

# Toxicidade do chumbo e sua substituição em ligas estanho-chumbo

## Lead toxicity and its replacement in tin-lead alloys

Christiane Mázur Lauricella<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Engenharia da Universidade Paulista, São Paulo-SP, Brasil.

### Resumo

**Objetivo** – Neste trabalho, avaliam-se possíveis metais substitutos do chumbo em ligas Sn-Pb. Essa substituição é necessária pelos riscos de natureza ambiental e de saúde pública advindos da toxicidade do chumbo. **Método** – O método utilizado baseou-se na análise e no modelamento matemático do perfil da gota metálica obtido no ensaio da gota séssil. **Resultados e Conclusões** – São frequentes as propostas de substituição do chumbo em ligas metálicas, em função do seu potencial nocivo ao ambiente e à saúde pública, por prata, índio ou bismuto. No entanto, essas propostas podem não atender às propriedades físicas e químicas necessárias, comprometer a qualidade do produto final e apresentar elevado custo. A taxa de reciclagem pode ser fator decisivo no controle da relação entre as soldas com chumbo e as isentas de chumbo.

**Descritores:** Chumbo/toxicidade; Chumbo/efeitos adversos; Soldagem

### Abstract

**Objective** – In this paper, possible replacements for lead in Sn-Pb alloys are evaluated. This replacement is required due the environmental and public health risks arising from lead toxicity. **Method** – The used method was based on analysis and modeling the metal drop profile obtained on sessile droplet test. **Results and Conclusions** – There are frequent proposals for the replacement of lead alloys in metal alloys, according to his potential for harm to the environment and public health, for silver, indium or bismuth. However, these proposals may not meet the necessary physical and chemical properties, compromise the quality of the final product and present high cost. The rate of recycling can be a decisive factor in controlling the relationship with lead solder and lead free.

**Descriptors:** Lead/toxicity; Lead/adverse effects; Welding

### Introdução

A soldagem branda é um processo de junção de partes distintas de um material (metal de base) que utiliza, como preenchimento, um metal não ferroso (metal de adição). Nesse processo, não há fusão do metal de base.

O número de juntas metálicas e cerâmicas usadas por indústrias dos setores eletrônico, nuclear, aeronáutico, aeroespacial e automobilístico está em crescimento<sup>1-2</sup>, requisitando o desenvolvimento de novas ligas para soldagem branda que atendam à qualidade exigida para as aplicações técnicas, que não sejam tóxicas e que cumpram os limites estabelecidos nas legislações ambientais.

As ligas compostas por chumbo (Pb) e estanho (Sn) são as que apresentam os melhores desempenhos a menores custos<sup>3-6</sup>. Porém, são inadequadas dos pontos de vista ambiental e de saúde pública, em virtude da toxicidade do Pb.

A intoxicação pelo Pb pode ocorrer por exposição ocupacional, pela utilização de soldas e em atividades industriais, por ingestão, inalação ou contato. Níveis elevados de Pb são capazes de causar diversas moléstias, como saturnismo e danos nos sistemas cardiovascular, nervoso, reprodutivo, hematológico e renal.

Segundo Moreira e Moreira<sup>7</sup> (2004), o chumbo produz efeitos em muitos processos bioquímicos, incluindo a síntese da heme, o sistema hematopoético e a homeostase do cálcio. Os ossos são os maiores depósitos de chumbo do organismo. A encefalopatia é um dos desvios tóxicos mais sérios provocados pelo chumbo, levando a disfunções psicológicas e neurocomportamentais. A consequência do chumbo sobre o coração é indireta, pelo sistema nervoso autônomo e não diretamente sobre o miocárdio. O chumbo causa nefropatia com disfunção tubular renal reversível (crianças sob exposição aguda) e nefropatia intersticial irreversível (trabalhadores expostos ocupacionalmente). A gota saturnina resulta da diminuição da função tubular, pois o chumbo interfere na excreção dos sais de ácido úrico. Nos homens, os efeitos do chumbo no sistema reprodutivo limitam-se

à morfologia do esperma e à sua contagem. Nas mulheres, o chumbo pode causar danos fetais, pois atravessa a barreira placentária, aumentando o risco de nascimento prematuro e de peso e altura reduzidos ao nascer. Os efeitos gastrintestinais ocorrem em indivíduos ocupacionalmente expostos ou com exposição aguda a níveis elevados de chumbo, sendo que a cólica é uma manifestação precoce dessa intoxicação. A anemia apenas é evidente se os níveis de Pb-S mantiverem-se elevados por períodos prolongados.

Para a seleção de metais alternativos ao chumbo em ligas metálicas, é necessário o estudo de suas tensões superficiais.

### Molhamento

Quando se deposita um líquido (metal de adição) sobre um substrato sólido (metal de base) posicionado horizontalmente, observam-se três fases: a sólida (substrato), a líquida (metal de adição) e o fluxo gasoso, definindo-se as classes de energias de superfície<sup>8-12</sup> abaixo.

- $\gamma_{SL}$ : energia de superfície ou tensão superficial sólido/líquido.
- $\gamma_{LV}$ : energia de superfície ou tensão superficial líquido/vapor.
- $\gamma_{SV}$ : energia de superfície ou tensão superficial sólido/vapor.

O ângulo  $\zeta$  definido entre os tensores relacionados com as energias de superfície nas interfaces líquido/vapor e sólido/líquido é denominado ângulo de contato. No equilíbrio, vale a equação de Young<sup>13</sup> (1805):

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SV} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LV}} \quad (1)$$

Se  $\theta < 90^\circ$ , o líquido molha o substrato sólido, e se  $\theta > 90^\circ$ , o líquido não molha o substrato sólido, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

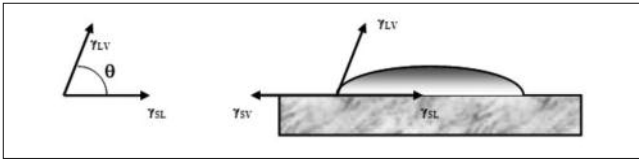


Figura 1. Líquido molhando o substrato sólido:  $\theta < 90^\circ$

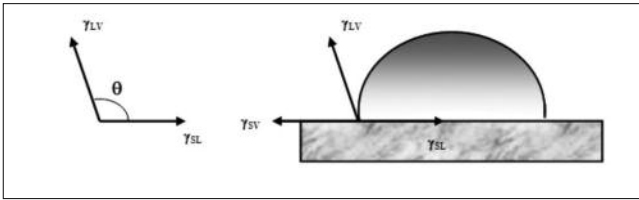


Figura 2. Líquido não molhando o substrato sólido:  $\theta > 90^\circ$

### Energia de superfície

A diferença de pressão  $\Delta P$  entre os lados interno e externo da interface entre os dois estados, em um ponto Q da superfície é

$$\Delta P = \gamma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \Delta \rho \cdot g \cdot z + \frac{2\gamma}{b} \quad (2)$$

Na expressão acima,  $\Delta \rho$  é a diferença de densidade entre o líquido que constitui a superfície e o meio externo,  $g$  é a aceleração da gravidade local,  $z$  é a altura do ponto Q e  $b$  é o raio de curvatura da interface correspondente à posição dada por  $x = 0$  e  $y = 0$ . Conclui-se que

$$\gamma = \gamma_{LV} = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot z}{\left( \frac{\frac{d^2 z}{dx^2}}{\left( 1 + \left( \frac{dz}{dx} \right)^2 \right)^{3/2}} + \frac{\frac{dz}{dx}}{x \left( 1 + \left( \frac{dz}{dx} \right)^2 \right)^{3/2}} - \frac{2}{b} \right)} \quad (3)$$

Na equação (3),  $\gamma_{LV}$  representa a tensão superficial líquido-vapor.

### Método

O método utilizado para se obter o perfil de uma gota de metal líquido depositada sobre um substrato sólido, controlando-se a temperatura e a atmosfera do meio, foi o ensaio da gota sés-sil<sup>14-25</sup>. Os resultados obtidos permitem que se calcule a tensão superficial ou energia livre de superfície na interface definida pelo líquido (metal de adição) e pelo vapor (atmosfera protetora), no caso de não molhamento.

Foram usadas placas de silício revestidas com nitreto de titânio (TiN) como substrato sólido, em virtude da sua uniformidade e do seu ótimo acabamento superficial. Esse revestimento forma vínculo metalúrgico com o substrato, não havendo produção de bolhas ou rugosidades. O TiN apresenta elevada inércia química, não é tóxico e é quimicamente resistente a ácidos, bases, solventes e meios cáusticos. A sua oxidação, quando da exposição ao ar, inicia-se a 600°C.

No caso em que o metal líquido não molha o substrato sólido, a determinação da tensão superficial na interface líquido-vapor foi executada da maneira descrita abaixo, com o auxílio do programa computacional MATLAB.

- Lançamento dos pares de coordenadas  $(x, z)$ , em centímetros, obtidos por um sistema de aquisição da imagem do perfil da gota, em planilha eletrônica.
- Traçado de curvas polinomiais  $z = z(x)$ , de graus pares devido à simetria, que se adaptem aos pontos experimentais nas proximidades do ápex da gota.
- Determinação da algébrica da função  $z = z(x)$ .

- Obtenção da derivada de primeira ordem da função  $z = z(x)$  no ponto  $O = (x_O, z_O) = (0,0)$  (ápex da gota), ou seja,  $z'(x_O) = \frac{dz}{dx} \Big|_{x_O}$ .

- Obtenção da derivada de segunda ordem da função  $z = z(x)$  no ponto  $O = (x_O, z_O) = (0,0)$  (ápex da gota), ou seja,  $z''(x_O) = \frac{d^2 z}{dx^2} \Big|_{x_O}$ .

- Obtenção da derivada de primeira ordem da função  $z = z(x)$  em um ponto  $Q = (x_Q, z_Q)$  do perfil da gota, ou seja,  $z'(x_Q) = \frac{dz}{dx} \Big|_{x_Q}$ .

- Obtenção da derivada de segunda ordem da função  $z = z(x)$  em um ponto  $Q = (x_Q, z_Q)$  do perfil da gota, ou seja,  $z''(x_Q) = \frac{d^2 z}{dx^2} \Big|_{x_Q}$ .

Determina-se o raio de curvatura do perfil da gota no ponto O, designado por  $b = R_O$ , pela equação

$$\frac{1}{b} = \frac{\frac{d^2 z}{dx^2} \Big|_{x_O}}{\left( 1 + \left( \frac{dz}{dx} \Big|_{x_O} \right)^2 \right)^{3/2}} \quad (4)$$

O primeiro raio de curvatura ( $R_1$ ) e o segundo raio de curvatura ( $R_2$ ) do perfil da gota no ponto Q são dados por

$$\frac{1}{R_1} = \frac{\frac{d^2 z}{dx^2} \Big|_{x_Q}}{\left( 1 + \left( \frac{dz}{dx} \Big|_{x_Q} \right)^2 \right)^{3/2}} \quad (5)$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{\frac{dz}{dx} \Big|_{x_Q}}{x \left( 1 + \left( \frac{dz}{dx} \Big|_{x_Q} \right)^2 \right)^{3/2}} \quad (6)$$

Com os resultados obtidos no equacionamento do perfil da gota, e conhecendo-se a densidade do metal de adição ( $\rho$ ), a aceleração da gravidade local ( $g$ ), a altura de um ponto da superfície da gota em relação a um plano de referência ( $z$ ) e as curvaturas da gota nos pontos O e Q ( $1/b$  e  $1/R_1$  e  $1/R_2$  respectivamente), é possível determinar a tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LV}$  pela equação

$$\gamma_{LV} = \frac{\rho \cdot g \cdot z}{\left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{2}{b} \right)} \quad (7)$$

A Figura 3 ilustra parâmetros relativos à equação 7.

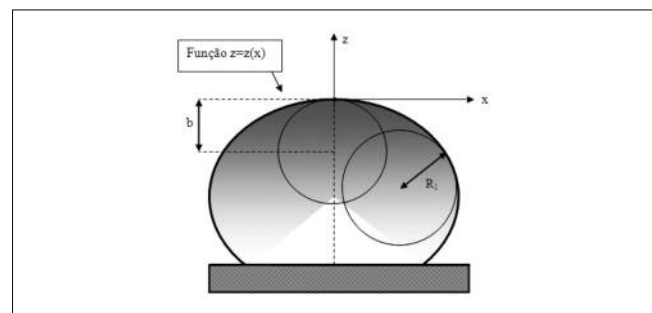


Figura 3. Parâmetros para a determinação da tensão superficial líquido-vapor

## Resultados

A análise do perfil da gota sésil permite o cálculo da tensão superficial líquido-vapor. O método utilizado consistiu em traçar curvas polinomiais  $z = z(x)$  de graus pares adaptadas aos pontos experimentais nas proximidades do ápex da gota. Calcularam-se as derivadas de primeira e de segunda ordens do perfil da gota em dois pontos da sua superfície,  $O = (x_O, z_O) = (0,0)$  e  $Q = (x_Q, z_Q)$ , resultando nos valores  $1/b$ ,  $1/R_1$  e  $1/R_2$ . Conhecendo-se a densidade do metal de adição ( $\rho$ ), a aceleração da gravidade local ( $g$ ), a altura do ponto Q em relação a um plano de referência ( $z$ ), determinou-se a tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LV}$  por

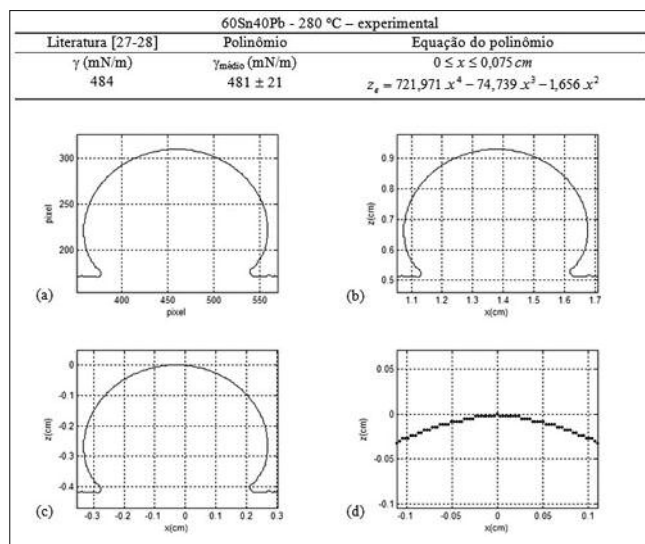
$$\gamma_{LV} = \frac{\rho \cdot g \cdot z}{\left( \frac{\frac{d^2z}{dx^2}\big|_{x_Q}}{\left(1 + \left(\frac{dz}{dx}\big|_{x_Q}\right)^2\right)^{3/2}} + \frac{\frac{dz}{dx}\big|_{x_Q}}{\left(1 + \left(\frac{dz}{dx}\big|_{x_Q}\right)^2\right)^{1/2}} - 2 \cdot \frac{\frac{d^2z}{dx^2}\big|_{x_O=0}}{\left(1 + \left(\frac{dz}{dx}\big|_{x_O=0}\right)^2\right)^{3/2}} \right)} \quad (8)$$

A aproximação do perfil da gota, nas vizinhanças do seu ápex, por uma função polinomial de quarto grau mostrou-se um meio eficiente para se calcular a tensão superficial líquido-vapor. Tal fato pode ser demonstrado a partir da verificação da solução da equação diferencial associada com o perfil da gota<sup>26</sup>:

$$\frac{d^2z}{dx^2} = (C_1 + C_2 \cdot z) \left[ 1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2 \right]^{3/2} - \frac{1}{x} \cdot \frac{dz}{dx} - \left(\frac{dz}{dx}\right)^3 \quad (9)$$

Na equação (9),  $C_1$  e  $C_2$  representam constantes que dependem do raio de curvatura principal do perfil da gota no seu ápex, da densidade do material, da aceleração da gravidade local, da altura da gota e da tensão superficial.

Na Figura 4 está descrita a função que traduz o perfil da gota nas proximidades do seu ápex, juntamente com os respectivos gráficos e os pontos experimentais, para o caso de uma liga 60Sn40Pb a 280°C. O valor da aceleração da gravidade local utilizado foi 980 cm/s<sup>2</sup>



**Figura 4.** Perfis experimentais, em pixel (a) e em cm (b), posicionamento do perfil da gota no sistema de coordenadas (c) e coordenadas experimentais utilizadas na determinação da função polinomial (d) para a liga 60Sn-40Pb depositada sobre nitreto de titânio, a 280°C

No Quadro 1, estão mostradas a tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LVp}$  “aproximada pelo polinômio”, a tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LV}$  dada pela literatura<sup>27-29</sup>, a dispersão da média e

a dispersão dos pontos do polinômio para os metais e ligas metálicas ensaiados<sup>30</sup>.

Material	Temperatura (°C)	$\gamma_{LVp}$ (mN/m)	$\gamma_{LV}$ (mN/M)	Dispersão da média (%)	Dispersão dos pontos do polinômio (%)
Sn	280	553±6	550	0,5	1,1
Sn	350	543±8	546	0,5	1,5
In	280	542±6	544	0,4	1,1
In	350	536±6	538	0,4	1,1
Bi	280	376±3	377	0,3	0,8
Bi	350	370±6	372	0,5	1,6
60Sn-40Pb	280	488±8	484	0,8	1,6
60Sn-40Pb	350	483±7	480	0,6	1,4
48Sn-52In	280	556±9	558	0,4	1,6
48Sn-52In	350	546±7	548	0,4	1,3
96,5Sn-3,5Ag	280	478±5	480	0,4	1,0
96,5Sn-3,5Ag	350	477±5	476	0,2	1,0
Sn-3,4Ag-4,8Bi	280	571±14	564	1,2	2,5
Sn-3,4Ag-4,8Bi	350	550±9	553	0,5	1,6
Sn-2,8Ag-20In	280	549±13	552	0,5	2,3
Sn-2,8Ag-20In	350	542±8	542	0,0	1,5

**Quadro 1.** Tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LVp}$  “aproximada pelo polinômio”, a tensão superficial líquido-vapor  $\gamma_{LV}$  dada pela literatura<sup>27-29</sup>, a dispersão da média e a dispersão dos pontos do polinômio

## Conclusões

A prata (Ag), o índio (In) e o bismuto (Bi) são elementos frequentemente adicionados ao estanho em ligas isentas de chumbo, em função dos valores de tensão superficial e de outras características físicas e químicas.

A prata aumenta a resistência mecânica e à oxidação<sup>31</sup>, porém reduz a ductilidade da solda e apresenta restrições em termos de custo (é cerca de 200 vezes mais cara que o chumbo) e do seu potencial de contaminação.

O índio reduz a temperatura de fusão e confere boa ductilidade à solda, mas, assim como a prata, é aproximadamente 200 vezes mais caro que o chumbo.

O bismuto melhora o molhamento e diminui o ponto de fusão, mas, em concentrações superiores a 8%, fragiliza a junta soldada e favorece a oxidação.

Há de se considerar a aparente redução na mineração de chumbo advinda da sua substituição nas ligas Sn/Pb, pois, metais substituídos como a Ag e o Bi, são minerados juntamente com o chumbo. A troca do Pb pela Ag, por exemplo, demandará maior mineração e recuperação dos resíduos de estanho. Como minérios, as concentrações do In e do Bi são baixas e eles são produzidos quase integralmente como subprodutos de outros minérios: o In é subproduto da mineração do zinco e o Bi da do chumbo<sup>32</sup>.

Na Europa e no Japão, a substituição do Pb em soldas vem ocorrendo desde 2004.

A União Européia aprovou as diretivas WEEE (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) e RoHS (*Restriction of Use of Certain Hazardous Substances*). A WEEE estabelece que fabricantes de produtos elétricos e eletrônicos os recolham e os reciclem, mas não elimina o risco ao meio ambiente e à saúde. Países com o Reino Unido e a Alemanha não conseguiram atendê-la até a data prevista (agosto de 2005). A RoHS limitou, para materiais homogêneos, a 0,1% em massa a concentração do chumbo, mercúrio, cromo hexavalente, bifenilos polibromados e éteres difenílicos polibromados, e, para equipamentos elétricos e eletrônicos, a 0,01% em massa a concentração do cádmio. A RoHS aplica-se somente a produtos de mercado inseridos após 1 de julho de 2006, sendo ainda possível a fabricação de protótipos industriais que não atendam aos limites citados<sup>33</sup>.

Organizações como a NEMI (*National Electronics Manufacturing Initiative*), nos Estados Unidos, a ITRI (*International Tin Research Institute*), na Inglaterra, e a JIEP (*Japan Institute Interconnecting and Packing Electronic Circuits*), no Japão, têm desenvolvido programas de pesquisas para a substituição do chumbo na soldagem.

As propostas de substituição ou eliminação de metais pesados, com base no seu potencial nocivo ao ambiente e à saúde pública, são frequentes. No entanto, essas propostas podem se confrontar com questões tecnológicas, por dificuldades nos processos de manufatura existentes ou pelo comprometimento da qualidade do produto final. Sugere-se que os fabricantes e os usuários de soldas brandas, principalmente as compostas por ligas contendo chumbo, dêem a devida atenção à reciclagem, com a finalidade de se realizar uma gestão ecologicamente correta dos recursos naturais não renováveis. A taxa de reciclagem pode ser um fator decisivo no controle da relação entre as soldas com chumbo e as isentas de chumbo<sup>34-35</sup>.

## Referências

1. Nicholas MG, Mortimer DA. Ceramic/metal joining for structural application. *Mater Sci Technol*. 1985;1(9):657-65.
2. Mizuhara H. Vacuum brazing ceramic to metals. *Adv Mater Process*. 1987;139(2):53-5.
3. Pecht MG. Soldering processes and equipments. New York: John Wiley & Sons; 1993. p.1-9.
4. Thwaites CJ. Soldering technology – a decade of developments. *Int Met Rev*. 1984;29(2):45-74.
5. Wassink RJK. Soldering in electronics. 2<sup>nd</sup> ed. Ayr, Scotland: Electrochemical Publishers; 1989.
6. Brandi SD. Molhamento e espalhamento de ligas Ag-Cu-In-Ti, Ag-Cu-Ti e Ag-Cu-Nb sobre nitreto de silício [tese de livre-docência]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 1995.
7. Moreira FRM, Moreira JC. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. *Rev Panam Salud Publica*. 2004;15(2):119-29.
8. Wedler G. *Lehrbuch der Physikalischen Chemie*. Weinheim, RFA: Wiley-VCH Verlag GmbH; 1997.
9. Carreira M. Energias de superfície de ligas utilizadas por indústrias eletrônicas na soldagem branda [tese de doutorado]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2001.
10. Rusanov AI. Thermodynamics of solid surfaces. *Surf Sci Rep*. 1996;23(6-8):173-247.
11. Eustathopoulos N, Nicholas MG, Drevet B. Wettability at high temperatures. Amsterdam: Pergamon; 1999.
12. ASM Metals Handbook: welding, brazing, and soldering. Materials Park, Ohio: ASM International, 1996. v.6, p.617-37.
13. Young T. An essay on cohesion of fluids. *Phil Trans R Soc*. 1805;95:65-87.
14. Robertson WM, Lehman GW. The shape of a sessile drop. *J Appl Phys*. 1968;39(4):1994-6.

15. Cecchini R, Carla M, Bordini S. An automated apparatus for interfacial tension measurements by sessile drop technique. *Rev Sci Instrum*. 1991;62(4):1088-92.
16. Moreno OG, Coudurier L, Eustathopoulos N. Role de l'adsorption dans la mouillabilité du fer solide par le plomb et ses alliages. *Acta Metall*. 1982;30:831-40.
17. Eustathopoulos N. Chimie interfaciale, mouillage et énergie d'adhésion dans les systèmes métal-oxyde. *Rev Métallurgie*. 1995;92(9):1083-6.
18. Prin G, Baffie T, Jeymond M, Eustathopoulos N. Contact angles and spreading kinetics of Al and Al-Cu alloys on sintered AlN. *Mater Sci Eng*. 2001;298(1-2):34-43.
19. Garandet JP, Drevet B, Eustathopoulos N. On the validity of Young's equation in the presence of gravitational and the other external force fields. *Scr Mater*. 1998;38:1391-7.
20. Landry K, Kalageropoulos S, Eustathopoulos N; Naidich Y, Krasavsky V. Characteristic contact angles in the aluminium/vitreous carbon system. *Scr Mater*. 1996;34(6):841-6.
21. Rivollet I, Chatain D, Eustathopoulos N. Simultaneous measurement of contact angles and work of adhesion in metal-ceramic systems by immersion-emersion technique. *J Mater Sci*. 1990; 25(7):3179-85.
22. Passerone A, Eustathopoulos N. On the calculation of solid/liquid interfacial tension in metallic systems from contact angle data. *J Mater Sci*. 1983;2(5):197-200.
23. Pique D, Eustathopoulos N. Calculation of solid-liquid vapor contact angles for binary metallic systems. *Scr Metall*. 1980;14(12):1291-6.
24. Joud JC, Eustathopoulos N, Bricard N, Dese P. Determination of surface tension of Ag-Pb and Cu-Pb alloys by the sessile-drop method. *J Chem Phys*. 1973;70(9):1290-4.
25. Bricard N, Eustathopoulos N, Joud JC, Dese P. Surface tension of liquid Ag-Cu alloys by sessile-drop method. *C R Acad Sci*. 1973;276C(922):1613-6.
26. Bailey GLJ, Watkins HC. The flow of liquid metals on solid metal surfaces and its relations to soldering, brazing and hot-dip coating. *J Inst Met*. 1951/1952; 80:57-76.
27. Murr LE. *Interfacial phenomena in metals and alloys*. Reading, MA: Addison-Wesley; 1982.
28. Smithells CJ. *Smithells metals reference book*. 6<sup>th</sup> ed. London: Butterworth; 1983.
29. Bastecki C. A benchmark for the lead-free assembly of mixed technology PCB's [acesso 11 jun 2005]. Disponível em: <www.alphametals.com>
30. Lauricella CM. Proposta de modelamento do perfil da gota obtido no ensaio da gota sessil [tese de doutorado]. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; 2005.
31. Aranha Neto EAC. Solda estanho-chumbo - aplicações na eletrônica [acesso 11 out 2007]. Disponível em: <http://www.eletrica.ufpr.br>
32. Graedel TE, Allenby BR, editors. *Industrial ecology*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall; 1995. p.173-82.
33. Premier Farnell. *Manual técnico e legislação RoHS (guia passo a passo)*. São Paulo; 2005.
34. Itsuno N, Kubo T, Noh J, Inaba A. An estimate of the transaction of environmental impacts as a result of switching to Pb-free solder. *Int J Life-Cycle Assess*. 2005;259-60.
35. Itsuno N, Noh J, Hayashi K, Inaba A. Damage assessment of human health of lead-free solder based on endpoint-type LCIA methodology. *In: International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 3<sup>rd</sup> EcoDesign 2003/3E-9*. Tokyo; 2003. p.836-8.

## Endereço para correspondência:

Prof. Christiane Mázur Lauricella  
Rua Octávio T. Mendes Sobrinho, 29 – Vila Santa Catarina  
São Paulo-SP, CEP 04376-070  
Brasil

E-mail: [chrismazur16@hotmail.com](mailto:chrismazur16@hotmail.com)

Recebido em 2 de fevereiro de 2010  
Aceito em 10 de março de 2010