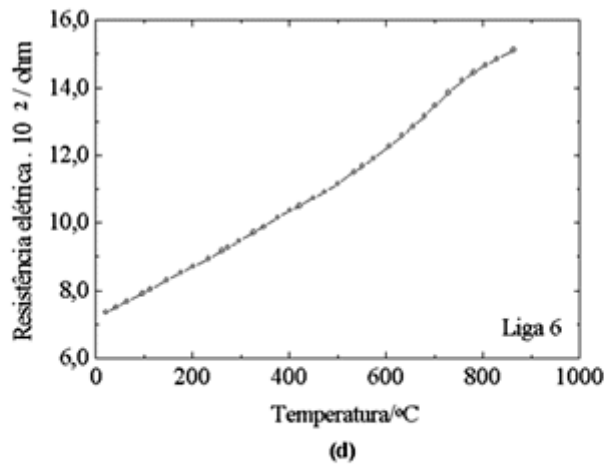
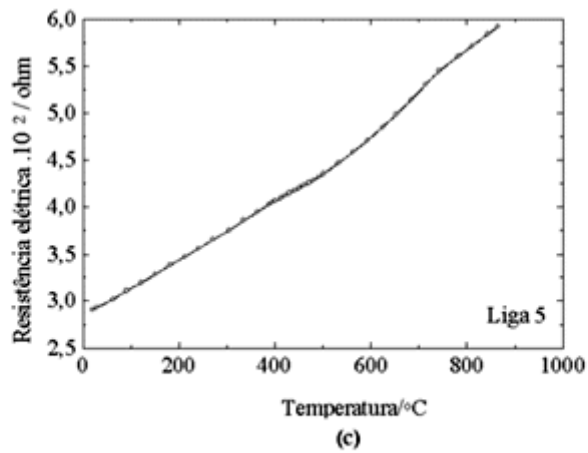


FIGURA 1 - Variação da resistência elétrica em função da temperatura de aquecimento:  
 (a) liga 1 (Cu-4,95%Al-1,00%Ag); (b) liga 3 (Cu-5,12%Al-3,40%Ag);  
 (c) liga 5 (Cu-5,10%Al-5,72%Ag); (d) liga 6 (Cu-4,91%Al-6,90%Ag).

Os gráficos da [Figura 1](#) não permitem que se determine a temperatura exata onde ocorre a solubilização em cada amostra, devido ao baixo teor de prata nas ligas. Para obter essas temperaturas, foram traçados os gráficos das derivadas das curvas de variação da resistência elétrica em função da temperatura, utilizando um programa computacional adequado. A [Figura 2](#) mostra os gráficos das derivadas das curvas de variação da resistência elétrica com a temperatura, para as ligas 3, 4, 5 e 6.

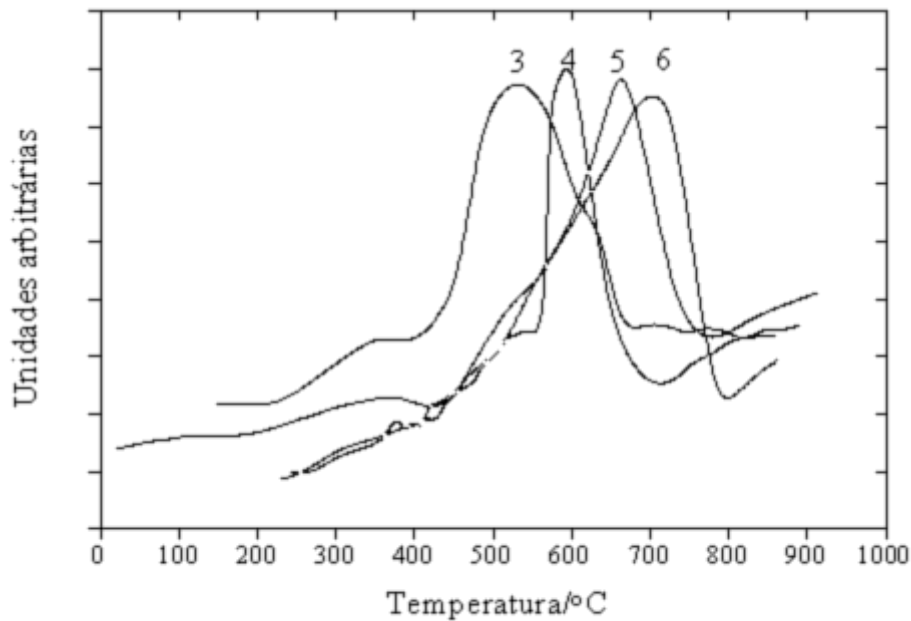


FIGURA 2 - Derivadas das curvas de variação da resistência elétrica em função da temperatura, nas quais foi observada a inflexão, traçadas em função da temperatura

A partir dos máximos observados na [Figura 2](#), é possível determinar as temperaturas exatas das inflexões das curvas da [Figura 1](#), que devem corresponder às temperaturas de solubilização da fase rica em prata, em cada uma das ligas estudadas. Os resultados assim obtidos estão mostrados na [Tabela II](#).

Tabela 2 - Temperaturas das inflexões observadas nas curvas de variação da resistividade elétrica com a temperatura

liga	Temp. inflexão/(°C)
1	-
2	-
3	530
4	590
5	660
6	700

Esses resultados indicam que, para ligas de Cu-5%Al contendo até 2%Ag, em peso, não está definida a temperatura de solubilização da fase rica em prata, de acordo com as medidas de variação de resistência elétrica. Nesse intervalo de concentrações, a prata deve estar totalmente dissolvida na matriz do cobre, sem a formação de uma fase rica em prata detectável por essa técnica.

A combinação dos resultados obtidos permitiu que se traçasse uma linha de separação entre as regiões monofásica (prata totalmente solubilizada na matriz do cobre) e bifásica (uma fase rica em cobre,  $a_1$  e outra fase rica em prata,  $a_2$ ). A [Figura 3](#) mostra essa combinação dos resultados, com a linha pontilhada indicando uma aproximação para concentrações de prata abaixo de 2%, em peso.

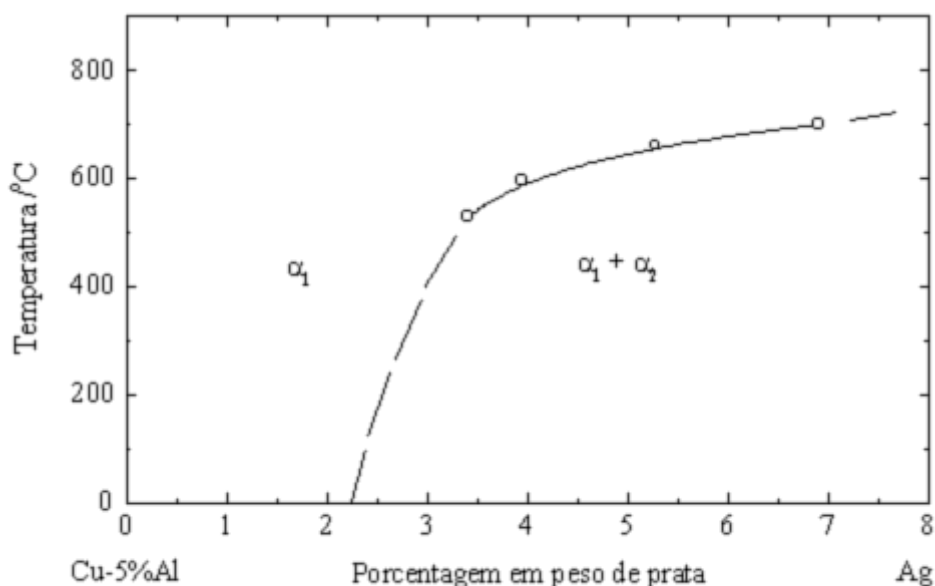


FIGURA 3 - Esboço da região de transição monofásica-bifásica

### Conclusões

Os resultados obtidos indicam que as medidas de variação da resistência elétrica com a temperatura permitem que sejam detectadas a presença da fase rica em prata e sua solubilização, em ligas de Cu-5%Al contendo de 2 a 7% de prata, em peso. Para adições de prata abaixo de 2% não é possível detectar a solubilização dessa fase, devido à dissolução da prata na matriz. É possível verificar também que, para adições de prata até 7% em peso, a prata adicionada está totalmente solubilizada acima de 700° C, o que concorda com resultados da literatura, obtidos por outras técnicas.<sup>3</sup>

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Fapesp e ao CNPq pelo auxílio recebido.

CILENSE, M. et al. Silver solubilization temperature determination in Cu-Al-Ag alloys by electrical resistance measurements. *Ecl. Quím. (São Paulo)*, v.23, p.81-89, 1998.

**ABSTRACT:** The silver-rich phase solubilization temperatures in Cu-Al-Ag alloys were obtained by electrical resistance measurements. The derivative of the experimental curves allowed the precise determination of these temperatures and also the sketch of the one phase-two phases transition region.

**KEYWORDS:** Electrical resistance; copper-based alloys; silver additions; solubilization

## Referências Bibliográficas

- 1 ADORNO, A. T.; BEATRICE, C. R. S.; BENEDETTI, A. V.; CABOT, P. L. Silver Dissolution on copper-based alloys. *J. Mat. Sci.*, v. 28, p. 411-14, 1993.
- 2 ADORNO, A. T.; CILENSE, M.; GÁRLIPP, W. Mechanical properties and precipitation energy of the Cu-Al-Ag (5.4%Al-5.2%Ag) alloy. *J. Mat. Sci. Lett.*, v. 6, p.163-4, 1987.
- 3 \_\_\_\_\_. Phase transformations in the copper-aluminium ternary system, near the copper-rich corner. *J. Mat. Sci. Lett.*, v. 8, p. 1294-97, 1989.
- 4 MASSALSKI, T. B, (Ed.) *Binary Alloy Phase Diagrams*. 2. ed. Ohio: American Society for Metals, 1992. v.1, p.141-3.
- 5 MASSALSKI, T. B.; PEREPEZKO, J. H. Constitution and phase relationships in copper-silver-aluminium ternary system. *Z. Metallkde.*, v. 64, n. 3, p. 176-81, 1963.
- 6 PANSERI, C.; LEONI, M. Il diagramma di stato ternario rame-alluminio-argento nella zona ad elevata percentuale di rame. *Alluminio*, v.30, n. 6, p.289-98, 1961.

Recebido em 8.1.1998.

Aceito em 4.3.1998.

\* Departamento de Físico-Química, Instituto de Química - UNESP - 14801-970 - Araraquara - SP.

\*\* Aluno de Pós-Graduação - Bolsista do CNPq - Departamento de Físico-Química - Instituto de Química - UNESP - 14800-900 - Araraquara - SP.