



REDUÇÃO DO CUSTO DE PASTA DE SOLDA NO PROCESSO DE TECNOLOGIA DE MONTAGEM SUPERFICIAL (SMT)

Marco Antônio de Almeida Camargo

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Belém

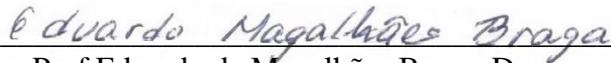
Junho de 2021

**REDUÇÃO DO CUSTO DE PASTA DE SOLDA NO PROCESSO DE
TECNOLOGIA DE MONTAGEM SUPERFICIAL (SMT)**

Marco Antônio de Almeida Camargo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



Prof. Eduardo de Magalhães Braga, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Orientador)



Prof. Edinaldo José de Sousa Cunha, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)



Prof. Ednelson da Silva Costa, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA-Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

JUNHO DE 2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Camargo, Marco Antônio de Almeida, 1964-
Redução do custo de pasta de solda no processo de
tecnologia de montagem superficial (SMT) / Marco Antônio de
Almeida Camargo - 2021.

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal
do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Processos, 2021.

1. Produção 2. SMT 3. Pasta de Solda 4. Custo. I. Título

CDD 670.42

*Dedico este trabalho aos meus filhos
Bruna e Alex Camargo, meus pais Silvia
e Joaquim Camargo e minha esposa
Sonia Camargo, fontes inesgotáveis de
inspiração e apoio incondicional.*

AGRADECIMENTOS

A TODOS que concederam seu tempo para a realização deste trabalho.

A Deus, em primeiro lugar, por minha vida e saúde.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Braga, primeiro por ter aceitado participar deste desafio, depois pelo conhecimento transmitido e muito mais por ter mostrado o caminho certo a percorrer, pois na estrada havia alguns trechos sem ponte e a queda seria grande caso eu lá caísse. Obrigado, Professor!

Aos Coordenadores do Programa Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite e Prof. Dr. Manoel Henrique Reis Nascimento por tanta sabedoria e empenho na realização do curso. A toda família, porque foram os primeiros a sentir a minha falta, uma vez que a atenção estava voltada ao estudo e ao trabalho de pesquisa, os que estavam, haja compreensão e aos que estavam longe, haja torcida.

À turma da sala de aula de Mestrado pelo apoio e torcida nos trabalhos apresentados... éramos somente alunos naqueles momentos.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em engenharia da UFPA (Universidade Federal do Pará), pois não mediram esforços para viajar quase mil quilômetros e compartilhar o conhecimento, foram momentos bastante relevantes para nosso crescimento.

“A competitividade de um país não começa nas indústrias ou nos laboratórios de engenharia. Ela começa na sala de aula.”

(Lee Lacocca)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

REDUÇÃO DO CUSTO DE PASTA DE SOLDA NO PROCESSO DE TECNOLOGIA DE MONTAGEM SUPERFICIAL (SMT)

Marco Antônio de Almeida Camargo

Junho/2021

Orientador: Eduardo de Magalhães Braga

Área de Concentração: Engenharia de Processos

As indústrias de Tecnologia de Montagem Superficial (SMT) têm superado ao longo dos últimos anos muitos desafios no tocante a seu posicionamento com relação às questões ambientais e redução de custos. Novas normas de controle e eliminação de substâncias consideradas nocivas ao meio ambiente têm sido editadas, fazendo com que diversos setores industriais revejam projetos e especificações no sentido de adequar-se a estas. Uma das preocupações reside no fato de os procedimentos de soldadura dos componentes eletrônicos incorporarem chumbo, o que apresenta riscos aos operadores envolvidos nos processos de produção, bem como, um alto valor no custo de pasta de solda. Uma das principais propostas de solução é a liga mais comum é a lead free, é uma liga à base de estanho, que substitui o chumbo com 3,9% de prata e 0,6% de cobre. A liga é conhecida como (SAC) Sn3,9Ag0,6Cu. O material se aplica ao processo utilizado na fabricação de cerca de 70% das placas de computadores atualmente produzidas. Para processos que utilizam mais altas temperaturas, existem duas outras ligas: Sn0,7Cu, uma liga de estanho com 0,7% de cobre, e SN3,5Ag, que possui 3,5% de prata. A necessidade de migrar os processos de soldagem para este novo tipo de tecnologia exige das empresas uma estratégia de mudança adequada à manutenção dos processos atuais e sua gradual substituição por processos de soldagem sem chumbo e suas implicações nos custos. O objetivo principal da presente dissertação é apresentar o

desenvolvimento do processo da solda em pasta local com a finalidade de reduzir os custos de produção, mantendo a qualidade e confiabilidade do produto, especialmente as placas principais de Televisores. Este estudo, além de apresentar uma revisão bibliográfica envolvendo o processo de SMT, explorará os conceitos acerca dos tipos de pastas de soldas para que assim o leitor possa ter um melhor entendimento sobre o que será proposto bem como, a descrição do estudo de caso em uma fábrica do Polo Industrial de Manaus (PIM). Os resultados mostram que a indústria local busca de forma planejada e consistente a inovações de processos e redução de custo de processos. A redução de custo inclui principalmente a redução no custo de matéria prima, principal vantagem competitiva das empresas chinesas, normalmente 30% menos onerosas que das concorrentes (apesar da qualidade inferior). Conclui-se que é possível evidenciar a redução significativa nos custos de pasta de solda no processo de tecnologia de montagem superficial (SMT) com a sua fabricação feita localmente.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**REDUCTION OF THE WELDING PASTE COST IN THE SURFACE MOUNT
(SMT) TECHNOLOGY PROCESS**

Marco Antônio de Almeida Camargo

June/2021

Advisor: Eduardo de Magalhães Braga

Research Area: Process Engineering

The Surface Mounting Technology (SMT) industries have overcome many challenges over the past few years with regard to their position in relation to environmental issues and cost reduction. New standards for the control and elimination of substances considered harmful to the environment have been edited, causing several industrial sectors to review projects and specifications in order to adapt to these new standards. One of the concerns lies in the fact that the welding procedures for electronic components incorporate lead, which poses risks to operators involved in the production processes, as well as a high value in the cost of solder paste. The most common alloy is lead free, it is a tin-based alloy, which replaces lead with 3.9% silver and 0.6% copper. The alloy is known as (SAC) Sn3,9Ag0,6Cu. The material is applied to the process used in the manufacture of about 70% of the computer boards currently produced. For processes that use higher temperatures, there are two other alloys: Sn0.7Cu, a tin alloy with 0.7% copper, and SN3.5Ag, which has 3.5% silver. The need to migrate welding processes to this new type of technology requires companies to adopt a strategy of change appropriate to the maintenance of current processes and their gradual replacement by lead-free welding processes and their implications for costs. The main objective of this dissertation is to present the development of the solder process in local paste in order to reduce production costs, maintaining the quality and reliability of the

product, especially the main plates of Televisions. This study, in addition to presenting a bibliographic review involving the SMT process, will explore the concepts about the types of solder pastes so that the reader can have a better understanding of what will be proposed as well as, the description of the case study in a factory in the Manaus Industrial Pole (PIM). The results show that the local industry seeks in a planned and consistent way to process innovations and process cost reduction. The cost reduction mainly includes the reduction in the cost of raw material, the main competitive advantage of Chinese companies, usually 30% cheaper than that of competitors (despite the inferior quality). It is concluded that it is possible to evidence the significant reduction in the costs of solder paste in the process of surface assembly technology (SMT) with its manufacture made locally.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	4
1.2.1 - Objetivo geral.....	4
1.2.2 - Objetivos específicos.....	4
1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO.....	5
1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	8
2.1 - DIRETIVAS ROHS, WEEE E IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA.....	8
2.1.1 - Diretiva Rohs.....	8
2.2 - WAST E FROM ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT – WEEE.....	11
2.2.1 - Categoria dos dispositivos e instrumentos elétricos e eletrônicos cobertos pelas diretivas.....	13
2.2.2 - Impactos do uso de substâncias perigosas na saúde humana.....	14
2.3 - A INDÚSTRIA ELETRÔNICA DO PIM.....	17
2.3.1 - Objetivos.....	19
2.3.2 - Características.....	21
2.4 - TECNOLOGIA DE MANUFATURA SMT.....	22
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 - PROCESSO.....	24
4.2 - METODOLOGIA DE HOMOLOGAÇÃO DE PASTA DE SOLDA UTILIZADA.....	35
4.2.1 - Defeitos considerados pela máquina de inspeção ótica SAOI.....	36
4.3 - PERFIL DO FORNO PARA SOLDAGEM.....	38
4.3 - PASTAS DE SOLDAS LOCAIS.....	40
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	45
5.1 - CONCLUSÕES.....	45
5.2 - SUGESTÕES.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Fluxograma da pesquisa.....	23
Figura 4.1	Efeito do ângulo do rodo.....	25
Figura 4.2	Exemplo de imagem mostrando pontos altos nos depósitos de pasta de solda conhecidos como 'orelhas de cachorro'.....	26
Figura 4.3a	Pasta de solda 'sangrando' na parte inferior do estêncil.....	27
Figura 4.3b	Abertura bloqueada pelo estêncil.....	27
Figura 4.4	Exemplo de suporte de PCB adaptável em uso.....	28
Figura 4.5	Regra das 5 bolas.....	30
Figura 4.6	Pasta de solda antes de misturar.....	31
Figura 4.7	Mistura usando centrífuga.....	31
Figura 4.8	Pasta de solda após mistura.....	32
Figura 4.9	Boa coalescência de solda.....	32
Figura 4.10	Baixa coalescência de solda.....	33
Figura 4.11	Exemplo de falha encontrada pela inspeção 2D.....	34
Figura 4.12	Exemplo de resultados de inspeção 3D.....	34
Figura 4.13	Resultados possíveis na inspeção de impressão da pasta de solda.....	35
Figura 4.14	Defeito deslocado.....	36
Figura 4.15	Defeito de excesso de solda.....	36
Figura 4.16	Defeito de solda insuficiente.....	37
Figura 4.17	Defeito solder ball.....	37
Figura 4.18	Defeito tombstone.....	38
Figura 4.19	Defeito short circuit.....	38
Figura 4.20	Recomendação do perfil de refusão.....	39
Figura 4.21	Resultado dos testes realizados e defeitos em PPM.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características dos materiais livres de Cádmio.....	14
Tabela 2.2	Identificadores e propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns de seus sais.....	16
Tabela 4.1	Custos por quilograma da pasta local.....	43
Tabela 4.2	Custos totais das despesas.....	43
Tabela 4.3	Economia do processo do estoque local e trânsito.....	44
Tabela 4.4	Economia anual do uso da Solda ALPHA.....	44

NOMENCLATURA

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
AOI	INSPEÇÃO ÓPTICA AUTOMÁTICA
PCB	PRINTED CIRCUIT BOARD
PIM	POLO INDUSTRIAL DE MANAUS
SMT	INDÚSTRIAS DE TECNOLOGIA DE MONTAGEM SUPERFICIAL

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - MOTIVAÇÃO

As Indústrias de Tecnologia de Montagem Superficial (SMT) têm superado ao longo dos últimos anos muitos desafios no tocante a seu posicionamento com relação às questões ambientais e redução de custos. Novas normas de controle e eliminação de substâncias consideradas nocivas ao meio ambiente têm sido editadas, fazendo com que diversos setores industriais revejam projetos e especificações no sentido de adequar-se a estas novas normas (TSUNG-NAN, 2012; FARIA, 2017).

Uma das preocupações reside no fato de os procedimentos de soldadura dos componentes eletrônicos incorporarem chumbo, o que apresenta riscos aos operadores envolvidos nos processos de produção, bem como, um alto valor no custo de pasta de solda.

A liga mais comum é a *lead free*, é uma liga à base de estanho, que substitui o chumbo com 3,9% de prata e 0,6% de cobre. A liga é conhecida como (SAC) Sn3,9Ag0,6Cu. O material se aplica ao processo utilizado na fabricação de cerca de 70% das placas de computadores atualmente produzidas. Para processos que utilizam mais altas temperaturas, existem duas outras ligas: Sn0,7Cu, uma liga de estanho com 0,7% de cobre, e SN3,5Ag, que possui 3,5% de prata (HWANG, 2014; ALMEIDA *et al.*, 2013; MAILDE *et al.*, 2020).

A necessidade de migrar os processos de soldagem para este novo tipo de tecnologia exige das empresas uma estratégia de mudança adequada à manutenção dos processos atuais e sua gradual substituição por processos de soldagem sem chumbo e suas implicações nos custos.

Os objetivos da fabricação são maximizar a qualidade e a produtividade, enquanto controlam os custos. Portanto, a escolha da pasta de solda certa pode alcançar a mais alta consistência do processo e a qualidade da solda. A qualidade da fabricação pode ser aprimorada escolhendo-se a pasta com bom desempenho nos processos de materiais, geometria e aquecimento usados na fabricação de um produto. O rendimento pode ser maximizado escolhendo um produto de solda que acomoda os métodos ideais de deposição e aquecimento.

Existem vários tipos de produtos de solda com diferenças nas características de umectação, controle de vazios, resíduos de fluxo, resistência da liga, flexibilidade da liga e outras medidas de desempenho que podem desempenhar um papel significativo na consecução de metas de qualidade, rendimento e custo (LAURICELLA, 2010; SILVA *et al.*, 2020).

Os requisitos de liga devem ser avaliados para que possam atender a todos os procedimentos do produto. Os tipos de fluxo devem ser identificados corretamente. Nesse processo, fluxos com critérios inaceitáveis são removidos de consideração. Em seguida, questões como superfícies de difícil solda, condições de refluxo rápido, opções de limpeza e preocupações de anulação da junta de solda devem ser consideradas antes de escolher uma pasta (SILVA *et al.*, 2017; VOIGT *et al.*, 2020).

Ao escolher uma liga de solda, observe o teor de chumbo, a temperatura de fusão, o tamanho das partículas de pó de liga e a resistência à tração.

A tecnologia de pasta de solda evoluiu de solúvel em água para a variante não limpa e de chumbo para livre de chumbo. Essa evolução tecnológica é impulsionada pela miniaturização, redução de custos e legislação que exige o uso de materiais sem chumbo e sem halogênio. A indústria também está ganhando mais experiência com ligas sem chumbo, com menor teor de prata, menores custos e melhores desempenhos (CAVALCANTE *et al.*, 2020; KEITH, 2011).

Com a crescente precisão dos produtos eletrônicos e a tendência da solda sem chumbo, os componentes do adesivo estão se tornando cada vez mais diminutos, de modo que a qualidade da impressão em pasta de solda está se tornando cada vez mais importante. A Inspeção de Pasta de Solda (SPI) pode efetivamente garantir uma boa qualidade de impressão de pasta de solda e reduzir bastante a possível taxa de defeitos de produtos acabados (AMORIM *et al.*, 2015; LAU, 2018).

O autor supracitado menciona ainda que a introdução do SPI pode efetivamente reduzir a taxa não qualificada do *Printed Circuit Board* (PCB) original acabado em mais de 85%; o custo de retrabalho e sucata é bastante reduzido em mais de 90%, e a qualidade dos produtos fabricados é significativamente aprimorada. Como um meio de controle de processo de qualidade, riscos de qualidade podem ser encontrados a tempo antes da soldagem por refluxo, de modo que quase não há possibilidade de custos de reparo e sucateamento, o que economiza efetivamente custos. A combinação de SPI e Inspeção Óptica Automática (AOI), por meio de feedback em tempo real e otimização da linha de produção SMT, pode tornar a qualidade da produção mais estável, reduzir

significativamente o estágio instável da produção experimental que deve ser experimentada quando o novo produto é introduzido e o custo correspondente perda é mais econômica.

Atualmente, os fabricantes de soldas compreendem as demandas de seus clientes e oferecem uma gama de pastas de solda que podem ser utilizadas a preços razoáveis para ajudar o setor a fabricar itens eletrônicos altamente eficientes e duráveis. Somente a melhor qualidade de solda pode ajudar a indústria eletrônica a produzir produtos que atendam aos padrões industriais com um custo reduzido (FERMO *et al.*, 2019; OLIVEIRA, 2012).

Diante do exposto, surgem as seguintes problemáticas: Quais são os materiais com custos indiretos de transporte, impostos e estoque que tornem viável uma nova fonte de matéria prima? Existem fornecedores locais confiáveis e com qualidade adequada?

Os avanços tecnológicos propuseram às indústrias um aperfeiçoamento contínuo de seus processos. Hoje em dia pode-se criar novos produtos e enviá-los ao mercado consumidor dentro do menor espaço de tempo. Este tipo de processo se encaixa muito bem no segmento eletroeletrônico por ser um bem de consumo em ascensão dependem diretamente dos avanços tecnológicos para se manter no mercado.

Diante da grande demanda de mercado as empresas buscam fornecer a maior quantidade de produtos e um menor espaço de tempo. Para a maioria das empresas isto só é possível com a melhoria da qualidade de seus processos, forçando a cadeia produtiva a ser mais eficiente, minimizando assim as perdas decorrentes das falhas de produção devido a não qualidade. Dessa forma, entende-se que a melhoria contínua do processo produtivo tem como objetivo principal diminuir as perdas decorrentes de falhas operacionais, ou não, da qualidade dos materiais, sendo que este processo busca atingir todos os setores fabris.

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro objetivando viabilizar uma base econômica na Amazônia Ocidental, promover a melhor integração produtiva e social dessa região do país, garantindo a soberania nacional sobre suas fronteiras. Diversas empresas do PIM utilizam fornecedores que são responsáveis pela certificação dos componentes utilizados na produção. Cada fabricante de componentes arca com os gastos da certificação de suas mercadorias e, para obter o laudo final de certificação do produto acabado, a empresa deveria investir em um laboratório para análise de

conformidade, ou seja, avaliar o produto final e emitir um atestado de conformidade que certifica a ausência ou presença, dentro de limites específicos, de substâncias restritas.

Evidencia-se que a maioria dos componentes eletrônicos tem sido tradicionalmente soldados com a liga de estanho e chumbo, sendo este último um elemento que possui elevada toxicidade, cujos resíduos produzidos durante a sua obtenção e reciclagem das ligas podem contaminar a água, o ar e o solo e possuem um elevado custo.

Os resultados desta investigação e o estudo de caso comprovam a relevância desse estudo, uma vez que o impacto maior será a diminuição dos índices de falha, eliminação dos custos com retrabalho, aumento da produtividade e redução dos custos industriais entre outros. No atual cenário global e tecnológico, o desenvolvimento de microcomponentes não permite erros, sob pena da elevação de todos os custos envolvidos no processo de montagem e manufatura. Com isso, as organizações buscam cada vez mais a excelência em seus processos garantindo assim resultados altamente positivos nos indicadores da qualidade.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Apresentar o desenvolvimento do processo da solda em pasta para aplicação em placas eletrônicas de televisores, com a finalidade de reduzir os custos de produção, mantendo a sua qualidade e confiabilidade.

1.2.2 - Objetivos específicos

- Analisar os fornecedores locais com produtos de desempenho internacional para fornecimento diário à produção;
- Comparar os custos das pastas de soldas importadas com as pastas de soldas locais;
- Avaliar os testes de validação da solda local;
- Demonstrar os resultados da qualidade de soldagem depois da aplicação da pesquisa, baseado em estudo de caso.

1.3 - CONTRIBUIÇÕES DA DISSERTAÇÃO

Grandes indústrias de eletroeletrônicos no Brasil continuam a procurar extinguir elementos lesivos de seus produtos para atender a normas da União Europeia. Estas normas, e.g. a norma RoHS (Restriction of Hazardous Substances) (HWANG, 2014) e a WEEE (Wast e Electrical and Electronic Equipment) (GRIGOLETTO *et al.*, 2013; HWANG, 2014) determinam que todas as placas produzidas ou comercializadas na Europa não devem conter substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde humana.

Uma das preocupações reside no fato de os procedimentos de soldadura dos componentes eletrônicos incorporarem chumbo, o que apresenta risco para a saúde dos operadores envolvidos nos processos de produção, atacando potencialmente o meio ambiente e ocasionando riscos acrescidos para a saúde pública.

Deste modo, é importante o desenvolvimento de produtos que possuam poucos danos à natureza. Os equipamentos eletrônicos propostos à exportação irão requerer análises laboratoriais minuciosas que permitam detectar a presença e a medida da quantidade dos elementos e compostos químicos conforme as diretrizes RoHS e WEEE, e assim será incentivado a fabricação de produtos que não causem danos à natureza.

A diretiva *Restriction of Hazardous Substances* (RoHS), impede a comercialização na Europa de produtos eletroeletrônicos que contenham metais pesados como chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, bifenóis polibromados (PBBs, Polybrominated biphenyls), éteres difenílicos polibromados (PBDEs, Polybrominated diphenyl ethers).

A adoção da política RoHS (Restriction of Hazardous Substances), ou literalmente Restrição de Sustâncias Perigosas, e a utilização da liga de solda Lead-Free (livre de chumbo) sem que seja compulsória, mostra a preocupação das empresas com a qualidade e preservação da biosfera, colocando em prática pelo menos um dos princípios do Desenvolvimento Sustentável, que consiste no uso de práticas éticas para com as gerações vindouras.

A diretiva *Wast e Electrical and Electronic Equipment* (WEEE), na comunidade Europeia é a Diretiva 2002/96/CE relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, ou seja, equipamento que depende de correntes elétricas ou campos eletromagnéticos para funcionar. O objetivo da diretiva WEEE é a prevenção, e também para regular, estimular a reutilização, reciclagem e outras formas de recuperação desses resíduos para minimizar a eliminação desses resíduos. Ela também procura contribuir

para melhorar o desempenho ambiental de todos os operadores envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos elétricos e eletrônicos.

A diretiva propõe que o fabricante do equipamento seja responsável pelo seu descarte. Um dos motivos para a sua criação, são as elevadas quantidades de equipamentos eletroeletrônicos descartados. Essa diretiva incentiva o fabricante a estimular o conserto, reutilização e reciclagem dos seus equipamentos. Portanto, os fabricantes devem adotar métodos para avaliar se o consumidor está colaborando com a WEEE, orientando os consumidores que os equipamentos eletroeletrônicos não devem ser tratados como lixo comum, devendo ser descartado separadamente.

Se as empresas não se encontrarem de acordo com estas diretivas, não poderão entrar no mercado europeu. Dados coletados dão conta que 14% das exportações brasileiras de produtos eletroeletrônicos no ano de 2005 tiveram como destino a União Europeia. Assim sendo, muitas empresas do Polo Industrial de Manaus que tem origem europeia, ou que prestam serviços a estas empresas, tem tido a missão de implantar em seus processos fabris o uso de solda livre de chumbo, conhecido como Lead Free ou Pb-Free. Em 2007, os Estados Unidos adotaram restrições semelhantes para a entrada de eletrônicos com estes metais pesados no país. Os fabricantes chineses têm 60% de sua produção em conformidade com a diretiva RoHS, e também implementaram medidas semelhantes às exigidas pela restrição europeia.

A liga mais comum é a *lead free*, uma liga à base de estanho, que substitui o chumbo com 3,9% de prata e 0,6% de cobre. A liga é conhecida como (SAC) Sn3,9Ag0,6Cu. O material se aplica ao processo utilizado na fabricação de cerca de 70% das placas de computadores atualmente produzidas. Para processos que utilizam mais altas temperaturas, existem duas outras ligas: Sn0,7Cu, uma liga de estanho com 0,7% de cobre, e SN3,5Ag, que possui 3,5% de prata.

A necessidade de migrar os processos de soldagem para este novo tipo de tecnologia exige das empresas uma estratégia de mudança adequada consentânea com a gradual substituição por processos de soldagem sem chumbo e análise às suas implicações.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente capítulo apresenta a introdução de tudo que foi discutido na pesquisa, contextualizando o assunto com base em publicações anteriores, fazendo a identificação

e justificativa da proposta de estudo, listando os objetivos geral e específicos pretendidos, além de descrever sua contribuição e relevância para a sociedade.

O segundo capítulo engloba a revisão bibliográfica, com destaque à tecnologia de manufatura SMT e o processo de fabricação de solda.

O terceiro capítulo aborda a caracterização dos materiais empregados e a descrição detalhada do processo.

Os resultados são apresentados no quarto capítulo, bem como a discussão.

As conclusões e considerações finais são apresentadas no capítulo 5.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - DIRETIVAS ROHS, WEEE E IMPACTOS NA SAÚDE HUMANA

Esta seção, faz uma abordagem as Diretivas RoHS e WEEE. As normas RoHS e WEEE estabelecem orientações de como produzir de maneira ecologicamente correta. Essas diretivas foram adotadas pela União Europeia em 2003, o que levou a um avanço significativo para consumidores e produtores.

2.1.1 - Diretiva Rohs

RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances, Restrição de Certas Substâncias Perigosas) é uma diretiva europeia (não é lei ainda) que proíbe que certas substâncias perigosas sejam usadas em processos de fabricação de produtos: cádmio (Cd), mercúrio (Hg), cromo hexavalente (Cr(VI)), bifenilos polibromados (PBBs), éteres difenil-polibromados (PBDEs) e chumbo (Pb). RoHS é também conhecido como “a lei do sem chumbo” (lead-free) mas esta diretiva (RUIZ *et al.*, 2016).

A RoHS é um regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia promulgado em 2003 e em vigor desde 2006, que visa eliminar e/ou reduzir as substâncias perigosas presentes nos equipamentos eletroeletrônicos. De forma mais específica, objetiva aproximar as legislações dos Estados-Membros na restrição do uso dessas substâncias em equipamentos eletroeletrônicos e contribuir para a proteção da saúde humana e para a eliminação, em boas condições ambientais, dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (ANSANELLI, 2008).

A política da RoHS é a eliminação de substância ou redução de substâncias perigosas presentes nos equipamentos eletroeletrônicos. O RoHS é também conhecido como “a lei do sem chumbo” (lead-free) mas esta diretiva também trata de outras cinco substâncias. A diretiva RoHS, em especial, tem provocado mudanças em cadeias de suprimentos do segmento eletroeletrônico (CHE *et al.*, 2010), fazendo com que diversas indústrias em todo o mundo avaliem aspectos ambientais antes desconsiderados e reorganizem seu sistema de suprimentos. Em decorrência disso, seria presumível que a

RoHS levasse a um aumento do uso de sistemas de gestão ambiental, repercutindo mais amplamente na operação dessas empresas (RUIZ *et al.*, 2016).

Esta diretiva entrou em vigor no dia 1º de julho de 2006 e a partir desta data nenhum produto usando essas substâncias poderá ser vendido na Europa. Junto com o RoHS entrará em vigor uma outra diretiva que trata da reciclagem de produtos eletroeletrônicos, chamada WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment, Lixo Vindo de Produtos Eletro-Eletrônicos).

Por causa do RoHS, fabricantes de equipamentos eletrônicos terão que correr para adequarem seus produtos à nova diretiva de modo a poderem vender seus produtos na Europa.

O problema é que a solda tradicional é composta de 63% de estanho (Sn) e 37% de chumbo (Pb), e os fabricantes terão que buscar outros Elementos para produzir a solda. Como você sabe, a solda é o que “cola” os componentes eletrônicos na placa de circuito impresso (PCB) de um produto eletrônico. A prata, o cobre e o bismuto são comumente usados na nova composição de solda sem Chumbo (COPOLLA, 2016).

Esses elementos, no entanto, implicam vários desafios, veja abaixo:

Alta temperatura de fusão: os componentes eletrônicos sensíveis à temperatura foram projetados para suportar até 250°C, e a solda tradicional de estanho/chumbo funde a 183°C permitindo uma ampla janela de trabalho, enquanto que a solda sem chumbo funde entre 221°C e 227°C, dependendo da composição. Isto significa que o processo produtivo deva aquecer a solda a uma temperatura mais alta, e requer maior cuidado para não exceder o limite de temperatura estabelecido pelos fabricantes de componentes. Item que era uma preocupação remota quando se usava solda com Chumbo. Ainda em estado de desenvolvimento: a solda de estanho/chumbo é usada há anos e o processo de soldagem é muito bem conhecido (FELIZARDO, 2016).

Conforme o autor supracitado, a solda sem chumbo ainda é uma criança e muita pesquisa e desenvolvimento ainda estão por vir com vários diferentes materiais. Até agora não existe um padrão industrial para a solda sem chumbo. Conserto: quando um equipamento eletrônico precisa de conserto, a solda usada também deverá ser sem chumbo. O técnico que está efetuando o conserto deve saber exatamente qual é o tipo de solda que foi usada quando o equipamento foi fabricado. Geralmente esta informação pode ser encontrada na placa de circuito impresso (PCB) do equipamento, mas esta informação pode não estar disponível. Mas é seguro usar liga 99C (99,7% de estanho, 0,3% de cobre) quando estiver reparando equipamentos sem chumbo. Inspeção visual:

solda sem chumbo tem um aspeto muito diferente da solda tradicional estanho/chumbo e um olho não treinado pode assumir que um ponto de solda está defeituoso, enquanto na realidade não está. Claro que além da solda todas as outras partes do equipamento eletrônico – como componentes e a placa de circuito impresso (PCB) – não deve ter nenhum dos seis materiais banidos para serem considerados “de acordo com o RoHS” e poderem ser vendidos na Europa.

O problema todo é basicamente com a reciclagem dos equipamentos eletrônicos. A maioria dos equipamentos eletrônicos está passando o final de suas vidas em latas de lixo ou aterros a céu aberto, e muitos deles sem nenhum controle químico. A água da chuva ácida dissolve o chumbo e outras substâncias perigosas dos equipamentos eletrônicos, e a água da chuva mistura-se com esses materiais indo direto para os lençóis freáticos, indo parar na água que bebemos (MISHCHENKO, 2018).

O chumbo pode afetar praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano, especialmente o sistema nervoso central. Rins e o sistema reprodutivo também são afetados. Os efeitos são os mesmos caso o chumbo seja inspirado ou ingerido. Em altas quantidades, o chumbo pode reduzir o tempo de reação, fraqueza nos dedos, punhos ou calcanhar, e possivelmente afeta a memória. O chumbo também pode causar anemia (OBREGON *et al.*, 2021).

É interessante notar que, embora a indústria de eletrônicos esteja sendo direcionada para remover o chumbo de seus processos de fabricação pela diretiva europeia, apenas uma pequena porção de chumbo é realmente usada na produção de equipamentos eletrônicos: apenas 0,49% de todo chumbo produzido é usado em solda e apenas 2% do chumbo produzido é usado em toda a indústria de eletroeletrônicos. A fabricação de baterias, por exemplo, consome 80% do chumbo produzido no mundo (MACHADO *et al.*, 2020).

A diretiva ROHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) limita a total de 0,1% o uso de certas substâncias na composição de manufaturados na União Europeia, ou importados de EUA, China, Nova Zelândia e outros países. As substâncias restritas são as seguintes:

- Chumbo;
- Mercúrio;
- Cádmio;
- Cromo hexavalente;

- Polibromato bifênil;
- Éter difênil polibromato (PBDE).

Os dois últimos são usados como retardantes de chamas em plásticos.

A Diretiva RoHS, por sua vez, tem por objetivo aproximar as legislações dos Estados-Membros em matéria de restrições ao uso de substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos, contribuindo para a proteção da saúde humana e para uma valorização e eliminação, em boas condições ambientais, dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. A diretiva assegura que os novos equipamentos colocados no mercado não contenham chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, polibromobifenilo (PBB) e/ou éter de difenilo polibromado (PBDE).

A diretiva imposta pela Comunidade Europeia teve grande impacto no mercado global, de modo que outros países têm buscado se adaptar às novas medidas, para continuar exportando produtos ou componentes para os países da União Europeia, ao mesmo tempo em que atendem às novas necessidades em termos de substâncias perigosas e responsabilidade por coleta e reciclagem. Assim, a diretiva europeia não é apenas uma medida restrita aos países membros, mas sim uma medida de impacto global que tem incentivado países desenvolvidos e subdesenvolvidos a gerenciar seus resíduos eletrônicos e respeitar o uso racional de recursos naturais (UNIÃO EUROPEIA, 2019).

2.2 - WASTE FROM ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT - WEEE

Fora do Brasil, é possível identificar algumas iniciativas no setor dos resíduos eletrônicos, como é o caso da Comunidade Europeia que dispõe da Diretiva 2002/96/CE, que trata dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (WEEE ou REEE) e a Diretiva 2002/95/CE sobre a Restrição do Uso de Substâncias Perigosas (RoHS). A WEEE está em vigor desde 2006, com a finalidade prevenir a geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, utilizando-se de práticas de reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos resíduos. (UNIÃO EUROPEIA, 2019).

O ponto chave e diferencial da diretiva WEEE é o princípio de Responsabilidade Ampliada do Produtor. Segundo Ji (2011), a diretiva repousa no argumento de que os impactos ambientais são substancialmente determinados no ponto de projeto, onde é realizada a escolha dos materiais, processos e tecnologias de acabamento, ou seja, com

o fabricante. Assim, o fabricante tem a responsabilidade de produzir equipamentos que possibilitem uma reparação ou remanufatura, extendendo a vida útil, além de assumir a responsabilidade sobre o destino final destes resíduos. Indiretamente, o propósito é fomentar políticas que incentivem as empresas a selecionar as matérias-primas empregadas em seus produtos, conforme a capacidade de causar um menor impacto ao meio ambiente, ao passo em que estimula a geração de mecanismos tecnológicos que modificam os modelos produtivos existentes (RODRIGUES *et al.*, 2015).

A diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos – REEE (em inglês WEEE - *Waste Electrical and Electronic Equipment Directive*) é a diretiva da União Europeia 2002/96/CE relativa à gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos que, juntamente com a Diretiva RoHS 2002/95/EC, se tornou direito europeu em Fevereiro de 2003, e define a necessidade de recolha, reciclagem e valorização de todos os tipos de produtos elétricos (PANNIZON *et al.*, 2017).

Em Portugal, membro da União Europeia, a diretiva foi transformada em legislação nacional pelo decreto-lei n.º 230/2004.

Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), como computadores, televisores, geladeiras e telefones celulares é uma das que mais crescem fluxos de resíduos na UE, com cerca de 9 milhões de toneladas geradas em 2005, e deve crescer para mais de 12 milhões toneladas em 2020.

WEEE é uma mistura complexa de materiais e componentes que, por causa do seu conteúdo perigoso, e se não for adequadamente gerida, pode causar grandes problemas ambientais e de saúde. Além disso, a produção de eletrônica moderna exige o uso de recursos escassos e caros (por exemplo, em torno de 10% do total mundial de ouro é utilizado para a sua produção). Para melhorar a gestão ambiental dos REEE e contribuir para uma economia circular e melhorar a eficiência dos recursos na melhoria da recolha, tratamento e reciclagem de produtos eletrônicos, no final de sua vida é essencial (SANTOS, 2018).

Para resolver esses problemas duas peças de legislação têm sido postas em prática: a diretiva relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) e da diretiva relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos (Directiva RoHS) (DEMAJOROVIC *et al.*, 2016).

A primeira diretiva WEEE (Diretiva 2002/96 / CE) entrou em vigor em fevereiro de 2003. A diretiva prevê a criação de sistemas de recolha, onde os consumidores

retornam os seus REEE gratuitamente. Estes sistemas têm como objetivo aumentar a reciclagem de REEE e / ou reuso.

Em dezembro de 2008, a Comissão Europeia propôs a revisão da diretiva, a fim de enfrentar o fluxo de resíduos aumentando rapidamente. O novo WEEE Diretiva entrou em vigor em 14 de fevereiro de 2014 (CONSUL; PAIVA, 2016).

A diretiva publicou uma lista de todos os equipamentos que devem seguir a WEEE.

- Dispositivos de Iluminação;
- Ferramentas eletroeletrônicas;
- Equipamentos Médicos;
- Utensílios domésticos;
- Equipamentos de consumo;
- Brinquedos e equipamentos esportivos;
- Instrumentos de monitoramento e controle;
- Descarregadores automáticos;
- Equipamentos domésticos;
- Equipamentos de TI e telecomunicações.

2.2.1 - Categoria dos dispositivos e instrumentos elétricos e eletrônicos cobertos pelas diretivas

Após um período de transição, de dezembro de 2004 a Junho de 2006, todos os produtos estão de acordo com os requisitos da diretiva RoHS. Esta conformidade se estende também ao que diz respeito à Diretiva RoHS II, em vigor a partir de janeiro 2013 (HIRAYAMA; SARON, 2015).

- Cádmio - de acordo com a decisão da Comissão Europeia 005/747/CE de 21 de outubro de 2005, o Cádmio e seus compostos são permitidos nos contatos elétricos. Consequentemente, os relés com contato AgCdO são permitidos em todas as aplicações. Esta exceção dentre as restrições foi confirmada com a publicação da RoHS II. Em todo caso, se requeridos, a maior parte dos relés Finder estão disponíveis em versões livres de Cádmio (por exemplo, AgNi ou AgSnO₂). Ocorre pelo fato de o AgCdO alcançar um bom equilíbrio entre a vida elétrica e a capacidade de comutação, por exemplo os

solenóides e cargas indutivas em geral (particularmente em corrente contínua), motores e cargas indutivas de valores elevados. Os materiais alternativos, AgNi e AgSnO₂, algumas vezes não oferecem a mesma performance de vida elétrica como o AgCdO, dependendo da tipologia da carga e da aplicação, conforme a Tabela 2.1:

Tabela 2.1 - Características dos materiais livres de Cádmio.

Material	Propriedade	Aplicação típica
AgNi (Prata Níquel)	-Material padrão para a maior parte das aplicações de relés; -Alta resistência ao desgaste; -Média resistência ao calamento.	-Cargas resistivas e levemente indutivas; -Corrente nominal até 1A*; -Corrente com pico de até 25A*.
AgSnO ₂	-Excelente resistência ao calamento.	-Cargas capacitivas e lâmpadas -Cargas com pico de corrente muito altos (até 120A*)
AgNi + Au (Prata Níquel e Ouro)	- Superfície com 5µm; -A cobertura dourada não é afetada com agentes atmosféricos; -Sua pequena carga à resistência dos contatos é mais baixa e mais resistente que os outros materiais.	Baixas cargas (pequeno consumo da cobertura dourada) de 50mW (5V 2mA) até 1,5W/24V (carga resistiva); -Médias cargas nas quais a cobertura dourada se consuma depois de alguns ciclos e tornam-se predominantes a propriedade do AgNi.

*Depende do tipo de relé

2.2.2 - Impactos do uso de substâncias perigosas na saúde humana

O chumbo é um metal cinza-azulado, sem odor, maleável e sensível ao ar. Pertence ao grupo IVB da Tabela Periódica de classificação dos elementos. Possui quatro isótopos de ocorrência natural, com as seguintes abundâncias: 204Pb (1,4%); 206Pb (24,1%); 207Pb (22,1%) e 208Pb (52,4%) (PAOLIELLO; DE CAPITANI, 2018). Entretanto, as razões isotópicas para as várias fontes minerais podem diferir.

O chumbo tetraetila e tetrametila são exemplos importantes de compostos orgânicos sintetizados industrialmente, em que o metal encontra-se ligado ao carbono. Ainda são usados em alguns países como aditivos em combustíveis sendo, portanto, fontes de contaminação ambiental. Ambos são líquidos incolores (NUNES *et al.*, 2016).

A Tabela 2.2 apresenta as principais propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns de seus sais.

As seguintes propriedades do chumbo determinam sua importância comercial e ampla aplicação na indústria: excepcional maleabilidade, baixo ponto de fusão, alta

resistência à corrosão, alta densidade, alta opacidade aos raios X e gama, reação eletroquímica com ácido sulfúrico e estabilidade química no ar, solo e água (PAOLIELLO; DE CAPITANI, 2018).

Em MATTOS *et al.* (2013) encontramos que o chumbo metálico é usado na forma de lâminas ou canos, onde flexibilidade e resistência à corrosão são características requeridas, em indústrias químicas e da construção. É usado também como ingrediente na solda e em material de revestimento na indústria automotiva. Constitui material protetor contra radiações ionizantes. É empregado numa variedade de ligas e seus compostos são preparados e usados em grande escala em muitas indústrias.

Tabela 2.2 - Identificadores e propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns de seus sais.

Identificador e propriedades físico-químicas	Chumbo	Acetato de chumbo	Carbonato de chumbo	Sulfato de chumbo	Sulfeto de chumbo	Monóxido de chumbo	Dióxido de chumbo	Chumbo tetraetila
CAS	7439-92-1	301-4-2	598-63-0	7446-14-2	1314-87-0	1317-36-8	1309-60-0	78-00-2
Sinônimos	Metal de chumbo, lasca de chumbo, Cl ^o 77575	Diacetato de chumbo, acetato plumboso, salde saturno, açúcar de chumbo, acetato de chumbo neutro, acetato dibásico de chumbo.	Cerusita, ácido carbônico, carbonato de chumbo II	Anglesita, chumbo branco, sulfato de chumbo II, leite branco, CI77630	Galena, monossulfeto de chumbo, sulfeto plumboso, sulfeto de chumbo II	Litargírio, óxido de chumbo II, óxido plumboso, CI77577	Plattnerite, CI77589, ácido plúmbico, chumbo marrom, óxido de chumbo marrom, peróxido de chumbo (DOT), superóxido de chumbo.	TEL, lead tetraethie, tetraethylplumbane
NIOSH RTECS	OF7525000	AI5250000		OG437500	OG4550000	OG1750000	OG0700000	TP4550000
DOT	NA 1794 ORM-C	UN 1616		UN 1794	NA 2291	UN 1479	UN 1872	NA 1649; IMO 6.1
Formula molecular	Pb	PbC ₂ H ₈ O ₄	PbCO ₃	PbSO ₄	PbS	PbO	PbO ₂	C ₈ H ₂₀ Pb
Peso molecular	207,1925	325,28	267,20	303,25	239,25	223,19	239,19	323,45
Ponto de ebulição (°C)	1740				1281 (sublimase)	1470		200,; 227,7 (decompõe-se)
Ponto de fusão (°C)	327,502	280	315 (decompõe-se)	1170	1114	888	290 (decompõe-se)	-130 °C
Pressão de vapor	1,77mmHg a 1000°C 10mmHg a 1162 °C; 100mmHg a 1421 °C; 400mmHg a 1630 °C				10mmHg a 975 °C (sólido)	10mmHg a 1085 °C		0,2mmHg a 20°C
Reatividade	Pode reagir vigorosamente com materiais oxidantes. Violentas reações com NH ₄ NO ₃ , ClF ₃ , H ₂ O ₂ , NaN ₃ , Na ₂ C ₂ e Zr. Reage com ácido clorídrico concentrado e ácido sulfúrico.	É incompatível com ácidos, sulfatos solúveis, citratos, cloretos, carbonatos, álcalis, tanino, fosfatos, resorcinol, ácido salicílico, fenol, hidrato de cloral, sulfitos. É reativo a alta temperatura e pressão. Explode quando em contato com KBrO ₃					Incompatível com carboneto de alumínio, sulfeto de bário, hidroxilamina, molibdênio, fenilhidrazina e fósforo	
Dolubilidade em água fria (g/L)	Insolúvel	443	0,0011	Levemente solúvel	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel	0,29 mg/L a 25 °C

Fonte: POLIELLO; DE CAPITANI, 2018.

Os óxidos de chumbo são usados nas placas de baterias elétricas e acumuladores. Estima-se que a manufatura de baterias represente cerca de 70% do consumo mundial de chumbo (PAOLIELLO; DE CAPITANI, 2018).

De acordo com MATTOS *et al.* (2013), estima-se que no Brasil, o chumbo seja utilizado em mais de 200 industriais diferentes, com destaque para a produção de acumuladores elétricos. Este segmento abriga, além de grandes empresas com melhor controle das condições ambientais de trabalho, pequenas empresas, muitas das quais instaladas em regiões residenciais, e funcionando à margem de legislação trabalhista, ambiental e de saúde. No Brasil, além dos casos de intoxicação relacionados à produção e reforma de baterias automotivas, tem sido relatados casos entre trabalhadores de indústria de plástico (PVC).

Os óxidos de chumbo são também usados como agentes componentes da manufatura da borracha, como ingredientes de tintas e como constituintes de vitrificados, esmaltes e vidros. (PAOLIELLO; DE CAPITANI, 2018).

2.3 - A INDÚSTRIA ELETRÔNICA DO PIM

O Polo Industrial de Manaus é parte de um projeto de desenvolvimento regional de 1957, regulamentado em 1967, criado pelo decreto Lei 288/67, em 28 de fevereiro de 1967, denominado Zona Franca de Manaus (ZFM), uma área de incentivos fiscais especiais administrada pela Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) (BOTELHO, 2008). Na Emenda Constitucional nº 42 de 19 de dezembro de 2003 foi prorrogada sua existência para o ano de 2023.

A Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) foi criada para desenvolver atividades industriais, comerciais e agropecuárias no interior da Amazônia, integrando-a à economia do país, bem como promovendo sua ocupação e elevando o nível de segurança para manutenção de sua integridade (SILVA, 2006). Todas as três atividades econômicas foram implementadas pela SUFRAMA. Segundo PEIXOTO (2006, apud Freitas, Portugal, 2006) a Zona Franca de Manaus que passou a ser chamada de Polo Industrial de Manaus (PIM) ainda se apresenta com poucas alternativas de transporte para suas mercadorias e seus insumos, necessitando de estudos que deem soluções alternativas para a sustentação deste modelo frente aos novos desafios impostos pela economia globalizada.

A Zona Franca é uma ferramenta político-jurídica utilizada por diversos países que objetivam promover o crescimento socioeconômico de regiões menos desenvolvidas. São utilizados incentivos fiscais para reduzir ou isentar os tributos cobrados, visando fomentar a instalação de indústrias para estimular o sistema de importação e exportação (SILVA *et al.*, 2019).

A Zona Franca é na verdade uma área localizada estrategicamente em determinado território, cuja criação e instalação dependem obrigatoriamente de Lei. A Zona Franca visa estimular o desenvolvimento econômico, reduzir as desigualdades regionais e sociais existentes, bem como manter aquecidas as relações comerciais com outros países, dentre outros interesses. Por isso, é fácil visualizar a aplicação da função extrafiscal dos tributos instituídos nesta área (GONÇALVES, 2018).

DE PLÁCIDO E SILVA conceitua Zona Franca como:

[...] aquela em que, por uma convenção internacional, se permite a livre circulação de mercadorias, nas operações de importação e exportação. Por esta forma, as mercadorias chegadas, ou saídas, tem trânsito livre, isentando-se de qualquer tributação, notadamente nos impostos aduaneiros. (2011, p. 877).

GUIMARÃES ([s.d], p. 559), por sua vez, conceitua Zona Franca como uma “área especialmente reservada, por convenção internacional, para o livre trânsito de mercadorias, de operações de importação e exportação, isenta para tanto de tributação.”

Constata-se, portanto, um liame na doutrina ao conceituar Zona Franca, percebendo-se que este modelo de concessão alfandegária é a materialização de uma convenção internacional celebrada entre dois ou mais países.

Zona Franca possui conceito semelhante, podendo-se acrescentar que:

Depósitos, zonas e portos francos, são instituições que dentro de uma área aduaneira são conhecidos como regimes especiais, que contemplam franquias de caráter territorial, e que as finalidades para a sua implantação estão além do aspecto fiscal de obtenção de recursos e olham mais o campo da economia, do comércio internacional e desenvolvimento. [...] (AGUIAR, 2008, p.152, tradução nossa).

Do conceito de Zona Franca, compreende-se que a implantação deste sistema vai além do interesse puramente fiscal do Estado, ou seja, sua criação vai além do interesse arrecadatório de tributos para promover o bem comum, passa-se a olhar mais para o

campo da economia, do comércio internacional e o desenvolvimento regional (POSSEBON, 2017).

Portanto, com o estabelecimento de um regime especial de tributação na Zona Franca, ocorre renúncia das receitas tributárias originárias, o que, de fato, pode significar menor arrecadação de dinheiro para os cofres públicos, mas, por outro lado, é capaz de fomentar o desenvolvimento socioeconômico da região.

Diante da renúncia das receitas ocorre uma compensação, pois apesar de haver uma renúncia na receita tributária, por outro lado, há uma compensação com o fomento industrial e comercial da região, gerando valores de riqueza e outros tributos, uma vez que o poder aquisitivo da população aumenta e propicia maior circulação de riqueza, gerando receita tributária de outros tributos.

2.3.1 - Objetivos

O sistema jurídico encampado na Zona Franca objetiva estimular o comércio internacional a fim de promover o desenvolvimento regional. Trata-se, desta maneira, de área onde o governo estimula a instalação de novas empresas e manutenção das existentes com a redução ou isenção de impostos e, muitas vezes, ajudando com o capital financeiro. Nesse sentido, de acordo com d'ALMEIDA (1982), “é possível reconhecer nas zonas francas objetivos de ordem geral e de ordem específica.”

O Governo Federal ao criar a Zona Franca de Manaus durante o regime militar objetivou o desenvolvimento socioeconômico da região, garantir a segurança nacional do país com o aumento demográfico, mediante o povoamento da região, inclusive nas áreas de fronteira, e integrar a Amazônia às demais regiões do país.

O Modelo ZFM de Manaus oferece incentivos fiscais especiais para atrair investidores à região, proporcionando a instalação de indústrias, comércio e atividade voltada à agropecuária, tendo como fator predominante o estímulo da importação e exportação de mercadorias, bem como alienação de lotes de terras com preços acessíveis (FERREIRA; BOTELHO, 2014).

Com base no art. 1º do Decreto-Lei n.º 288/1967, a Zona Franca foi criada com a finalidade de criar no interior da Amazônia um centro industrial, comercial e agropecuário dotado de condições econômicas que permitam seu desenvolvimento, em face dos fatores locais e da grande distância, a que se encontram, os centros consumidores de seus produtos.

Portanto, o Decreto-Lei n.º 288 de 1967 que instituiu o Modelo ZFM possui imensurável importância, haja vista oferecer liberdade de importação e exportação e incentivos fiscais especiais às indústrias instaladas, com vistas a tornar os produtos locais competitivos nos mercados econômicos mais afastados e, por consequência, o retorno financeiro à região considerando o fator da grande distância e isolamento

Os objetivos de ordem geral constituem a remoção dos obstáculos de natureza legal e a eliminação das condições políticas adversas que impedem, para fins de comércio internacional, o aproveitamento de uma posição geográfica estratégica (MIRANDA, 2013).

Enquanto o objetivo geral se refere ao interesse pelo plano econômico exterior, os objetivos específicos encontram-se diretamente atrelados ao plano econômico interno.

Desta forma, os objetivos específicos abordados por BOMFIM (2016) tratam o seguinte:

- a) Aumento do fluxo de comércio internacional;
- b) Elevação das receitas derivadas das instalações portuárias;
- c) Geração de empregos;
- d) Industrialização das áreas atrasadas.

A busca destes objetivos distingue das duas fases históricas da zona franca como estratégias de desenvolvimento. A primeira fase é caracterizada pela intenção de alcançar os objetivos a, b e c, tão somente; a segunda inclui, entre as intenções dos gestores da zona franca, a procura do alcance também do objetivo.

Este objetivo busca reduzir as desigualdades sociais e regionais, fomentando o desenvolvimento socioeconômico por meio de incentivos fiscais, caracterizando o que a doutrina chama de exceções fiscais. O pretensão desenvolvimento ocorre em virtude da redução da burocracia para a utilização de áreas estratégicas.

Igualmente, propicia à elevação do fluxo internacional, aumento da receita do país, geração de empregos e, como forma de engendrar a segunda fase da zona franca, fortalece o desenvolvimento regional por meio da industrialização.

Registra-se, por fim, que a Zona Franca tem o condão de estimular determinados setores da economia, comércio, indústria, agropecuária etc., com a predominância de um setor sobre os demais, como ocorre com a Zona Franca de Manaus, localizada no Brasil, pois possui o setor industrial como o segmento econômico de maior relevo no

plano do Modelo ZFM em virtude dos incentivos fiscais concedidos (PESSALI; SHIMA, 2015).

2.3.2 - Características

A Zona Franca possui duas características, uma concernente aos privilégios especiais e outra relativa aos aspectos principais complementares.

É o próprio pesquisador d'ALMEIDA (2012) quem menciona as características concernentes aos privilégios especiais da Zona Franca, dividindo-as em: “a) a não submissão das importações aos direitos e controles alfandegários; b) a não declaração como entradas no país das mercadorias ingressadas na área.”

Averigua-se a partir da interpretação destas espécies a inexistência de controle alfandegário, podendo as mercadorias e produtos entrar e sair da área estimulada sem que haja qualquer forma de controle fiscal e, no mesmo momento, sem que ocorra cobrança de tributos ou declaração das mercadorias trafegadas (TEIXEIRA, 2018).

No mesmo sentido, HOLLAND (2019) estabelece que as características relativas aos aspectos principais, expressam-se da seguinte maneira:

- a) Geralmente não é permitido o comércio no varejo. Nas exceções, este é feito em escala reduzida e sempre sujeito a controles bastante rigorosos;
- b) Não é permitido residir dentro da área, sendo o acesso a está autorizado a quem exerça alguma atividade relacionada com o seu funcionamento.

Neste ponto, nota-se que o principal interesse da Zona Franca é desenvolver a economia em grande escala mediante o comércio atacadista. Quanto à exceção, ela poderá ser feita desde que realizada com um número limitado de mercadorias e se sujeitando a um rigoroso controle alfandegário.

No tocante ao segundo aspecto, com a instalação da Zona Franca, objetiva-se fomentar a indústria, comércio ou outro setor econômico, não se pensando em estimular a moradia para não pôr em risco a sustentabilidade do sistema.

A Zona Franca como sistema de desenvolvimento socioeconômico possui características inconfundíveis com as demais espécies de concessões alfandegárias.

2.4 - TECNOLOGIA DE MANUFATURA SMT

A tecnologia SMT demanda altos investimentos, pois as máquinas são totalmente computadorizadas, possuem sistemas avançados de identificação de componentes com câmeras e alta velocidade de inserção de componentes com precisão. Porém, as alimentações dos componentes SMD (Surface Mounting Device) nas máquinas de Inserção Automática de componentes são feitas por operadores, ou seja, de forma manual. Com isso demanda certo cuidado nesta fase do processo. Por isso o controle se torna ponto central na manufatura de placas de circuito impresso (UHLMANN *et al.*, 2020).

Uma meta comum para os fabricantes nesta área é a diminuição de defeitos de produção, uma vez que os defeitos trazem um impacto direto nos custos internos de produção, em custo de retrabalho, prazo de entregas e conseqüente insatisfação do cliente (TUBINO, 2007).

Os produtos eletrônicos, especialmente aqueles que se encontram na categoria de produtos eletrônicos de consumo, têm sido significativamente reduzidos quanto as suas dimensões e pesos. Um dos fatores mais significantes para estas reduções se deu pela introdução de componentes de montagem em superfícies SM (*Surface Mount*). A disponibilidade de componentes SM permitiu aos projetistas desenvolverem equipamentos portáteis com pesos e tamanhos anteriormente impossíveis.

Os componentes convencionais baseados na tecnologia TH (*Through-Hole*) consomem mais potência, requerem um maior espaço para montagem, contribuindo significativamente para o peso total do produto (National Semiconductor, 2014). Uma continuidade na redução do peso e dimensões dos componentes SM tem sido observada, permitindo que uma maior densidade de componentes seja alocada na placa de circuito eletrônico reduzindo ainda mais as dimensões, peso e custo dos produtos produzidos.

A evolução das dimensões dos componentes SM, quando comparado à tecnologia TH, foram destacadas por *National Semiconductor* (2014).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foi adotado o procedimento metodológico referente ao percurso trilhado pelo autor para atingir os objetivos gerais e específicos definidos. Nesta seção são explicitados os procedimentos e instrumentos utilizados na realização da pesquisa.

Primeiramente, buscou uma temática que pudesse satisfazer as necessidades da empresa em estudo, com base em uma problemática existente. Posteriormente, estudou-se o processo SMT para a devida aplicação à problemática levantada. Em seguida, realizou-se a homologação de pasta de Solda a ser utilizada. Fez-se uma validação qualitativa e quantitativa dos defeitos apresentados na inspeção de solda. Realizou-se o perfil do forno para soldagem, definido pela relação da temperatura e o tempo de aquecimento. Foram desenvolvidas duas pastas produzidas localmente, a AIM produzida pela ALFATEC e ALPHA da *Apha Assembly*, com especificações, composição e desempenho internacionais. Levantou-se o custo da pasta de solda importada para comparar à que seria produzida e, assim, constata-se a viabilidade e economia total. Por fim, foram realizados testes de validação da solda local, que serão descritos no próximo capítulo.

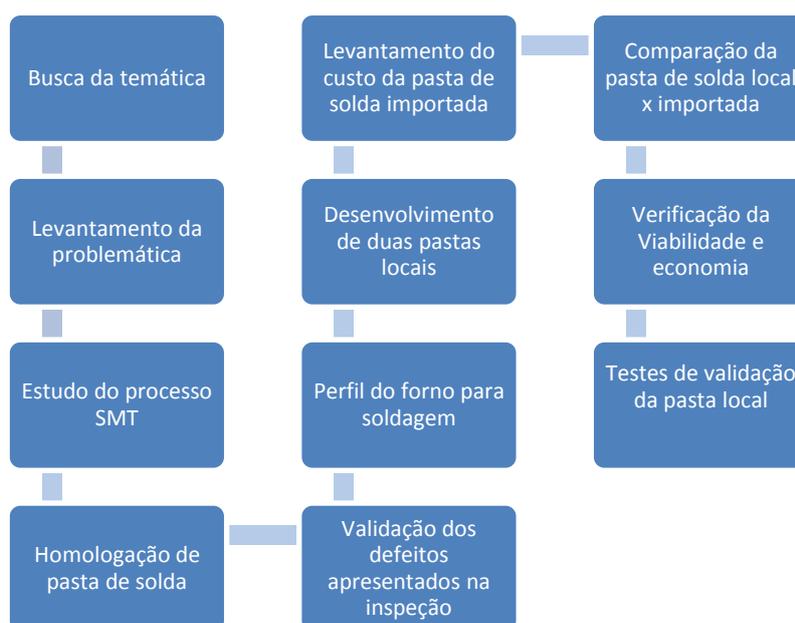


Figura 3.1 - Fluxograma da pesquisa.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - PROCESSO

Os principais parâmetros de um processo eficaz de impressão de pasta de solda são os seguintes:

- Velocidade do rodo;
- Pressão do rodo;
- Ângulo do rodo;
- Velocidade de separação do estêncil;
- Limpeza de estêncil;
- Condição do estêncil e rodo;
- Suporte PCB;
- Curso de impressão;
- Tipo, armazenamento e manuseio;
- Inspeção (2D / 3D).

1) Velocidade do rodo

A velocidade de deslocamento do rodo determina quanto tempo está disponível para a pasta de solda “rolar” nas aberturas do estêncil e nas almofadas da placa de circuito impresso. Normalmente, é usada uma configuração de 25 mm por segundo, mas isso é variável, dependendo do tamanho das aberturas dentro do estêncil e da pasta de solda usada.

2) Pressão do rodo

Durante o ciclo de impressão, é importante aplicar pressão suficiente em todo o comprimento da lâmina do rodo para garantir uma limpeza limpa do estêncil. Pouca pressão pode causar "manchas" da pasta no estêncil, baixa deposição e transferência incompleta para o PCB. Muita pressão pode causar “escorregamento” da pasta de aberturas maiores, desgaste excessivo no estêncil e rodos e pode causar “sangramento”

da pasta entre o estêncil e a PCB. Uma configuração típica para a pressão do rodo é de 500 gramas de pressão por 25 mm de lâmina do rodo.

3) Ângulo do rodo

O ângulo dos rodos é normalmente definido em 60° pelos suportes aos quais estão fixos. Se o ângulo for aumentado, isso pode fazer com que a pasta do suporte seja retirada das aberturas do estêncil e, portanto, menos pasta de solda seja depositada. Se o ângulo for reduzido, pode deixar um resíduo de pasta de solda no estêncil depois que o rodo tiver concluído uma impressão.

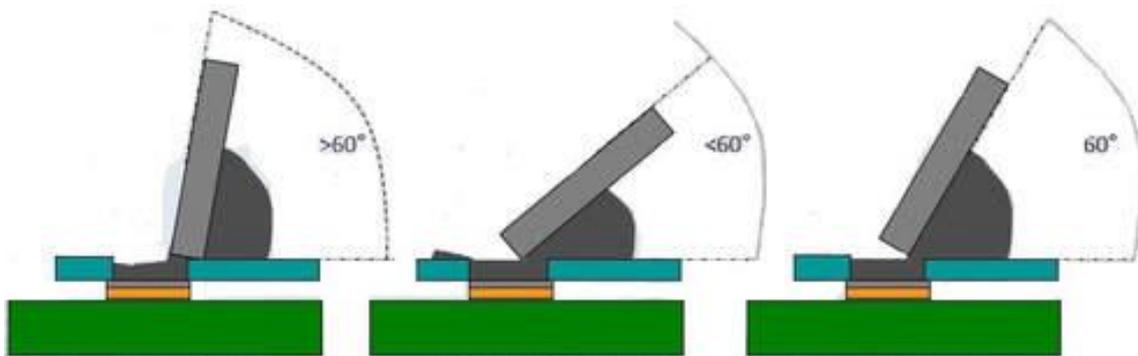


Figura 4.1 - Efeito do ângulo do rodo.

4) Velocidade de separação do estêncil

Essa é a velocidade na qual o PCB se separa do estêncil após a impressão. Uma configuração de velocidade de até 3 mm por segundo deve ser usada e é governada pelo tamanho das aberturas dentro do estêncil. Se isso for muito rápido, a pasta de solda não será totalmente liberada das aberturas e a formação de bordas altas ao redor dos depósitos, também conhecidas como “orelhas de cachorro”, pode ser vista na Figura 4.2.

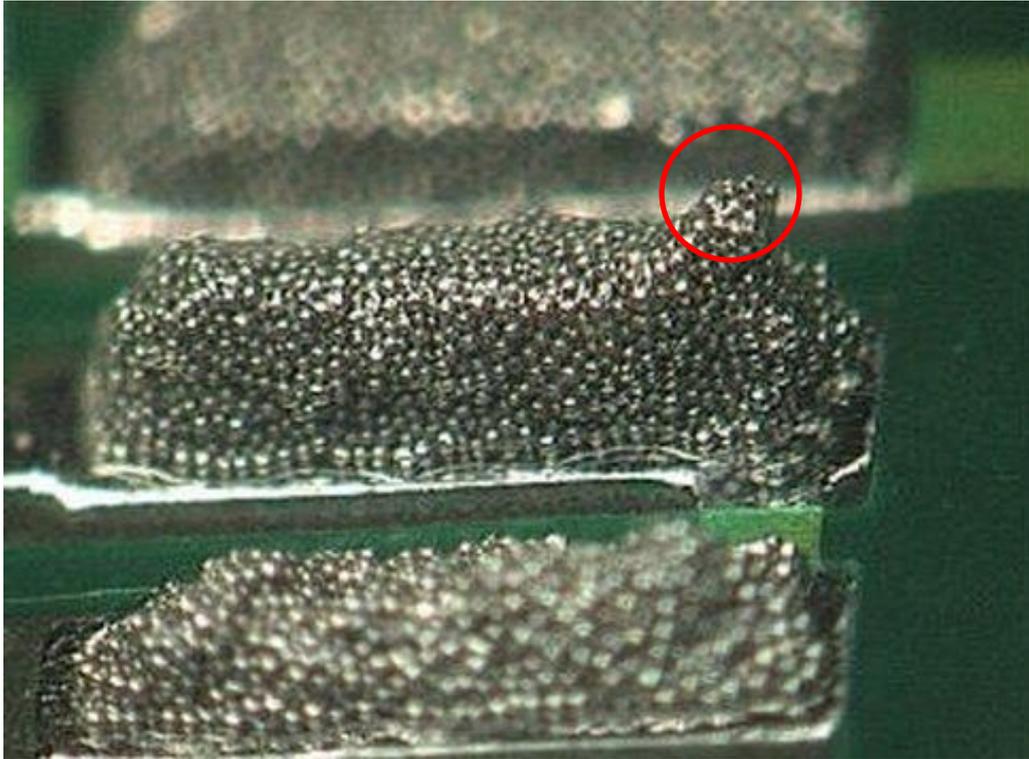


Figura 4.2 - Exemplo de imagem mostrando pontos altos nos depósitos de pasta de solda conhecidos como 'orelhas de cachorro'.

5) Limpeza de estêncil

O estêncil deve ser limpo regularmente durante o uso, o que pode ser feito manual ou automaticamente. Muitas das máquinas automáticas de impressão possuem um sistema que pode ser configurado para limpar o estêncil após um número fixo de impressões usando material sem fiapos aplicado com um produto químico de limpeza como o IPA. O sistema executa duas funções, a primeira é a limpeza da parte inferior do estêncil para parar de borrar, e a segunda é a limpeza das aberturas usando vácuo para interromper os bloqueios.

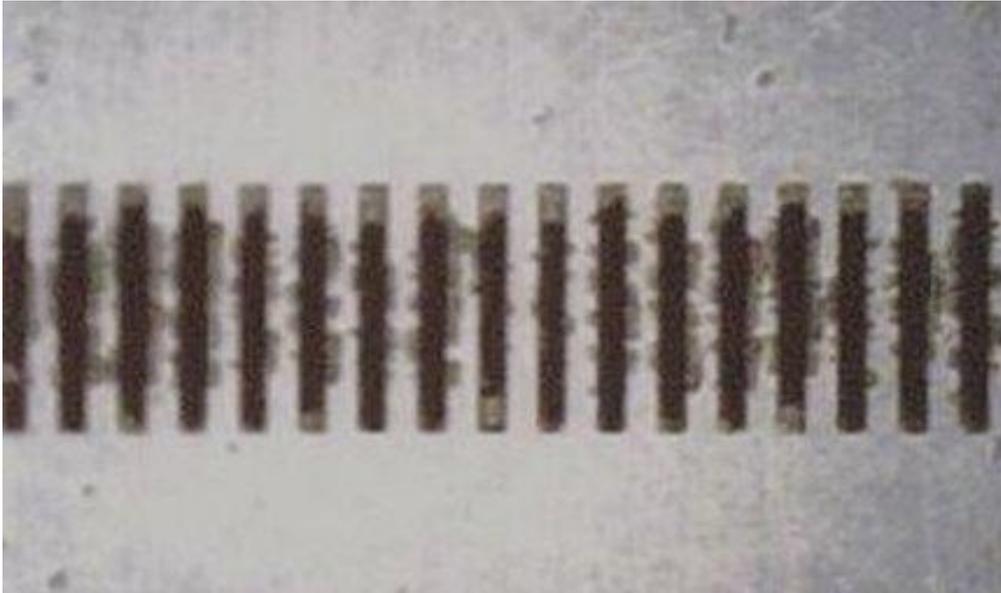


Figura 4.3a - Pasta de solda 'sangrando' na parte inferior do estêncil.

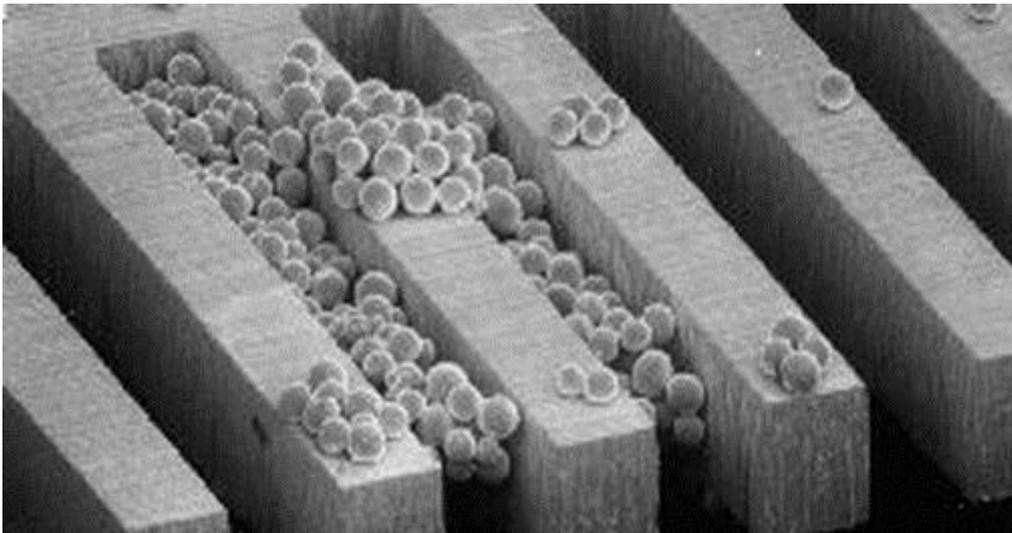


Figura 4.3b - Abertura bloqueada do estêncil.

6) Condição do estêncil e rodo

Os estêncis e os rodos precisam ser cuidadosamente armazenados e mantidos, pois qualquer dano mecânico pode resultar em resultados indesejados. Ambos devem ser verificados antes do uso e cuidadosamente limpos após o uso, idealmente usando um sistema de limpeza automatizado para remover qualquer resíduo de pasta de solda. Se for observado algum dano nos rodos ou nos estêncis, eles devem ser substituídos para garantir um processo confiável e repetível.

7) Suporte PCB

Esse é um fator importante para garantir que a PCB seja mantida plana contra o estêncil durante o processo de impressão. Se o PCB não for totalmente suportado, poderá causar defeitos de impressão, como um depósito de pasta e manchas ruins. Geralmente, os suportes para PCB são fornecidos com máquinas de impressão com altura fixa e posições programáveis para garantir um processo consistente. Também existem suportes adaptáveis para PCB disponíveis com designs variados que se moldam ao PCB e são úteis para montagens de dupla face.



Figura 4.4 - Exemplo de suporte de PCB adaptável em uso.

8) Curso de impressão

Essa é a distância que o rodo viaja através do estêncil e recomenda-se que ela esteja no mínimo 20 mm além da abertura mais distante. A distância após a abertura mais distante é importante para permitir espaço suficiente para a pasta rolar no curso de retorno, pois é o rolamento do cordão de pasta de solda que gera a força descendente que direciona a pasta para as aberturas.

9) Tipo, armazenamento e manuseio

A pasta de solda é essencialmente uma solda em pó suspensa em um meio grosso chamado fluxo. O fluxo atua como um adesivo temporário, mantendo os componentes no lugar até que o processo de solda derreta a solda e forme a conexão elétrica / mecânica.

A pasta de solda é um material 'tixotrópico' e exige que a energia seja aplicada na forma de movimento da cabeça de impressão para alterar a viscosidade e fluir uniformemente nas aberturas do estêncil. Um termo usado com frequência é a 'Reologia' da pasta de solda, que descreve como a pasta de solda forma um bloco quando nenhuma energia é aplicada, mas muda para um material mais fluido quando a energia é aplicada.

O tipo correto de pasta de solda deve ser selecionado com base no tamanho das aberturas no estêncil. A liberação das aberturas do estêncil é afetada pelo tamanho da partícula na pasta de solda selecionada. Abaixo estão os tamanhos de partículas disponíveis:

Tamanho de partícula em um Tipo de partícula:

- 75-45 2
- 45-25 3
- 38-20 4
- 25-15 5
- 15-5 6

Existe uma 'regra das 5 bolas' (Figura 4.5) que diz que, idealmente, um mínimo de 5 partículas de solda deve abranger a largura da menor abertura.

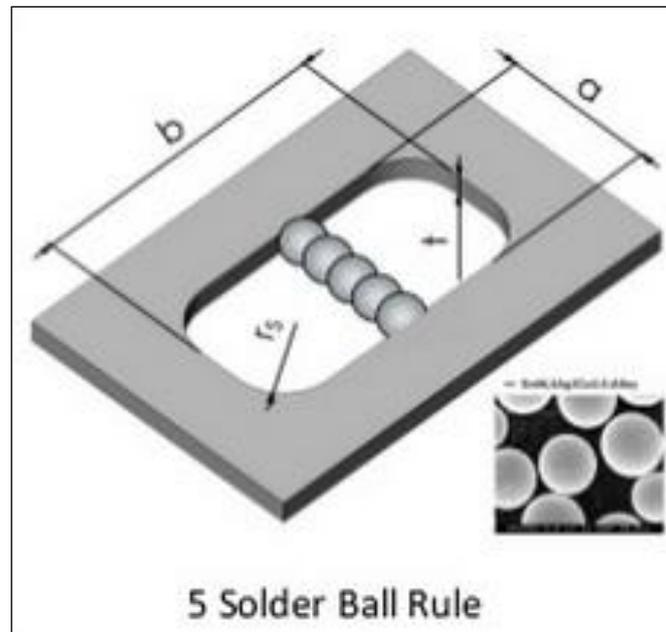


Figura 4.5 - Regra das 5 bolas.
Fonte: WAINER; BRANDI e MELLO, 2014.

As pastas de solda com chumbo e sem chumbo devem ser refrigeradas enquanto são armazenadas (Figura 4.6) para manter sua vida útil, mas devem ser levadas à temperatura ambiente por um período mínimo de oito horas antes do uso para manter a qualidade.

A pasta de solda deve ser misturada antes do uso para garantir uma distribuição uniforme de qualquer material separado por toda a pasta. A mistura pode ser realizada manual ou automaticamente usando uma centrífuga (Figura 4.7) por um período entre três a cinco minutos (Figura 4.8).



Figura 4.6 - Pasta de solda antes de misturar.



Figura 4.7 - Mistura usando centrífuga.



Figura 4.8 - Pasta de solda após mistura.

Como regra geral, a pasta de solda usada há mais de 8 horas deve ser descartada. A pasta de solda usada por até 4 horas pode ser armazenada por até 24 horas em um recipiente selado à temperatura ambiente antes de ser reutilizada. O ambiente de trabalho (temperatura ambiente e umidade relativa) afetará o desempenho e, para garantir a condição da pasta de solda, um simples teste de coalescência pode ser realizado (Figuras 4.9 e 4.10).

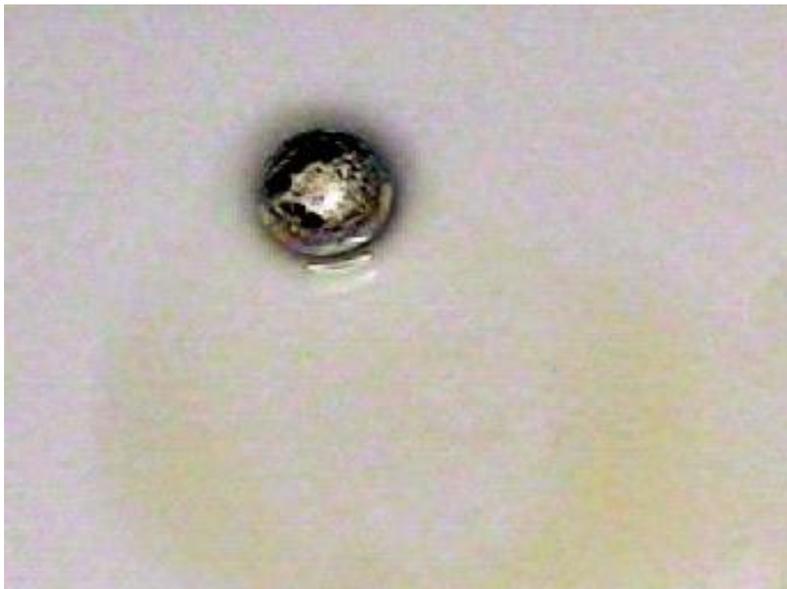


Figura 4.9 - Boa coalescência de solda.



Figura 4.10 - Baixa coalescência de solda.

De acordo com TIBURI (2017), a coalescência (junção em um só corpo de partes que estavam separadas) localizada de metais ou não metais produzida ou pelo aquecimento dos materiais até a temperatura de soldagem (com ou sem aplicação de pressão) ou somente pela aplicação de pressão, com ou sem o uso de material de adição

10) Inspeção (2D / 3D)

Para verificar o processo, a inspeção automática pode ser usada para verificar com precisão os depósitos de pasta de solda. Existem dois tipos de inspeção de pasta de solda disponíveis: inspeção 2D (Figura 4.11) que verifica a área do depósito de pasta e inspeção 3D (Figura 4.12) que verifica o volume do depósito de pasta.

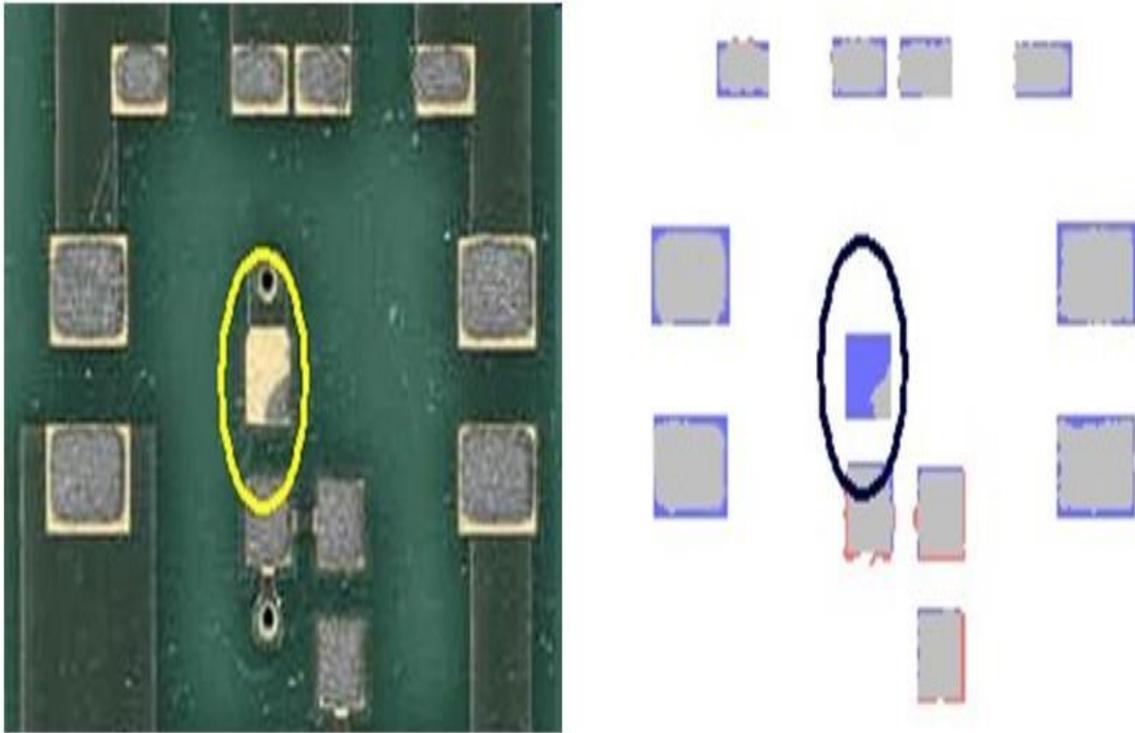


Figura 4.11 - Exemplo de falha encontrada pela inspeção 2D.

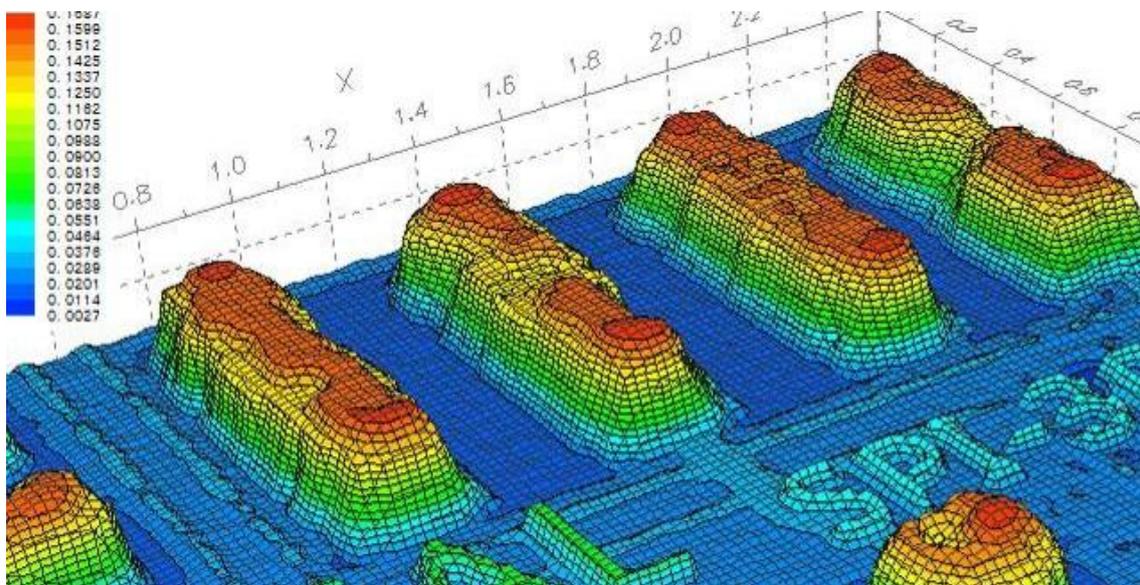


Figura 4.12 - Exemplo de resultados de inspeção 3D.

Na inspeção de impressão da pasta de solda, a Figura 4.13 mostra exemplos de resultados possíveis:

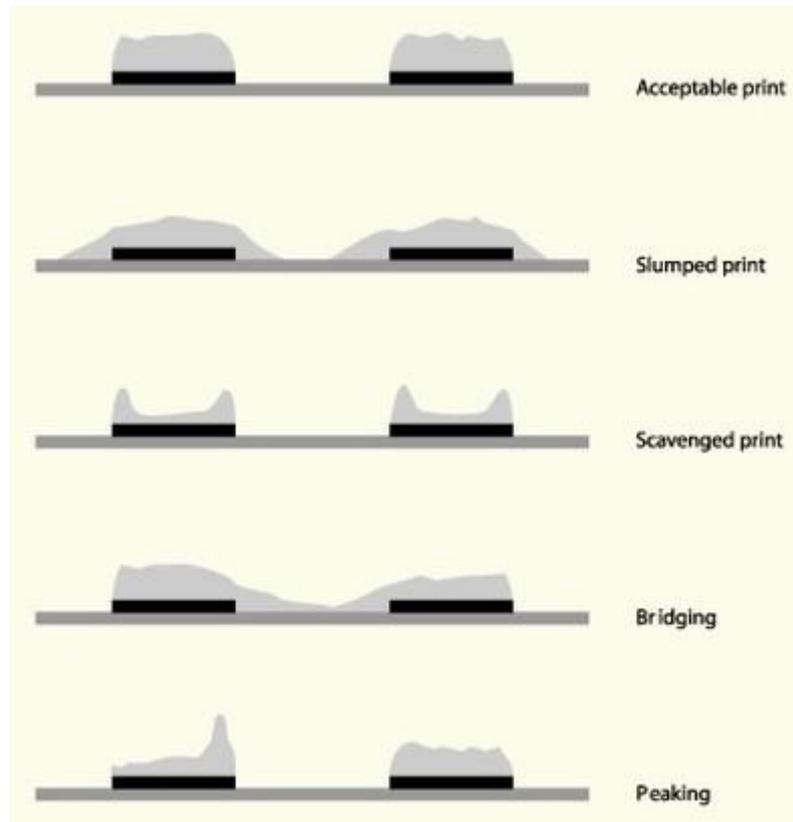


Figura 4.13 - Resultados possíveis na inspeção de impressão da pasta de solda.

Fonte: Estudo de caso, 2021.

A 'Impressão em queda' geralmente ocorre em um processo executado a temperaturas acima do nível recomendado.

O resultado da 'impressão eliminada' é o que pode ser visto se a pressão do rodo estiver muito alta e ocorrer 'escavação'.

A "ponte" pode ser o resultado de um suporte insuficiente da placa ou condição / limpeza do estêncil.

Geralmente é observado 'pico' quando a velocidade de separação do estêncil está muito alta.

4.2 - METODOLOGIA DE HOMOLOGAÇÃO DE PASTA DE SOLDA UTILIZADA

A validação qualitativa e quantitativa deu-se em função dos defeitos apresentados na inspeção de solda (SAOI) em PPM, conforme norma IPC-610.

O método de medição foi calculado pela seguinte fórmula:

PPM = (Quantidade de defeitos / (placas produzidas * Número de Pontos)) * 1.000.000.

Exemplo: Numa produção de 100 placas, com 1.200 pontos (componentes), se houver 10 defeitos, em PPM temos = $(10 / (100 * 1.200)) * 1.000.000 = 83,33$.

4.2.1 - Defeitos considerados pela máquina de inspeção ótica SAOI

Deslocado – O componente deve ter seu terminal até 50% sobre ilha (Figura 4.14).

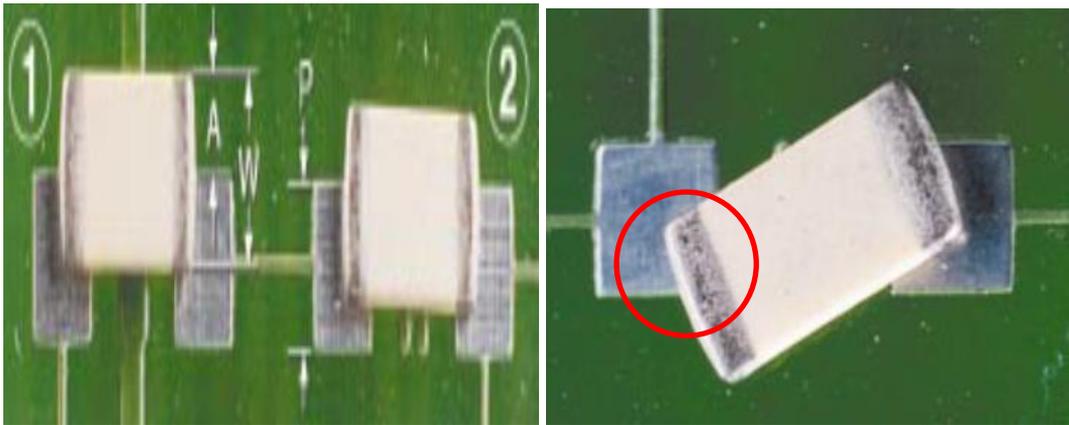


Figura 4.14 - Defeito deslocado.

Excesso de solda – A quantidade de solda pode ser superior ao tamanho do componente, mas não pode ser estender sobre o corpo do componente (Figura 4.15).

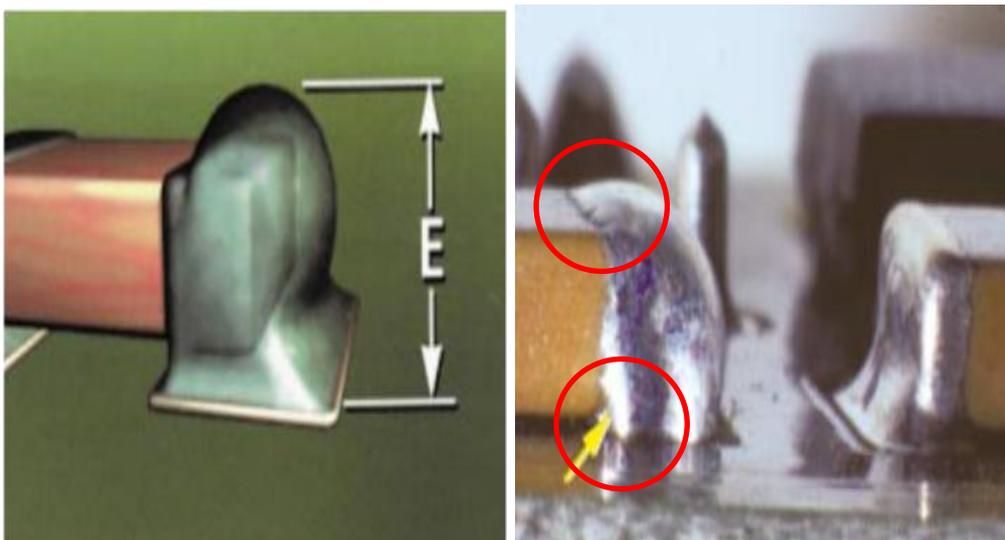


Figura 4.15 - Defeito de excesso de solda.

Solda insuficiente – A solda não fez conexão com o componente (Figura 4.16).

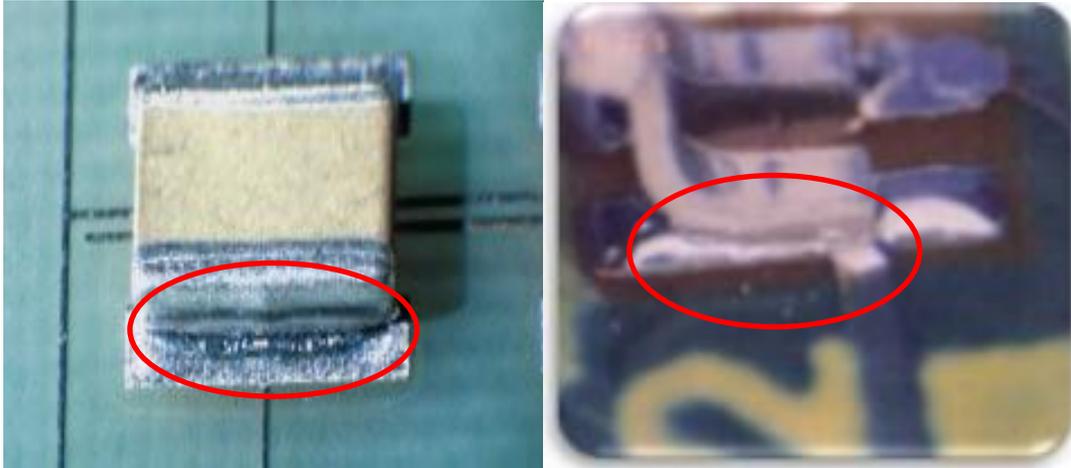


Figura 4.16 - Defeito de solda insuficiente.

Solder ball – Bolas de solda que podem comprometer o correto desempenho do circuito (Figura 4.17).

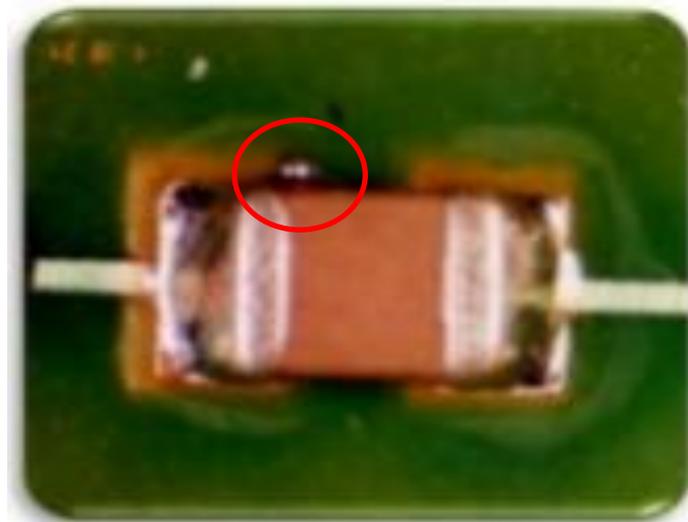


Figura 4.17 - Defeito solder ball.

Manhattan (Tombstone), conforme ilustra a Figura 4.18:

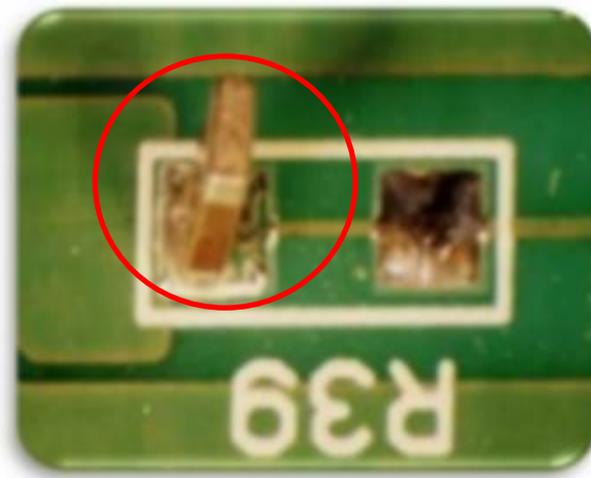


Figura 4.18 - Defeito tombstone.

Short circuit – Curto circuito, ligação de solda entre dois pontos que não deveria estar ligados eletricamente (Figura 4.19).

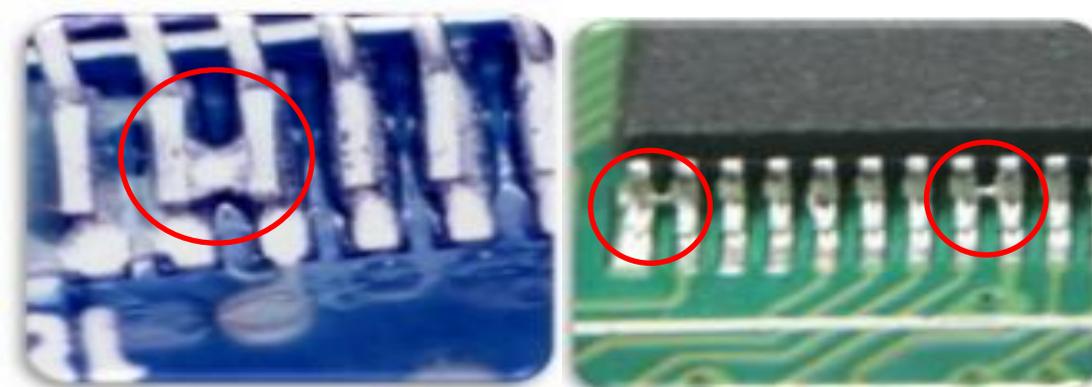


Figura 4.19 - Defeito short circuit.

Missing – Componente faltando.

Component inverted – Componente com polaridade, montado invertido.

4.3 - PERFIL DO FORNO PARA SOLDAGEM

O perfil de temperatura de refusão é definido pela relação da temperatura e o tempo de aquecimento. Há dois tipos de perfis básicos de temperatura: Ramp-Soak-Spike (RSS) e Ramp-to-Spike (RTS). O perfil de temperatura RTS é adequado para a maioria das aplicações para melhorar o desempenho da solda. O perfil de temperatura é apropriado quando a montagem e tem uma grande massa térmica ou grande variação do ΔT .

O perfil de temperatura deve ser uma referência cruzada entre a recomendação do fabricante dos componentes para assegurar que a temperatura não exceda a temperatura máxima em todos os materiais. É aconselhável verificar a sensibilidade térmica dos componentes pela especificação de cada fornecedor ou usar a IPC-9502, antes de definir um perfil de refusão.

Como já apresentou-se um processo definido, isto significa que todas estas questões já foram verificadas, cabendo apenas aplicar a recomendação do fabricante.

O fabricante da solda recomenda um perfil de refusão, para o melhor desempenho da soldagem, conforme ilustra a Figura 4.20.

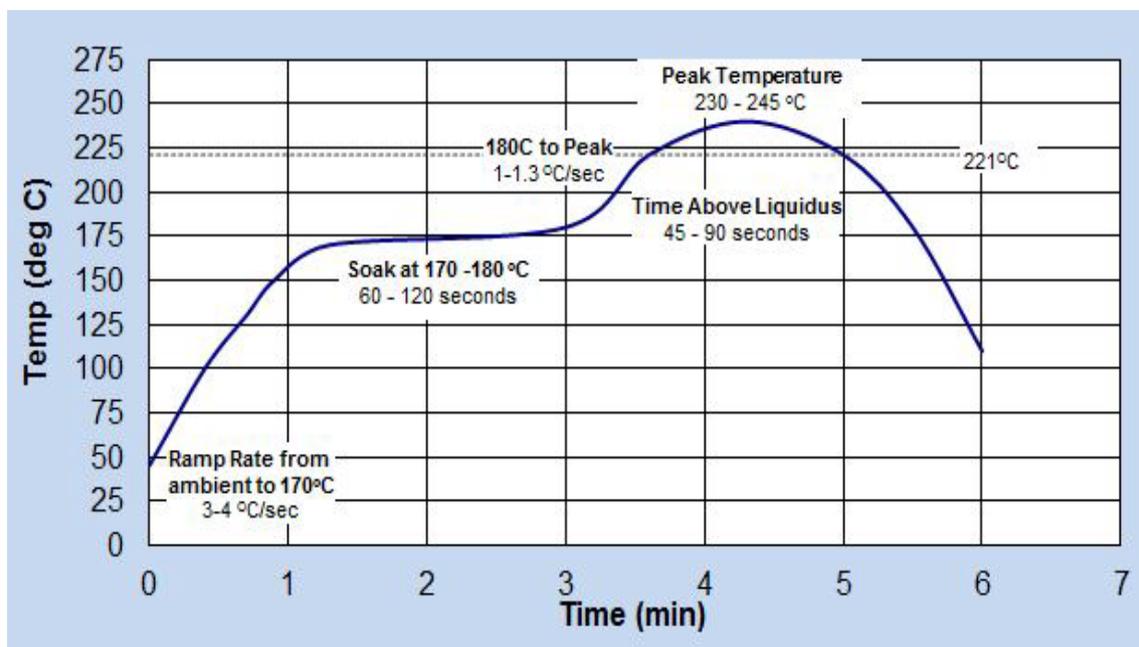


Figura 4.20 - Recomendação do perfil de refusão.

CUNHA (2013) menciona os tipos de perfis de forno para soldagem:

Ramp Up: A porção do perfil onde a placa é aquecida a partir da temperatura ambiente a uma taxa predeterminada. Controlar a rampa é necessário para prevenir danos térmicos aos componentes.

Preheat / Soak Time: O tempo é monitorado para assegurar o equilíbrio térmico em toda a placa. A porção de preaquecimento é igual a = t_{smin} to t_{smax} .

Time Above Liquidus: Este é o tempo no qual a liga de solda está no estado líquido. A placa deve ficar em tempo predeterminado nessa fase para assegurar que todas as áreas da placa serão adequadamente fundidas.

Time Above Peak: Tempo no qual o componente medido alcança a maior temperatura.

4.4 - PASTAS DE SOLDAS LOCAIS

No mercado global, há as seguintes pastas de soldas, segundo informações obtidas no estudo de Modenesi e Marques (2018):

A Khanna Traders & Engineers oferece uma ampla variedade de pastas de solda, incluindo as pastas regulares de estanho, chumbo, prata e sem chumbo (estanho / prata / cobre), baixo ponto de fusão (Sn / Ag / Bi) disponível em T-3 e T -4 versões. Para atender às demandas de produção em massa na montagem de eletrônicos, a Khanna Traders & Engineers oferece pasta de solda com excelente estabilidade durante todo o processo.

A Mectronics Marketing Services impressão contínua, possui alta durabilidade contra quedas de pré-aquecimento e a pegajosidade da pasta de solda é obtida até 24 horas após a impressão. A pasta de solda da série Cosmo pode ser armazenada a 35 ° C por um mês.

A Khanna Traders & Engineers também oferece uma pasta de solda Sn / Ag / Bi de baixo ponto de fusão com ponto de fusão de 140° C. Essa pasta evita que os componentes e as PCBs sofram choque térmico e é muito útil para o processo SMT dos dois lados. Além disso, as ligas emergentes adicionarão mais benefícios de custo ao processo de produção.

Tendo em mente as últimas tendências ecológicas, a Nihon Superior oferece o SN100C P500, que é uma pasta de solda de uso geral sem chumbo, altamente confiável e sem limpeza. Devido à sua alta fluidez próxima ao seu ponto de fusão e umedecimento rápido, o SN100C P500 pode ser usado como substituto imediato da pasta de solda SAC em perfis de refluxo que atingem um pico em torno de 240 ° C. Ele oferece excelente capacidade de impressão, longa vida útil do estêncil, boa aderência, excelente refluxo e umedecimento em todos os substratos, sem esferas de solda e mínimo resíduo claro. Ele traz à solda por refluxo as vantagens que tornaram o SN100C uma escolha tão popular na soldagem por onda, ou seja, filetes brilhantes e lisos sem defeitos de encolhimento, alta ductilidade e camada composta intermetálica estável, resultando em desempenho superior sob vibração e carga de impacto.

Existe também a Nihon Superior, que sempre introduziu produtos da próxima geração que são completamente livres de halogênio. A SN100C cresceu e se tornou uma das ligas de solda por onda sem chumbo mais populares em todo o mundo. O SN100C foi desenvolvido inicialmente para atender à necessidade de uma solda econômica por ondas; verificou-se desde então que suas propriedades também fazem do SN100C a escolha ideal para refluxo, solda manual e embalagem de componentes. A Nihon está fazendo pesquisa e desenvolvimento contínuos para atender e apoiar as necessidades dos clientes. A empresa está entre os principais players no fornecimento de materiais avançados de solda e brasagem para o mercado global. Está fabricando a liga de solda eutética SN100C, isenta de prata e patenteada.

A Cookson Electronics apresentou sua pasta Alpha CVP-520, que é uma pasta de solda sem chumbo e baixa temperatura (ou seja, temperatura de refluxo de pico <170 ° C). Essa pasta oferece três vantagens significativas no processo - eliminação de uma etapa do processo de solda por onda ou seletiva, evitando danos a componentes e conectores sensíveis à temperatura, consumo de energia reduzido e uma redução significativa no tempo do ciclo do processo de refluxo. A liga Sn / Bi / Ag cuidadosamente selecionada no poço Alpha CVP-520 fornece o menor ponto de fusão, a menor faixa pastosa durante a fusão e a re-solidificação, juntamente com um grão muito fino. estrutura, oferecendo resistência máxima à fadiga baseada no ciclo térmico. A liga também produz juntas de solda BGA com baixa vazão, mesmo quando uma esfera de liga SAC tradicional é usada.

A Cookson Electronics também introduziu no mercado indiano várias ligas SAC com baixo teor de prata, como SACX0307 Plus (0,3% Ag), SACX0807 Plus (0,8% Ag) no mercado indiano.

Pasta de solda sem chumbo com baixo ponto de fusão de Khanna Traders & Engineers faz substituições de alta prata contendo ligas SAC305, onde a prata é de 3%, o que afeta diretamente 30-35% do custo da pasta de solda sem chumbo. As pastas de solda sem chumbo e com baixa temperatura de prata da Cookson reduziram significativamente os custos, agregaram valor fenomenal e economizaram milhares de dólares para diversas empresas.

A Indium Corporation fabrica pó esférico de baixo óxido, composto por uma variedade de ligas sem chumbo, que cobre uma ampla faixa de temperaturas de fusão. O Indium 8.9 é uma pasta de solda sem limpeza por refluxo de ar ou nitrogênio, formulada especificamente para acomodar as temperaturas de processamento mais altas exigidas

pelos sistemas de estanho / prata / liga de cobre (SAC), estanho / prata e outros sistemas de liga favorecidos pela indústria eletrônica para substituir as soldas de chumbo. Essa pasta oferece eficiência sem precedentes na transferência de impressão em estêncil, enquanto trabalha na mais ampla gama de processos. Além disso, a alta testabilidade da sonda do Indium 8.9 também minimiza falhas falsas em testes no circuito (ICT).

A Henkel Adhesive Technologies desenvolveu o Multicore LF620, uma nova pasta de solda sem chumbo, formulada com uma nova química de ativador. Apresenta esvaziamento extremamente baixo, boa coalescência e excelente soldabilidade em uma ampla variedade de acabamentos de superfície, incluindo níquel / ouro,

Pasta de solda F 640 da Mectronics Marketing Services possui estanho de imersão, prata de imersão e cobre OSP. Além disso, a versatilidade do material oferece excelente capacidade de impressão em velocidades baixas ou altas, com definição de impressão semelhante a tijolos, produzindo grandes melhorias no rendimento e, ao mesmo tempo, garantindo a consistência dos depósitos de impressão. De acordo com um relatório, o Multicore LF620 é uma opção ideal para os fabricantes, tanto para placas populosas complexas e multifuncionais quanto para dispositivos portáteis menores que ditam arremessos mais finos (0,4 mm e acima), tamanhos de placa reduzidos e maior funcionalidade, o Multicore LF620 oferece desempenho incomparável e processabilidade.

A Mectronics Marketing Services lançou a série de pastas de solda F 640. Trata-se de uma pasta de solda sem chumbo de última geração que promove o umedecimento e minimiza os defeitos de solda. O sistema de fluxo F 640 é especificamente otimizado para solda de liga SAC. Essa fórmula não apenas fornece desempenho superior em uma variedade de superfícies e deixa para trás um resíduo claro, mas também exibe uma queda mínima e possui excelente desempenho de impressão após espera. Testes extensivos nas instalações dos clientes provaram que esta pasta é capaz de oferecer desempenho livre de defeitos no ambiente de produção.

Pasta de solda sem chumbo Alpha CPV 520 da Cookson Electronics, atualmente, os fabricantes de soldas compreendem as demandas de seus clientes e oferecem uma gama de pastas de solda que podem ser utilizadas a preços razoáveis para ajudar o setor a fabricar itens eletrônicos altamente eficientes e duráveis. Somente a melhor qualidade de solda pode ajudar a indústria eletrônica indiana a produzir produtos que atendam aos padrões industriais.

No estudo de caso apresentado, foram desenvolvidas duas pastas produzidas localmente, a AIM produzida pela ALFATEC e ALPHA da Apha Assembly, com especificações, composição e desempenho internacionais. A tabela 4.1 apresenta os custos por quilograma da pasta local.

Tabela 4.1 - Custos por quilograma da pasta local.

UNIT COST (US\$)	
AIM	ALPHA
71,5	65

As pastas são usadas mundialmente em empresas de grande porte. As pastas são Lead Free com a composição sem chumbo. A composição L/F é a seguinte: 96.5Sn/3.0Ag/0.5Cu.

Ressalta-se que a pasta importada da Coreia usada anteriormente era a HEESUNG. O custo FOB (Free On Board – Custo sem Transporte) dessa pasta é de US\$ 46,56. Neste custo, não estão incluídos os custos de transporte, taxas, custos do estoque e serviços. A análise de custo desse estudo de caso foi realizada com base em uma importação de 360 quilos de pasta. A taxa de dólar usada foi de R\$ 3,6874. O custo total da solda considerando todas as despesas é de US\$ 92,71. Praticamente o dobro do valor FOB de US\$ 46,56, conforme fica evidenciado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Custos totais das despesas.

TAX	COST (R\$)	TAX	COST (R\$)
DI	360Kg	SEGURO INTERNACIONAL	37,32
II	13.383,80	SUFRAMA	340
PIS	2.007,57	ARMAZENAGEM	554,26
COFINS	9.225,26	DISCONSOLIDAÇÃO	202,81
SISCOMEX	214,5	DESPACHANTE	76,54
FRENTE INTER.	33.749,30	FOB	61.812,00
FRETE LOCAL	225,15	FTI	1.236,24
SUB Total	58.805,58	SUB Total	64.259,17
TTL DESPESAS BRL	123.064,74	TTL DESPESAS USD	33.374,40

A economia desse processo de localização inclui a diferença do valor final da pasta de solda importada, os custos de estoque em trânsito e local no valor ano de US\$

698.834,57 no primeiro ano. Economia do estoque local e trânsito considerando o valor de US\$ 92,71/Kg. Entrega diária direta a processo produtivo (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Economia do processo do estoque local e trânsito.

ESTOQUE	QTDE (Kg)	US\$
LOCAL	2.000	185.420,00
TRÂNSITO	495	45.891,45
TOTAL		231.311,45

A economia anual considerando o uso da Solda ALPHA com um consumo de 1.406 Kg/Mês é mostrada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Economia anual do uso da Solda ALPHA.

Consumo mês (Kg)	Custo HEESUNG (US\$)	Custo ALPHA (US\$)	Economia mês (US\$)	Economia Ano (US\$)
1.406,00	130.350,26	91.390,00	38.960,26	467.523,12

O teste realizado no processo foi avaliado de acordo IPC-610-A Indicador de qualidade de solda, avaliado automaticamente ficou conforme resultado da Figura 4.21:

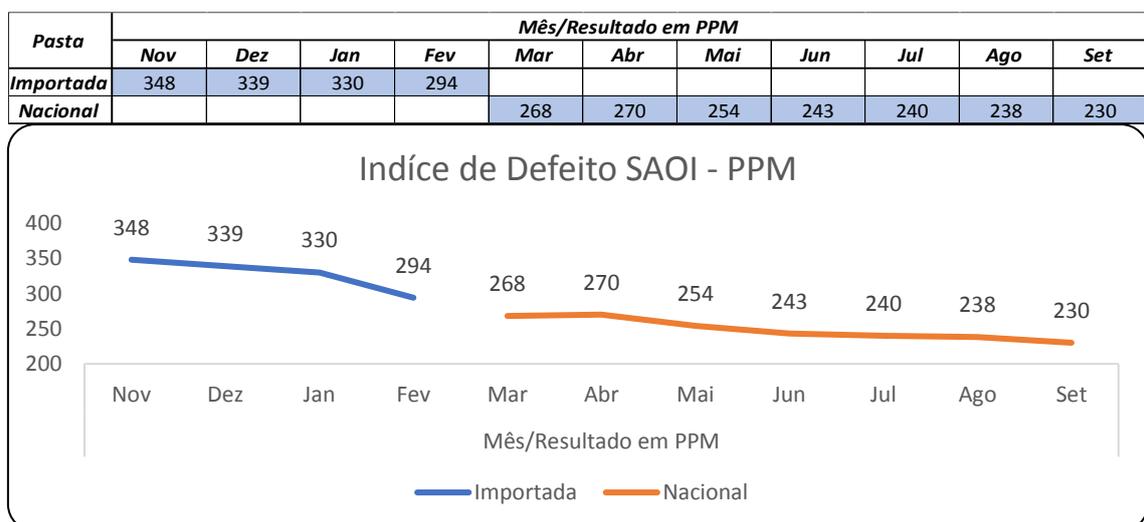


Figura 4.21 - Resultado dos testes realizados e defeitos em PPM.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

Ao término do trabalho, é possível evidenciar a redução significativa nos custos de pasta de solda no processo de tecnologia de montagem superficial (SMT) com a sua fabricação feita localmente.

A pasta de solda, que serve principalmente como um meio de conexão entre os recursos de interconexão do dispositivo e a PCB, é fundamental para o rendimento do produto em uma linha SMT. A má impressão da pasta de solda resulta em um grande número de defeitos. Os componentes de uma pasta de solda foram projetados para oferecer excelentes características de impressão e refluxo. Ao escolher uma pasta de solda, é importante que o comprador garanta que a pasta ofereça longas horas de impressão, tenha o tamanho certo de partícula para o tom dos componentes e seja do tipo de fluxo adequado conforme a aplicação de montagem.

Segundo os autores apresentados na base teórica, há várias coisas a considerar ao escolher a pasta de solda certa. Esses critérios de seleção incluem:

Tamanho das partículas de liga de solda na pasta de solda: O tamanho de partícula apropriado das partículas de liga em uma pasta de solda para uma determinada aplicação é baseado no tamanho mínimo das aberturas de abertura do estêncil a serem usadas na impressão da pasta de solda no quadro ou substrato. Partículas excessivamente grandes podem entupir facilmente as aberturas do estêncil, resultando em baixa qualidade de impressão, o que requer limpeza frequente que diminui a produção. Portanto, o tamanho das partículas se torna mais crítico à medida que a quantidade de solda a ser depositada se torna menor.

Propriedades do meio de fluxo: O fluxo deve exibir excelente atividade química para remover os filmes finos de óxido e outros contaminantes da superfície dos metais que estão sendo soldados. O fluxo deve ser fácil de ativar termicamente, mas não deve se decompor facilmente.

Design do estêncil a ser usado: O design do estêncil também afeta a eficácia da pasta de solda. A proporção do tamanho da abertura para o espaçamento do estêncil afeta a capacidade de impressão da pasta de solda. O formato da abertura também pode

afetar o tamanho da solda depositada no mesmo tom. O estêncil deve ser fino, mas rígido o suficiente para resistir à deformação.

Colar parâmetros de impressão: Os parâmetros de impressão também devem ser otimizados com relação à pasta de solda. A viscosidade da pasta afeta a velocidade na qual a impressão pode ser feita, onde é necessária fluidez adequada para permitir um bom rolo que preenche corretamente as aberturas. Deve-se notar que a pasta também precisa exibir rigidez suficiente para formar um depósito bem definido quando o estêncil é separado da placa ou substrato. Portanto, verifique se a viscosidade da pasta não é muito fluida nem espessa.

5.2 - SUGESTÕES

- Aumentar a base de estudos acerca da presente temática, uma vez que os estudos em língua vernácula ainda são escassos;
- Incentivar as empresas a fazerem uso da pasta aqui adotada não apenas visando as questões financeiras, mas, sobretudo, ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. *et al.*, Substitution of tin-lead solders in manufacturing: impacts on workers' health and on the environment. **Gestão & Produção**. v. 20, n. 1, p. 46-58, 2013.

AMORIM, F. *et al.*, **Avaliação das Propriedades Termomecânicas de Fios de Liga com Memória de Forma NiTi Soldados por Pulsos de Micro TIG**. Soldag. insp., São Paulo, v. 20, n. 4, p. 423-433, 2015.

ANSANELLI, S. L. **Os impactos das exigências ambientais europeias para equipamentos eletroeletrônicos sobre o Brasil**. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BOMFIM, R. **Zona Franca de Manaus: condicionantes do futuro**. 3. ed. Rio de Janeiro: Valer Editora, 2016.

BRASIL. **DECRETO-LEI Nº 288, de 28 de fevereiro de 1967**. Altera as disposições da Lei número 3.173 de 6 de junho de 1957 e regula a Zona Franca de Manaus.

BRASIL. **Lei Complementar nº 124**, de 3 de janeiro de 2007. Institui, na forma do art. 43 a Constituição Federal, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM; estabelece sua composição, natureza jurídica, objetivos, área de competência e instrumentos de ação; dispõe sobre o Fundo de Desenvolvimento da Amazônia – FDA; altera a Medida Provisória no 2.157-5, de 24 de agosto de 2001; revoga a Lei Complementar no 67, de 13 de junho de 1991; e dá outras providências. In: Diário Oficial da União, Brasília, 4 de janeiro de 2007, Seção 1, p. 1.

CAVALCANTE, H. *et al.*, **Otimização de Parâmetros Operacionais do Processo de Soldagem FCAW para Aplicação em Revestimento Duro**. Soldag. insp., São Paulo, v. 25, e 2522, 2020.

COPPOLA, G. **Análise da influência da variação de ângulo de chanfro na indução de tensões residuais em processo de soldagem MIG/MAG**. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto. 2016.

CONSUL, T. B.; PAIVA, J. M. Propriedades mecânicas do poliestireno de alto impacto reciclado proveniente de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. **22º CBECiMat** - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais 06 a 10 de novembro de 2016, Natal, RN, Brasil

CUNHA, T. V. da. **Desenvolvimento e avaliação de tecnologia para soldagem tig com pulsação ultrassônica**. 2013. 266 p. Dissertação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

DEMAJOROVIC, J. *et al.*, Logística reversa de REEE em países em desenvolvimento: desafios e perspectivas para o modelo brasileiro. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 2 p. 119-138, abr.-jun. 2016.

Diretiva WEEE (2002/96/EC). Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d961fd1d6bcaa49.0004.02/DOC_1&format=PDF>. Acesso em: 19 de maio de 2020, 15h45min.

FARIA, D. R. D. M. **Conceitos Básicos de Componentes SMD**. 2017. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/5123198-Conceitos-basicos-de-componentes-smd-engdecio-renno-de-mendonca-faria.html>>. Acesso em: 08 de abril de 2021, 20h15min.

FELIZARDO, I. **Apostila Tecnologia da Soldagem**. CEFET Minas Gerais: Departamento de Engenharia Mecânica. 2016.

FERMO, I. *et al.*, **Equipamento Automatizado de Soldagem Capacitiva para Termopares**. Soldag. insp., São Paulo, v. 24, e2417, 2019.

FERREIRA, S. M.; BOTELHO, L. **O emprego industrial na Região Norte: o caso do Polo Industrial de Manaus**. Estudos avançados, v. 28, n. 81, p. 141-154, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GONÇALVES, R. C. **Uma análise econômica do modelo de desenvolvimento regional Zona Franca de Manaus**. 76 f. Tese (Doutorado) – Universidade Católica de Brasília, 2018.

GRIGOLETTO, E. M. **Propriedades de Tração e Fadiga Isotérmica de uma Junta de Cobre com as Ligas Sn63-Pb37, Sn62-Pb36-Ag2 e Sn42-Bi58**. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2013, 147p.

HIRAYAMA, D.; SARON, C. Characterisation of recycled acrylonitrile-butadiene styrene and high-impact polystyrene from waste computer equipment in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 33, n. 6, p. 543–549, jun. 2015.

HOLLAND, M. *et al.*, **Zona Franca de Manaus: impactos, efetividade e oportunidade**. Fundação Getúlio Vargas: Escola de Economia de São Paulo, abr. 2019. Disponível em: <https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/estudos_fgv_zonafranca_manaus_abril_2019v2.pdf>. Acesso em: 13 de abril de 2020, 21h45min.

HWANG, J.S. **Implementing Lead Free Electronics**. N.Y., McGraw Hill, Capítulos 1 e 9. 2014.

KEITH, B. **Starting Electronics (Fourth Edition)**. 2011, Pages 205-257.

LAU, J. H. **Electronics manufacturing: with lead-free, halogen-free, and conductive-adhesive material**. McGrawHill. 2018.

LAURICELLA, C. M. **Lead toxicity and its replacement in tin-lead alloys**. Curso de Engenharia Universidade Paulista, São Paulo, Brasil. 2010.

MACHADO, L. O. *et al.*, Avaliação da implantação do Protocolo de Vigilância e Atenção à Saúde de ex-trabalhadores e da população expostos a chumbo, cádmio, cobre e zinco em Santo Amaro, Bahia, Brasil. **Rev. bras. saúde ocup.**, São Paulo, v. 45, e9, 2020.

MAILDE, O. *et al.* Novel zero-dimensional lead-free bismuth based perovskites: from synthesis to structural and optoelectronic characterization. **MATERIALS ADVANCES**; v. 1, n. 9, p. 3439-3448, 2020.

MATTOS, U. A. O. *et al.* **Avaliação e diagnóstico das condições de trabalho em duas indústrias de baterias chumbo-ácidas no Estado do Rio de Janeiro**. Ciência e Saúde Coletiva, [S.l.], v. 8, 2013.

MIRANDA, R. N. **Zona Franca de Manaus: desafios e vulnerabilidades**. Senado Federal, Texto para Discussão, 126. 2013.

MISHCHENKO, A. **Tensões Residuais em Soldagem a Arco: Uma Visão Holística**. Soldagem & Inspeção, v. 23, n. 1, p. 93-112, 2018.

MODENESI, P. J.; MARQUES P.V.: **Introdução aos processos de soldagem**. UFMG, 2018.

NASCIMENTO, D. M. do. **Metodologia do trabalho científico: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Fórum, 2008.

NATIONAL SEMICONDUCTOR; **Mounting of Surface Mount Components**. Disponível em <www.national.com/ms/MO/MOUNTING_OF_SURFACE_COMPONENTS-ISC.pdf>. Acesso em: 02 janeiro de 2020, 22h45min.

NUNES, M. A. *et al.*, Reprocessability of high impact polystyrene/clay nanocomposites in extrusion. **Polymer Degradation and Stability**, v. 125, p. 87–96, mar. 2016.

OBREGON, P. *et al.*, Intoxicações de mercúrio e chumbo com maior prevalência em crianças e trabalhadores no Paraná. **Cad. saúde colet.**, Rio de Janeiro, 2021.

OLIVEIRA, E. F. **Otimização do tempo de teste funcional de placa de circuito impresso montada para computador pessoal**. Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 2012.

PAOLIELLO, M. M. B.; DE CAPITANI, E. M. Chumbo. In: Azevedo, F.A.; Chasin, A. A. M. **Metais: gerenciamento da toxicidade**. São Paulo: Atheneu, 2018.

PANIZZON, T. *et al.*, Avaliação da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEEs) em uma universidade particular. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 625-635, 2017.

PESSALI, H. F.; SHIMA, W. T. Política industrial e desenvolvimento regional: convergência entre a Política de Desenvolvimento Produtivo, o Plano Brasil Maior e o Polo Industrial de Manaus. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 14, p. 109 - 132, 2015.

POSSEBOM, V. Free Trade Zone of Manaus: An Impact Evaluation using the Synthetic Control Method. **Revista Brasileira de Economia** v. 71, n. 2, p. 217-231, 2017.

RODRIGUES, A. Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p. 437-447, Sept. 2015.

RUIZ, M. *et al.*, Adequação às exigências ambientais da diretiva RoHS – Restriction of Hazardous Substances: um desafio à indústria eletroeletrônica no Brasil. **Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade** - Brasília, v.2 n.2, p. 88-116, dez. 2016.

SANTOS, D. **Análise da coleta de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos nos “ecopontos” de Belo Horizonte.** MG. 124 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2018.

SILVA, B. L. *et al.*, Effects of solidification thermal parameters on microstructure and mechanical properties of Sn-Bi solder alloys. **Journal of Electronic Materials**, v. 46, n. 3, p. 1754-1769, 2017.

SILVA, K.; SAMPAIO, R. J. B.; **Uma abordagem híbrida para formação de grupos e balanceamento de linhas de montagem SMT.** Dissertação (Mestrado em Informática). Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2012.

SILVA, M. L. *et al.*, Análise do modelo Zona Franca de Manaus com base nas teorias de desenvolvimento regional. **Desenvolvimento Regional: Processos, Políticas e Transformações Territoriais.** Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, 11 a 13 de setembro de 2019.

SILVA, R. *et al.*, **Influência do Aporte Térmico sobre as Características e Propriedades de Cordões de Solda dos Aços AISI 316 e AISI 316L.** Soldag. insp., São Paulo, v. 25, e2504,2020.

SOUZA, R.; OLIVEIRA JÚNIOR, N. Análise da história da Zona Franca de Manaus com base na teoria institucional. **Revista Onis Ciência**, Braga, v.8, n. 25, 2020.

TIBURI, F. **Qualidade em soldagem.** Centro Tecnológico de Mecânica, SENAI-RS, 2007.

TEIXEIRA, M. **Maiores Fabricantes de Eletrônicos em Manaus.** 2015. Disponível em: <<https://techinbrazil.com.br/maiores-fabricantes-de-eletronicos-em-manaus>>. Acesso em: 28 de abril de 2020, 19h20min.

TSUNG-NAN, T. **Thermal parameters optimization of a reflow soldering profile in printed circuit board assembly: A comparative study.** 2012. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/asoc>. Acesso em: 07 de novembro de 2019, 22h45min.

TUBINO, D. F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática.** 1. ed. Editora Atlas, São Paulo, 2007.

UHLMANN, I. R. *et al.*, **Aplicação do Jidoka em um processo SMT: estudo de caso.** Exacta, v.18, n.3, p. 459-474, jul./set. 2020.

UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2012/19/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 04 de junho de 2012. **Referente aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (reformuladas)**. Jornal Oficial da União Europeia, 27 jul. 2012. p. 38-70.

VOIGT, A. *et al.*, **Influência do Posicionamento da Tocha de Soldagem sobre a Geometria e Sanidade do Cordão de Solda Produzido com o Processo GMAW Convencional em Elevadas Velocidades de Soldagem**. Soldag. insp., São Paulo, v. 25, e2536, 2020.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. de. (Coord.). **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blüncher Ltda, 2004.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Bookman: Porto Alegre, 2010.