



TRANSFERÊNCIA DAS LIGAS DE SOLDAS ESTANHO (Sn) E CHUMBO (Pb) NA INDÚSTRIA ELETRÔNICA: IMPLICAÇÕES NO BEM-ESTAR DO TRABALHADOR E NA PERFORMANCE AMBIENTAL

Luciane Calabria^a, Elaine Teresinha Balbinot^b, Maicon Bonatto^c

^a Mestre em Materiais; Faculdade da Serra Gaúcha (FSG); luciane.calabria@fsg.br

^b Mestre em Química; Faculdade da Serra Gaúcha (FSG); elaine.balbinot@fsg.br

^c Bacharel em Engenharia de Produção; Faculdade da Serra Gaúcha (FSG); maicon-bonatto@hotmail.com

Informações de Submissão

Maicon Bonatto, endereço: Rua Os Dezoito do Forte, 2366 - Caxias do Sul - RS - CEP: 95020-472

Palavras-chave:

Ligas. Eletrônica. Soldagem.

Resumo

Com a crescente preocupação com o bem-estar do trabalhador e com a performance ambiental, indústrias eletrônicas estão buscando novas formas eficazes de se adequar a estes aspectos, contudo a diretiva RoHs está conjuntamente ligada a esta ideia, preocupando-se com o emprego do chumbo em ligas de soldas e componentes eletrônicos. Este artigo tem por finalidade exemplificar a substituição das ligas solda chumbo/estanho por soldas livres de chumbo, apresentando suas principais características e seus efeitos de aplicação, demonstrando oportunidades para minimizar ao máximo o efeito do uso das mesmas.

1 INTRODUÇÃO

Através da necessidade de se preservar o meio ambiente e elevar ao máximo a capacidade de reciclagem dos materiais utilizados atualmente no processo de soldagem, novas tecnologias de ligas de solda estão sendo aplicadas na indústria eletrônica.

Soldas compostas por chumbo, igualmente como suas substitutas, são empregadas para a fixação de componentes eletrônicos na indústria de manufatura de circuitos eletrônicos. A liga de solda 63% estanho (Sn) e 37% chumbo (Pb) é uma das mais usadas para o processamento de montagem de placas e circuitos eletrônicos, já que o chumbo possui uma excelente condição de molhagem e ótimas características no que se refere ao acabamento do produto final (ALMEIDA et al., 2013).

Contudo, desde o início da década passada, as soldas contendo chumbo vêm sofrendo crescente aperto das leis regulamentadoras, e uma alternativa para se eliminar os riscos

potenciais do uso chumbo é a substituição deste metal por outros componentes, tendo em vista que o chumbo pode causar problemas para a saúde e danos ao meio ambiente (MASSABNI; CORBI; CAVICCHIOLI, 2011).

O processo de utilização da solda livre de chumbo (*Lead Free*) é, portanto, uma tecnologia que demanda a necessidade de um estudo aprofundado sobre sua influência no processo de produção e ao meio ambiente. O principal tipo de solda que está a ganhar aceitação baseia-se em uma liga de estanho, prata e cobre. Esta liga de solda oferece boa fiabilidade e boa soldabilidade, mas em contrapartida este tipo de solda tem um ponto de fusão ligeiramente mais elevada do que a solda de estanho/chumbo tradicional e torna-se mais custoso por conter prata em sua composição (POOLE, 2009).

Este artigo visa, entretanto, proporcionar uma pesquisa bibliográfica e de campo, buscando mensurar os aspectos do conflito ao uso da técnica de soldagem *Lead Free* nos métodos de produção e apresentar alternativas para um melhor emprego desta tecnologia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia incorporado no processo

Denomina-se energia incorporada ou emergia, a totalização dos gastos de energia gerados durante o processo de manufatura de um determinado produto. Tendo-se a somatória de gastos de energia necessário para a concretização de um processo de fabricação com um determinado material é possível abranger os prós e contras do emprego deste e, se for o caso trocá-lo por outro material que economize mais energia.

O conceito de energia incorporada além de contribuir para a limitação de gastos financeiros ainda impõe impulso à sustentabilidade tendo em vista que o exagero de gastos energéticos gera uma série de danos ambientais ao fazer uso extremo dos recursos naturais.

A sustentabilidade é o balanceamento entre natureza e a economia, ou seja, o emprego dos recursos naturais disponíveis no meio ambiente a fim de preencher nossas necessidades e mobilizar a economia, de costume consciente, acatando normas ecologicamente adequadas para a exploração destes e reverenciando as culturas locais (EMERGIA, 2014).

Sobre tudo, se afirma que a quantidade de energia aplicada para a produção da solda *lead free* se sobressai 23% sobre a solda comum, conseqüentemente o seu custo se torna o triplo pelo fato da necessidade da utilização de um material nobre (metal resistente à corrosão

e oxidação), a prata. Porém comparando-se nas implicações no bem-estar do trabalhador e no desempenho ambiental, o fato da solda não utilizar chumbo é uma grande vantagem diante do processo de soldagem (ALMEIDA et al. 2013).

2.2 Características do chumbo

O elemento chumbo (Pb) é designado ao grupo dos metais, possui número atômico 82, detêm características acinzentado e/ou azulado, material não elástico, dúctil, maleável, considerado razoável condutor de calor e eletricidade, possui baixo ponto de fusão (327°C) e ponto para ebulição de 1.717°C, emitindo antes desta determinada temperatura vapores tóxicos ao ser humano e ao meio ambiente.

Encontrado em grande quantidade por toda a crosta da terra, o seu emprego já existe a muitos anos, sendo o seu uso aumentado progressivamente ao passar dos tempos.

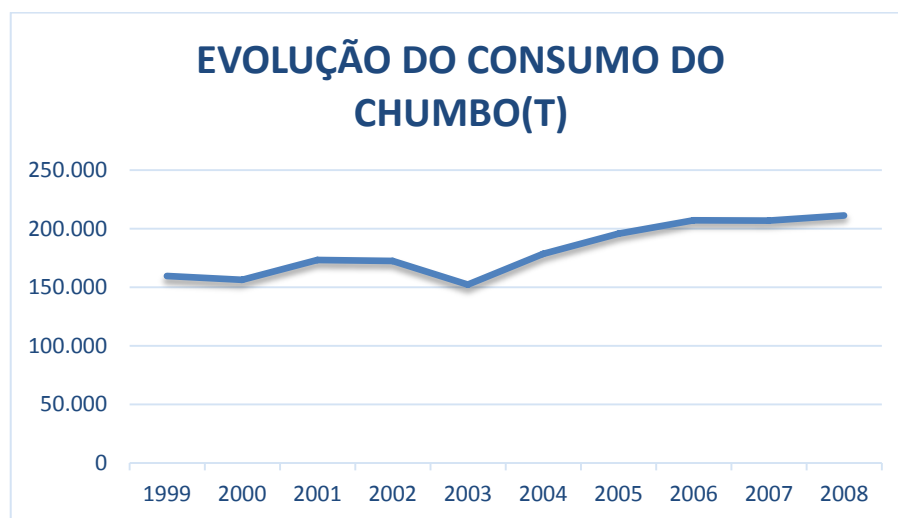


Gráfico 1: Consumo de chumbo no Brasil
Fonte: Própria adaptado de MDIC

Quando inalado em grandes concentrações, este metal pode levar a distúrbios de praticamente todas as partes do organismo humano – efeitos biológicos, neurológicos, hematológicos, endocrinológicos, crescimento, renais e cardiovasculares - culminando com a morte (MOREIRA; MOREIRA, 2004).

Em doses relativamente baixas, há adulteração na produção de hemoglobina (molécula presente nas células vermelhas do sangue, responsável pela ligação dessas células ao oxigênio) e processos bioquímicos cerebrais. Isso leva a adultérios psicológicos e

comportamental sendo a diminuição da inteligência um dos efeitos mais expressivos referentes à contaminação pelo mesmo (EXPOSIÇÃO, 2010).

2.3 Restrição do uso chumbo

Datado ao ano de 1956 a descoberta feita por um geoquímico que almejava identificar a idade da terra, onde o mesmo conseguiu brilhantemente definir a idade da terra e juntamente com esta descoberta pode identificar a contaminação dos ambientes habitados por concentrações muito altas de chumbo.

Nos últimos 3000 anos houve um aumento de 230 vezes na concentração atmosférica de chumbo, o aumento na abundância de chumbo na atmosfera a partir da década de 1940 se carece à expansão da frota de automóveis que empregava gasolina contendo chumbo como aditivo (o chumbo tetraetila). Nos EUA, aonde a gasolina com chumbo foi agregada por muitas décadas, a média dos níveis de chumbo no sangue da população chegou a 16µg/dL (micrograma/decilitro) em 1976, permanecendo atualmente próximo de 2µg/dl. Esta queda está associada à constante redução de chumbo na gasolina, que principiou em 1974, até haver o impedimento total do uso de chumbo na gasolina em 1992 (GERLACH, 2009).

Tabela 1: Restrição substâncias
Fonte: Própria adaptado de ABINEE

SUBSTÂNCIA	LIMITE	APLICAÇÕES
Chumbo (Pb)	0,1% (1000mg/Kg)	Soldas, cabos elétricos, fios, plásticos, componentes.
Mercúrio (Hg)	0,1% (1000mg/Kg)	Chaves, monitor LCD, relays.
Cádmio (Cd)	0,01% (100mg/Kg)	Cabos elétricos, fios, pontos de contato
Cromo hexavalente	0,1% (1000mg/Kg)	Tratamentos de superfície
Polibromobifenil (PBB)	0,1% (1000mg/Kg)	Plásticos, placas de circuito impresso (anti-chamas)
Poli bromo difenil éter (PBDE)	0,1% (1000mg/Kg)	Plásticos, borracha, placas de circuito impresso (anti-chamas)

A União Europeia (UE) preocupando-se com questões de melhorias ambientais e sócias, criou em 2006 a denominada restrição de determinadas substâncias perigosas (RoHs) que proíbe a entrada de seis substâncias inseridas em produtos em seus países, entre elas, o chumbo (Pb), material utilizado em larga escala no processo de soldagem de componentes eletrônicos. As diretivas são condicionamentos da UE que se tange a preocupações ambientais

pertinentes à vida útil e ao descarte de produtos de setores eletrônicos. A tabela 01 demonstra às substâncias proibidas, porém com o seu limite máximo por partes por milhão (ppm).

Grandes partes das empresas brasileiras ainda estão se adaptando à obrigação de realização de análises laboratoriais para o controle de qualidade e adaptações tecnológicas em produtos e processos. Um destes ajustamentos é a solda *lead free*. A solda costumeira era composta de 63% de estanho (Sn) e 37% de chumbo (Pb). Agora, o chumbo é substituído por prata, cobre ou zinco.

O desafio mais comum abordado para a substituição da liga de solda é a sua alta temperatura de fusão dos elementos das placas ausentes de chumbo (componentes RoHS), que podem originar problemas em outros componentes da placa não tolerantes à temperatura tão elevada. Compreender-se que grandes quantidades dos equipamentos eletrônicos estão sendo acondicionados em recipientes de lixo ou dispostos em aterros (muitos sem nenhum tipo de controle químico), a RoHS torna-se mais que uma diretiva, contudo uma obrigação de uma empresa que se preocupa com o mundo em que seus clientes habitam (GOUVEA, 2014).

2.3.1 Elementos substitutos para o chumbo

A manufatura eletrônica está voltada para soldas sem chumbo que possam substituir a globalmente acolhida solda estanho/chumbo. Análises e desenvolvimentos são focados nos estudos de ligas em potencial para reproduzir às mesmas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e elétricas similares a solda estanho/chumbo.

Os metais que podem substituir o chumbo e seus custos respectivos estão representados na tabela 02, porém deve-se analisar cuidadosamente o material a ser definido como substituto, pois existe a necessidade de se reproduzir as mesmas propriedades quando há uso do chumbo na solda.

Tabela 2: Materiais substitutos e seus custos relativos
Fonte: Própria adaptado de CETEM

ELEMENTO SUBSTITUTO	CUSTO RELATIVO
Chumbo (referência)	1
Antimônio	2.2
Bismuto	7.1
Cobre	2.5
Índio	194
Prata	212
Zinco	1.3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Referindo-se às implicações ao bem-estar do trabalhador e no desempenho ambiental, foram encontradas duas situações adversas no procedimento de trabalho, onde a saúde dos funcionários como um todo, se encontra exposta diariamente.

No processo de soldagem manual e revisão de componentes, tanto em linhas de produção que utilizam ligas de soldas chumbo/estanho como em linhas de produção que utilizam a liga *lead free*, ambas não possuem uma tecnologia eficiente de exaustão do ar, que efetue a devida troca interna pela externa, deste modo não realizando a purificação do ambiente da fábrica.

Conforme disposto pela figura 01, evidencia-se somente a utilização de exaustores de fumaça móvel (artefato preto situado à frente da estação de soldagem), onde o mesmo aspira o ar pela parte frontal e o disponibiliza na parte de traseira, tendo como efeito somente à troca de vapores pela indústria, sem a devida purificação do ar.

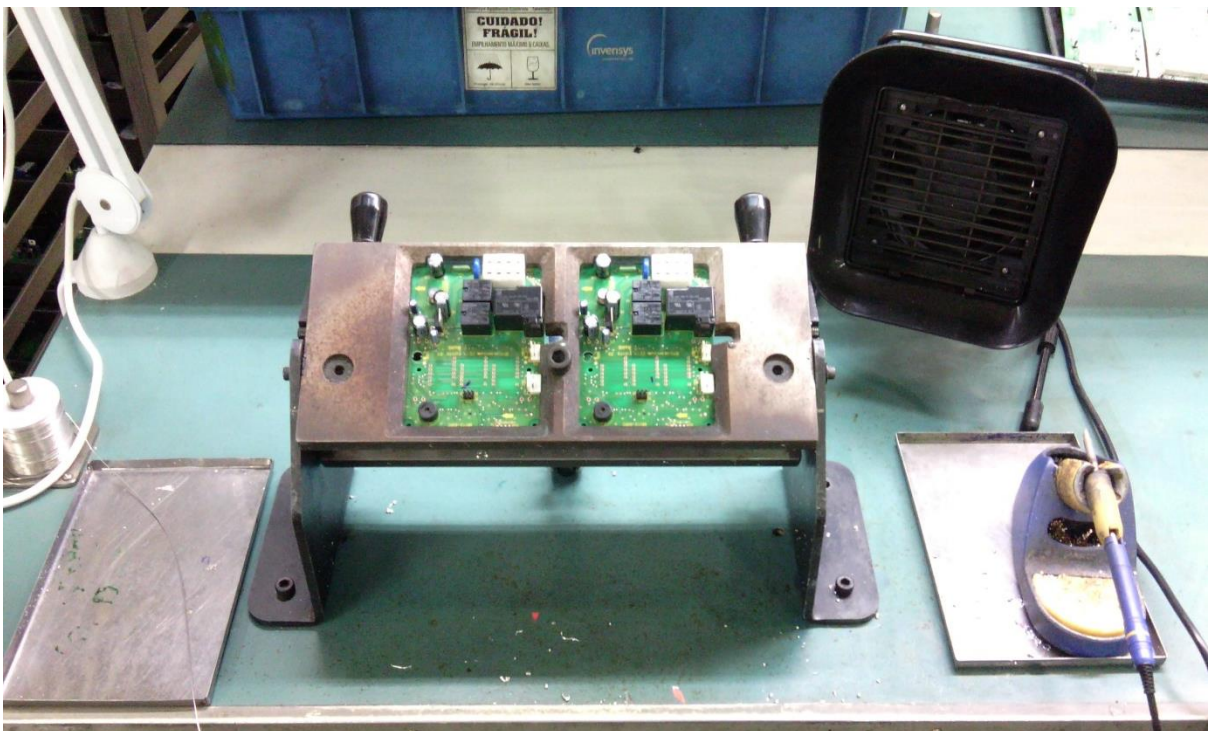


Figura 1: Bancada de soldagem manual
Fonte: O Autor

Outra circunstância foi identificada na máquina de solda onda, entretanto sua eficácia é parcialmente aceitável em determinadas partes do processo. A mesma no seu interior possui um cadinho (recipiente fabricado em inox – figura 02) que armazena cerca de 450 kg de solda

líquida, material este mantido a uma temperatura de 254°C, ou seja, sua emissão de gases é contínua durante todo o dia.



Figura 2: Cadinho de solda

Fonte: Própria

Estas máquinas possuem uma exaustão que remove o ar interno e o disponibiliza em tubulações para o lado externo da empresa, diminuindo ao máximo a contaminação do ambiente em que ela se encontra disposta. Porém diversas vezes ao dia estas máquinas permanecem com suas portas completamente abertas (*setup*; regulagem e abastecimento), ou seja, a eficácia da exaustão acaba que se diminuindo, pois, a quantidade de sucção do exaustor é limitada para a área interna da máquina. Deste modo certa quantidade de gases é expelido para fora da mesma, ocorrendo à contaminação de toda a fábrica.

Visualizando estas duas dificuldades encontradas na manufatura de placas eletrônicas, devem-se observar suas características e buscar soluções que sejam viáveis para todo o processo. Devido ao fato de ambas as liga de soldas emitirem gases tóxicos em determinadas temperaturas distintas, a sua substituição da liga e a melhora na exaustão seriam os dois métodos mais eficazes para se obter um melhor bem-estar do trabalhador e diminuir a poluição ambiental.

Perante as principais características dos dois tipos de liga de solda estudadas neste artigo, abaixo é demonstrado um comparativo entre suas principais especificações diante de sua aplicação no processo.

Tabela 3: Comparativos entre ligas de solda
 Fonte: Própria adaptado de QUALITEK

	Sn/Ag/Cu	Sn63/Pb37
Ponto Fusão - °C	217-221	183
Dureza – Brinell	15 HB	14 HB
Densidade - g/cm ³	7,39	8,42
Condutividade Elétrica - % IACS	16,6	11,9
Resistência à Fluência - N/mm ²	13	3.3

Referente à tabela 03 podemos percebermos que as duas ligas se comportam quase com que as mesmas características, salvo alguns pontos que a liga *Lead free* (Sn/Ag/Cu) possui vantagens significativas, tais como:

- a) Ponto de fusão, detém uma vantagem significativa de no mínimo 34 °C sobre a solda convencional, ou seja, esta vantagem se torna muito importante, pois, acima do ponto de fusão as ligas de solda emitem vapores tóxicos;
- b) Condutividade elétrica, permite que exista uma geração maior de calor durante a soldagem, aonde essa pequena quantidade é rapidamente transmitida através da peça, gerando uma melhor atmosfera calorífica para a soldagem do componente.
- c) Resistência à fluência, valor bastante diferenciado e importante à operação, pois este aspecto fornece ao processo um melhor controle manual diante aos pequenos espaços disponíveis em placas eletrônicas.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mensurado anteriormente, existem duas possibilidades plausíveis para se aperfeiçoar uma melhor condição do processo, porém uma desta se torna mais eficiente do que a outra diante do fator tempo e investimento.

A primeira circunstância consistiu em efetuar a substituição da liga utilizada nos processos de soldagens, entretanto permanece um grande paradigma diante deste assunto, pois o valor agregado à solda *lead free* se torna superior três vezes mais do que a solda Sn63/Pb37, todavia a utilização da solda sem chumbo garante um processo apoiado à preocupação com o meio ambiente e com seus funcionários, sem mencionar as vantagens perante suas características mecânicas de aplicação.

Outro movedor pelo qual a transferência para solda *lead free* não se tornar tão mensurável, é que quase todo o mercado mundial, menos a Europa, permite ainda a entrada de produtos com um percentual de chumbo maior que o estipulado pela diretiva RoHs, ou seja, para a indústria eletrônica ainda é viável possuir linhas de manufaturas de produtos com soldas comuns e linhas com solda *lead free*.

Entretanto a segunda opção é mais admissível, pois a mesma se torna mais efetiva em curto prazo. A ideia constituiria na ampliação da utilização de linhas de exaustores, estes seriam dispostos sobre cada posto de soldagem manual, ou seja, os mesmos poderiam retirar todos os gases tóxicos decorrentes dos processos da soldagem manual, e além do mais poderia suprir a ineficiência dos exaustores das máquinas de solda onda, quando a mesma se encontra aberta durante operação diária.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se com este artigo que diante da eficácia da utilização de recursos naturais, a liga de solda 63Sn/37Pb representa a melhor alternativa para emprego no processo de soldagem de componentes eletrônicos, logo que a manufatura das ligas *lead free* apresentam energia total empregada aproximadamente 23% superior.

O estudo apresentado tange-se a resultados ambíguos. De um lado, o beneficiamento de soldas comum mostra-se mais eficaz no uso dos recursos naturais e, levando-se em conta essa consequência, seria recomendável optar pela continuidade da produção delas, mas em outro fator, entende-se que o emprego do chumbo em ligas implica em problemas de saúdes muito agravantes para a população e prejudica a instabilidade do meio ambiente.

A hipótese mais efetiva para a resolução da contaminação por chumbo, seria de se optar pela substituição total das soldas de estanho/chumbo pelas soldas *lead free*, levando em consideração que a saúde humana é mais importante que a preservação dos recursos naturais.

Porém enquanto não se tornar obrigatória à limitação do uso de chumbo no setor eletrônico, busca-se minimizar os impactos causados pela liga comum de solda diante seu processo. A utilização de linhas de exaustores dedicados à sucção dos vapores tóxicos é opção mais eficaz diante deste problema, entretanto sua utilização também é viável para ambas as ligas de solda, pois deste modo pode-se assegurar ao máximo o bem-estar do trabalhador e a preservação ambiental.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Cecília Maria Villas Bôas de. **Substituição das soldas estanho-chumbo na manufatura:** efeitos na saúde do trabalhador e no desempenho ambiental. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&&pid=S0104-530X2013000100004>. Acesso em: 29 de mai. 2015.

EMERGIA – entendendo a energia incorporada. Disponível em: <<http://www.atitudessustentaveis.com.br/artigos/emergia-entendendo-energia-incorporada/>>. Acesso em: 01 mai. 2015.

EXPOSIÇÃO – ambiental ao chumbo: um problema global. Disponível em :<<http://www.boasaude.com.br/artigos-de-saude/3859/-1/exposicao-ambiental-ao-chumbo-um-problema-global.html>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

GERLACH, Raquel Fernanda. **Chumbo e a saúde humana.** Disponível em:<http://revista.fmrp.usp.br/2009/vol42n3/Simp1_chumbo_introducao.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2015.

GOUVEA, Marcelo. **O que é rohs e por que sua empresa precisa dela para exportar para a Europa.** Disponível em: < <http://produza.ind.br/tecnologia/o-que-e-rohs/>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

MASSABNI, Antônio; CORBI, Pedro; CAVICCHIOLI, Maurício. **O chumbo e a saúde humana.** Disponível em: <http://www.crq4.org.br/o_chumbo_e_a_saude_humana_agentes_para_desintoxica>. Acesso em: 01 mai. 2015.

MOREIRA, Fátima Ramos; MOREIRA, Josino costa. **Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde.** Disponível em:<<http://www.scielosp.org/pdf/rpsp/v15n2/20821.pdf>>. Acesso em: 02 mai. 2015.

POOLE, Ian. **Using lead free solder.** Disponível em: < http://www.radio-electronics.com/info/manufacture/soldering/lead_free_soldering/using-lead-free-solder.php>. Acesso em: 01 mai. 2015.