

# Proteção de placas eletrônicas em ambientes agressivos

## Protection of electronic boards in harsh environments

Andréia da Silva<sup>1</sup>

José Maria Campos Fernandes<sup>2</sup>

### RESUMO:

As placas de circuitos impresso são elementos essenciais para funcionamento de qualquer equipamento eletrônico, necessitando de cuidados especiais, principalmente quando instaladas em ambientes agressivos sujeitos a vibração, umidade, temperaturas críticas ou partículas em suspensão. Estes fatores levam à queima dos equipamentos, e conseqüentemente, às paradas dos setores produtivos, gerando perdas consideráveis. Uma alternativa para evitar estes transtornos é uma manutenção realizada de forma sistemática e correta nestes tipos de equipamentos. A limpeza das placas com produtos especiais e a aplicação de um revestimento chamado de *conformal coating* protege das intempéries ambientais. A aplicação desta técnica diminui consideravelmente a ocorrência de parada inesperada das linhas de produção e prolonga a vida útil das placas e componentes, reduzindo os custos com troca de peças e manutenção. Esse artigo tem como objetivo apresentar as vantagens desta técnica e mostrar viabilidade econômica da implantação deste método utilizando como um levantamento de dados feito por multinacional de grande porte que atua do setor alimentício. Uma das filiais possui parque industrial localizado em Minas Gerais.

**Palavras Chave:** Placas de circuito impresso, Manutenção, *Conformal coating*, Ambiente agressivo.

### ABSTRACT:

The circuit boards are essential to the functioning of any electronic equipment, requiring special care , especially when installed in harsh environments subject to vibration , humidity , temperature critical or particles in suspension. These factors lead to the burning of the equipment , and thus stops the productive sectors , generating losses. An alternative to avoid these disorders is a maintenance performed systematically and correct these types of equipment. The cleaning of plates with special products and applying a coating called conformal coating protects from environmental weathering. The application of this technique significantly reduces the occurrence of unexpected stop production lines and extends the life of the plates and components, reducing the cost of parts replacement and maintenance . This article aims to present the advantages of this technique and show economic feasibility of this method using as a data collection done by large multinational that operates in the food industry. One of the subsidiaries has industrial park located in Minas Gerais.

**KEYWORDS:** Printed Circuit Boards, Maintenance, *Conformal coating* , Aggressive environment.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Email: andellte@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Elétrica. UNIBH, 2013, MG. Email: fernandes.jmc@hotmail.com.

## 1. INTRODUÇÃO

Dispositivos eletrônicos compactos e portáteis estão cada vez mais difundidos nas indústrias principalmente pela necessidade de automação de processos produtivos visando menores custos e maior qualidade. A miniaturização dos componentes proporcionou o surgimento das placas de circuito impresso (PCI) como suporte aos circuitos eletrônicos. A utilização das placas trouxeram vantagens para a área da eletrônica como o baixo peso e volume, menores custos, montagem simplificada e organizada mais robusta e resistente a vibrações.

Estes dispositivos estão cada vez mais demandados, inclusive em ambientes que oferecem riscos a sua integridade e performance e condições de serviço nunca pensados alguns anos atrás. A exposição à temperaturas elevadas causa *stress* no componente diminuindo sua vida útil e a umidade gera corrosão nas trilhas das placas e e consequentemente danos aos componentes eletrônicos.

As indústrias em geral tem um custo elevado para substituição das placas eletrônicas danificadas, além de interrupções e transtornos nos processos produtivos que geram prejuízos imprevisíveis e significativos. Portanto, para operação em ambientes agressivos, os dispositivos eletrônicos precisam de um tratamento diferenciado, incluindo no plano de manutenção preventiva, um condicionamento especial, limpeza e proteção das placas eletrônicas. A limpeza aumenta a confiabilidade dos conjuntos e permite que as operações de revestimento e de encapsulamento sejam executadas com plena confiança.

Uma maneira para proteger os dispositivos eletrônicos em ambientes agressivos é a aplicação de revestimentos isolantes em placas. Os revestimentos isolantes são destinados a proporcionar um elevado grau de proteção isoladora e são geralmente resistentes aos diversos tipos de solventes e ambientes severos encontrados no ciclo de vida do produto.

Atualmente nas indústrias gasta-se com manutenção valores consideráveis, sendo parte dos problemas encontrados são solucionado apenas com limpeza.

Este artigo realiza a investigação da performance dos revestimentos isolantes aplicados a placas eletrônicas de circuito impresso quando submetidas a ambientes críticos. Será feito uma estimativa de redução de custos baseados no levantamento de dados de uma empresa multinacional de grande porte.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

A placa de circuito impresso - PCI ou (PCB) do inglês "*Printed Circuit Board*", refere-se a um componente utilizado para construção de qualquer equipamento eletrônico, principalmente, quando o mesmo emprega circuitos integrados.

Ela, basicamente, é constituída por uma base isolante de fenolite ou fibra de vidro, revestida superficialmente por uma fina camada de cobre, na qual são "impressos" os circuitos de ligação elétrica entre os mais diversos componentes eletrônicos.

O termo circuito impresso é proveniente das muitas técnicas utilizadas em processos industriais e/ou artesanais, que consiste em imprimir um desenho contendo ligações elétricas entre os componentes eletrônicos, estas ligações elétricas contidas na PCI são chamadas de trilhas (Mehl, 2009).

O material inicialmente usado para a fabricação de placas de circuito impresso (PCIs) foi uma chapa conhecida como fenolite. O nome fenolite era originalmente a marca comercial de um fabricante de chapas isolantes, muito usada pelos fabricantes de máquinas elétricas e transformadores (Mehl, 2009).

As chapas de fenolite são feitas com a mistura de uma resina fenólica com certa quantidade de papel picado ou serragem de madeira (carga), apresentando cor marrom claro ou escuro, dependendo do tipo de carga utilizada. A

mistura é moldada e prensada a quente na forma de chapas, com diferentes espessuras (Mehl, 2009).

O principal problema das chapas de fenolite para circuitos impressos decorre justamente do uso da carga à base de celulose, que a torna higroscópica. Ou seja, em um ambiente úmido as placas de fenolite absorvem certa quantidade de água, o que além de prejudicar as suas características isolantes frequentemente faz com que as placas empenem (Mehl, 2009).

Em resposta aos problemas apresentados pela fenolite, foram desenvolvidas na década de 1960, como alternativa de melhor qualidade, as placas conhecidas como fibra de vidro (FV). Estas chapas são feitas com resina epóxi e apenas há internamente uma fina manta de tecido de fibras de vidro. O uso da resina epóxi faz com que as placas de FV sejam totalmente inertes à água mas, por outro lado, produz uma placa extremamente difícil de ser cortada e furada (Mehl, 2009).

De fato, a dureza do epóxi é semelhante à do granito, fazendo com que sejam necessárias ferramentas especiais para fazer o corte e a furação das placas de circuito impresso de FV. As placas FV são também cerca de 30% mais caras do que as de fenolite. Apesar disso, devido à sua excelente capacidade isolante e estabilidade dimensional, a grande maioria das placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos são fabricadas com placas de FV, ficando a fenolite geralmente restrita a projetos de pouca qualidade ou quando se utiliza uma técnica mais artesanal na fabricação (Mehl, 2009).

Segundo a norma NBR 8188/83, as chapas para circuito impresso de fenolite são referenciadas como FR-2 e as de fibra de vidro como FR-4. A sigla FR vem da expressão em inglês "*flame resistant*", ou seja, resistente ao fogo (Mehl, 2009).

Outro material alternativo é o poliéster, que permite fabricar circuitos impressos flexíveis usados em alguns equipamentos portáteis (Mehl, 2009).

Inicialmente, fabricavam-se somente PCIs de simples face, ou seja, com as trilhas confeccionadas somente em um dos lados da placa e os componentes montados sobre o outro lado da mesma, a ligação entre as trilhas e os componentes eletrônicos se dava pelos terminais dos componentes que passavam por furos efetuados nas placas, sendo a seguir realizada a soldagem, que fazia a junção elétrica entre as duas partes (Melo; Rios; Gutierrez, 2001).

Com a miniaturização crescente de produtos e componentes, foi desenvolvido um novo processo de ligação componente-trilha, denominado "*Surface Mounting Device*" (SMD), o qual, em vez de efetuar a ligação elétrica por terminais que atravessam os furos, passou a fazer diretamente a ligação entre os terminais e as trilhas por um processo semelhante à colagem, com o uso de uma pasta de solda, dispensando-se grande parte dos furos na placa (Melo; Rios; Gutierrez, 2001).

De maneira geral, a miniaturização dos componentes provocou a redução das dimensões das trilhas de cobre e do seu espaçamento. Houve também aumento do grau de integração do circuito, que passou a desempenhar um número maior de funções em decorrência da montagem de mais componentes na mesma área física. Mas foi o aumento da complexidade das interligações que desencadeou a outra grande mudança na tecnologia de processo: primeiro, surgiram as placas de dupla face com trilhas nos dois lados da PCI e, posteriormente, as placas multicamadas ou multilayer, conforme mostra figura 1 a) e b). (Melo; Rios; Gutierrez, 2001).

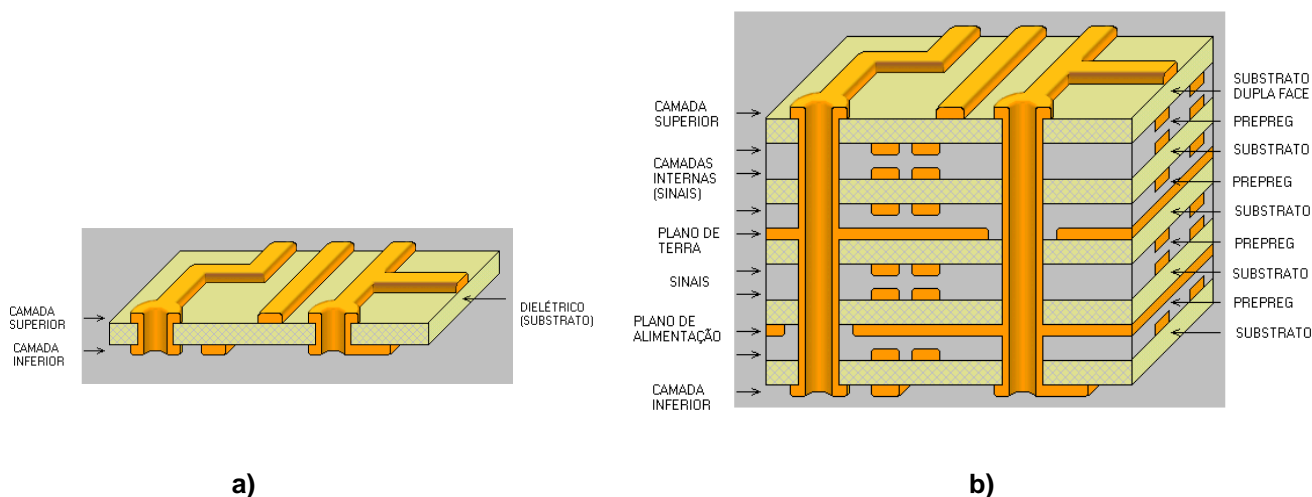


Figura 1 a) – Placa face dupla, b) Placa Multicamadas

Fonte: Guido Stolfi, 2005

A Tabela 1 mostra a classificação das PCIs segundo o número de faces que a mesma possui, e esta classificação está relacionada de acordo com o número de camadas de cobre existentes sob o material isolante que pode ser de FR-2 ou FR-4.

Tabela 1 - Classificação das PCIs segundo ao número de faces

<b>Face Simples</b>	Possui cobre em apenas uma das faces do material isolante.
<b>Dupla-Face</b>	Possui cobre em apenas uma das faces do material isolante.
<b>Multicamadas</b>	Placas em que possuem trilhas de cobre tanto nas faces externas como internas. Conseguem-se produzir circuitos impressos multicamadas utilizando técnica em que duas ou mais placas do tipo dupla face são prensadas, de forma a se obter um único laminado no final. Entre as placas é aplicada uma resina (ou cola) para separar os circuitos eletricamente e mantê-los unidos mecanicamente.

Fonte: Melo, Gutierrez e Rosa, 1998

A espessura da camada de cobre sobre o material isolante pode variar dependendo do fabricante ou do tipo de aplicação da placa, mas, geralmente, encontram-se placas com uma camada de cobre de  $0,35\mu\text{m}$  (padrão). Alguns fabricantes referenciam esta medida da espessura de cobre em “onça”, na qual 1 onça equivale a  $0,35\mu\text{m}$  (Mehl, 2009).

Já para a espessura total da placa, existem alguns valores mais encontrados no mercado (0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,6 mm, 2 mm e 2,4 mm), sendo que 1,6 mm é o valor tipicamente utilizado (Mehl, 2009).

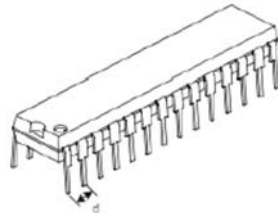
Os componentes eletrônicos são montados sobre a placa e interligados entre si por trilhas, que têm a função de conectar eletricamente estes diversos componentes para executarem suas funções no circuito (Mehl, 2009).

Por sua vez, os componentes ficam soldados a placa e interligados as trilhas por ilhas, também chamadas de *pads*. As ilhas fazem parte das trilhas, formando, assim, um espaço para uma junta de solda entre o terminal do componente e a placa (Mehl, 2009).

As ilhas podem possuir furos, utilizados na montagem dos componentes. Este método de montagem é conhecido como TH (*through-hole technology* - TH) ou os componentes podem ser inseridos diretamente sobre a superfície das ilhas, quando os mesmos forem do tipo SMD (*surface mount devices* - SMD), este tipo de montagem é conhecido como SMT (*surface mount technology* - SMT), (Doro, 2004). Estes componentes eletrônicos possuem, geralmente, a distância entre seus terminais medida em polegadas, mas como esta medida é relativamente pequena, é comum a utilização de um submúltiplo da polegada, que é o mils (abreviação de milésimo de polegada), ou seja, 1 mils =  $0,0254\text{ mm}$  (Mehl, 2009).

A utilização desta grandeza se tornou importante devido à padronização das dimensões dos componentes eletrônicos, e só para se ter uma ideia, a distância entre os pinos de um CI (circuito integrado) de encapsulamento conhecido como *dual in line* (DIP) é de 0,1 inch, ou 100 mils, ou ainda, 2,54 mm (Mehl, 2009).

A figura 2 mostra a distância “d” padrão entre os pinos de um CI.



**Figura 2 – Padronização da distância “d” entre os pinos laterais de um CI em 100 mils**

**Fonte: Adaptado de Microchip (2001)**

A distância entre trilhas e ilhas segue esta padronização de unidade de medida, ou seja, o mils.

Quando se têm placas de dupla face ou multicamadas, existem trilhas percorrendo a placa nos dois lados ou internamente, como no caso, de multicamadas.

Para interligar estas trilhas são feitos furos, que normalmente são menores que as ilhas, sendo chamados de vias, e que são metalizados por um processo eletroquímico (Mehl, 2009).

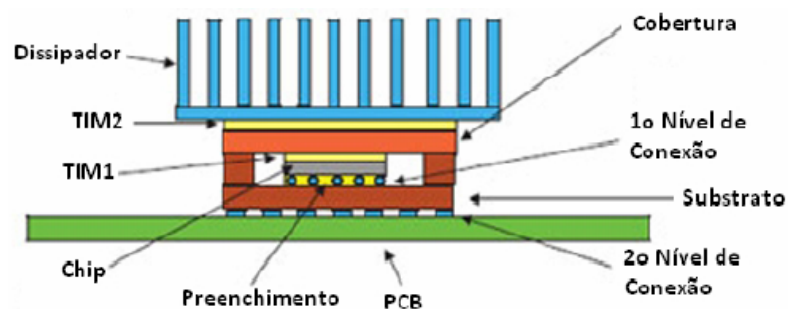
## 2.2. FATORES AMBIENTAIS QUE INTERFEREM NA PERFORMANCE

**Temperatura:** Tensões de origem térmica são a causa número um de falhas de componentes eletrônicos. Vibração mecânica, umidade e entrada de poeira dividem o segundo lugar (ESSS, 2008).

A taxa de falha através de eletromigração e destruição da camada de óxido no semicondutor é exponencialmente dependente da temperatura e impacta diretamente na confiabilidade do circuito integrado. Para reduzir esse efeito, fabricantes limitam a temperatura de microeletrônicos entre 85°C e 110°C. Outra característica peculiar da distribuição térmica de um circuito integrado é a dissipação térmica desigual, que leva a regiões com concentração de elevadas temperaturas, conhecidas como “hot spots”.

A temperatura dentro de um chip microprocessador pode variar de 5 a 30°C de um ponto para outro. Este elevado gradiente térmico também causa falha no chip devido à dependência térmica da dispersão de potência (ESSS, 2008).

A figura 3 representa a configuração típica de chip processador fixado a um dissipador externo, que usualmente é resfriado através de convecção forçada de ar.



**Figura 3 - Diagrama de um “flip chip” em empacotamento de alta performance**

**Fonte: ESSS, 2008**

Tensões termomecânicas e deformações são os principais responsáveis pelo mau funcionamento e falha em componentes eletrônicos. Elevados gradientes de temperatura induzem falhas nos diversos arranjos eletrônicos associadas a tensões termicamente induzidas, assim tipificadas:

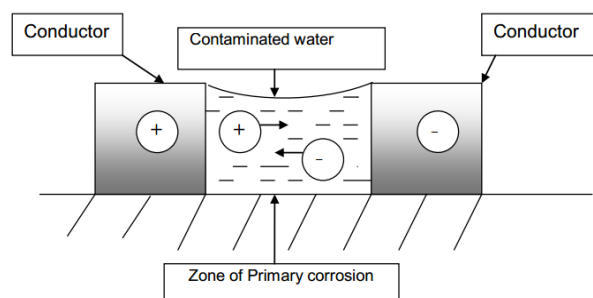
- Falha nas junções dos transistores;
- Deformações elásticas ou plásticas excessivas;
- Falha de ruptura dúctil e frágil;
- Falha de fadiga térmica;
- Falha devido a choque térmico;
- Falha devido a tensões de corrosão.

**Umidade:** Em casos extremos, alta umidade pode levar a uma maior condensação da água sobre as superfícies das placas eletrônicas. A concentração de moléculas de vapor de água eleva com aumento da umidade relativa do ar (UR). Dependendo da espessura das camadas de moléculas água pode eventualmente permitir condução iônica que acelera a taxa de corrosão da placa. Por exemplo, em um centro de painéis ou sala de informática, é recomendável que o ambiente seja mantido entre 45% e 55% umidade relativa do ar para melhor desempenho e confiabilidade.

**Contaminantes iônicos:** São normalmente resíduos de fundentes ou de materiais danosos, que permanecem depois do processo de soldagem. Compostos orgânicos e inorgânicos solúveis em água podem se dissociar em uma solução, enquanto íons carregados aumentam a condutividade total da solução. Esses compostos podem diminuir a confiabilidade dos componentes e dos conjuntos eletrônicos, contribuindo para a ocorrência de correntes de fuga entre circuitos, de corrosão e de crescimento de dendritos. Embora tanto as contaminações iônicas como as não iônicas tenham impacto na confiabilidade do dispositivo no qual estão presentes, a contaminação iônica é responsável pela maior parte das falhas (Electrolube).

**Contaminantes do ar:** Este termo aplica-se a substâncias dissolvidas com a umidade do ar, assim como a espécies de partículas gasosas. O contaminante mais comum na umidade do ar é o sal (cloreto de sódio), perto da costa do mar. Poeira e ar carregados por contaminantes em áreas usadas para atividades humanas. Contaminantes gasosos comuns em ambientes industriais, tais como sulfureto de hidrogênio, dióxido de enxofre e cloreto de hidrogênio (Vimala, Natesan and Rajendran, 2009).

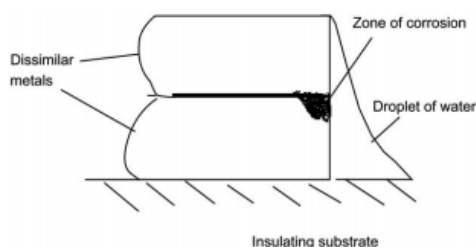
Este tipo de corrosão ocorre quando a corrente passa através de um eletrólito entre dois eletrodos metálicos, como mostrado na figura 4. Na presença de um campo elétrico entre os condutores adjacentes, e uma película de humidade devido a uma tensão induzida entre metais diferentes (Vimala, Natesan and Rajendran, 2009).



**Figura 4 - Corrosão de placa eletrônica**

Fonte: Vimala, Natesan and Rajendran, 2009

Se dois metais diferentes, em contato elétrico são ligados por uma gota de umidade condensada com uma pequena quantidade de contaminação iônica presente, uma célula fotovoltaica em curto-circuito é formada e uma corrente irá fluir como mostrado na figura 5. A tensão em tal célula é igual a diferença entre as forças eletromotriz (FEM) do componente dos metais, cujo valor, para certos metais usados em placas de circuitos impressos são dadas na Tabela 2. Os valores das tensões são referenciados ao hidrogênio como zero (Vimala, Natesan e Rajendran, 2009).



**Figura 5 - Formação de célula voltaica**

Fonte: Vimala, Natesan and Rajendran, 2009

**Tabela 2 – Força eletromotriz dos metais comuns**

SI. No.	Símbolo	Volts	Ligas	Volts
1	Mg	- 2.37	Latões	- 0,75 a + 0,30
2	Al	- 1.66	Aço inox	- 0,30 a + 0,10
3	Zn	- 0.76	Níquel - ferro	- 0,45 a + 0,30
4	Fe	- 0.45	Aço	- 0,40 a + 0,30
5	Ni	- 0.26	Bronze	- 0,10 a + 0,30
6	Sn	- 0.14		
7	Pb	- 0.13		
8	Cu	+0.34		
9	Ag	+0.80		
10	Au	+1.69		

Fonte: Vimala, Natesan and Rajendran, 2009

Corrosão eletrolítica pode ser evitada por remoção de todos os vestígios de umidade e de contaminação de íons a partir do circuito impresso e protegendo-o contra a recontaminação. Às vezes juntas de solda também falhar devido à corrosão sob tensão (Vimala, Natesan and Rajendran, 2009).

### 2.3. REVESTIMENTO DE PROTEÇÃO

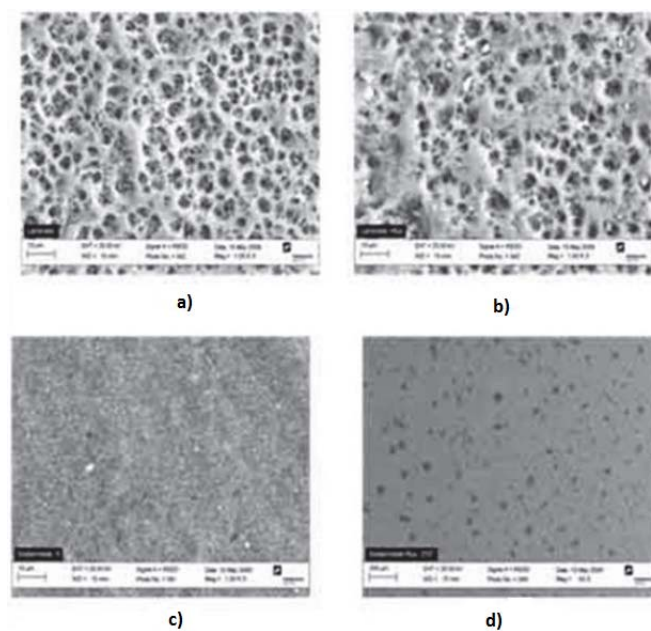
Os revestimentos isolantes são resinas sintéticas ou de polímeros que são aplicados às placas de circuito impresso para proteger o circuito de contaminantes, como umidade, sujeira, solventes, alta umidade atmosférica e os agentes químicos. Eles também servem para isolar as linhas de condução e aumentar a confiabilidade da placa de circuito impresso.

Uma maneira para proteger dispositivos eletrônicos em ambientes agressivos é através da aplicação destes revestimentos isolantes em placas. Os revestimentos isolantes são destinados a proporcionar um elevado grau de proteção isoladora e são geralmente resistentes aos diversos tipos de solventes e ambientes severos encontrados no ciclo de vida do produto. Vários tipos de revestimentos isolantes estão disponíveis no mercado como os a base de silicone, poliuretano ou acrílico. No entanto, na prática, o desempenho dos revestimentos isolantes depende de vários fatores, tais como a adesão do revestimento a superfície da placa, a permeação de água, e permeabilidade a

outros ambientes tais como gases (Rathinavelu, Jellesen, Moeller e Ambat, 2009).

A penetração de umidade para esses revestimentos, em ambiente severo causa degradação significativa no desempenho do revestimento. A adesão do revestimento à superfície de circuito impresso é um fator essencial que determina o desempenho do revestimento em condições ambientais úmidas. No caso de uma baixa adesão, penetração de água ou gases pode ocorrer facilmente em pontos fracos de adesão do revestimento. A formação de tal ambiente ocluso pode acelerar a corrosão para um nível muito significativo, podendo ser maior do que em placas sem revestimento. Por isso, é importante conhecer o efeito de contaminação relacionada com vários processos de circuito impresso sobre a superfície de adesão e o desempenho do revestimento isolante em várias condições ambientais (Rathinavelu, Jellesen, Moeller e Ambat, 2009).

Resíduos de fluxo restantes na máscara de solda sobre o laminado da PCI pode causar vários problemas, tais como diminuição da resistência de isolamento da superfície devido ao aumento da disponibilidade de conduzir íons quando é submetido a camadas de água em ambientes úmidos, íons agressivos de corrosão e problemas de adesão relacionadas com revestimentos isolantes. Um revestimento protetor sobre PCIs com a adesão inadequada é mais perigoso do ponto de vista da corrosão do que um sem revestimento, portanto antes da aplicação do revestimento, é necessária uma limpeza criteriosa para garantir uma correta adesão do produto sobre toda superfície da placa.



**Figura 6 - SEM de imagem do laminado de: (a) do laminado FR-4, (b) do laminado com fluxo pulverizada, (c) laminado com máscara de solda, (d) laminado com máscara de solda e fluxo desactivado às 255 ° C em estufa**  
**Fonte: Rathinavelu, Jellesen, Moeller e Ambat, 2009**

### 2.3.1. LIMPEZA ESSENCIAL PARA CIRCUITOS ELETRÔNICOS

A limpeza é um processo essencial dentro da manufatura de produtos eletrônicos e tem sido usada por muitos anos para remover contaminadores potencialmente prejudiciais durante a fabricação de placas de circuito impresso. Esses contaminadores incluem fluxo, resíduos de solda e adesivos e outros contaminadores mais gerais como poeira e detritos presentes a partir de outros processos de manufatura (Electrolube).

A finalidade da limpeza, especificamente na indústria de produtos eletrônicos em rápida expansão, é essencialmente melhorar a vida útil do produto assegurando boa resistência superficial. Esse mercado em desenvolvimento prevê os componentes eletrônicos modernos e cada vez menores, exigindo alto desempenho e confiabilidade melhores que nunca. Para conseguir boa resistência de isolamento, a limpeza dos conjuntos eletrônicos é essencial. Isso só pode ser conseguido por meio do trabalho conjunto de fabricantes de fundentes/adesivos, de produtos para limpeza



química, de equipamentos de limpeza e dos engenheiros eletrônicos, com o objetivo de atingir o desempenho ótimo dos processos de limpeza (Electrolube).

Há várias etapas nas quais a limpeza é necessária: antes da gravação e da soldagem, para remover os contaminantes dos vários estágios anteriores de produção; depois da gravação, para remover o excesso de adesivo; e depois da soldagem, para remover os resíduos corrosivos de fundente e o excesso de pasta de soldagem.

Na indústria, hoje em dia, muitos fabricantes estão mudando para processos 'sem limpeza', implicando em que a limpeza não é requerida após a soldagem. No processo 'sem limpeza' o teor de sólidos do fluxo é menor do que os tipos tradicionais, porém eles ainda contêm resina e ativador que não são removidos antes do processo seguinte, tal como revestimento ou encapsulamento da placa de circuito impresso. Esses resíduos, juntamente com quaisquer outros elementos indesejados coletados devido à falta da etapa de limpeza, podem causar problemas com a aderência e possivelmente afetar o desempenho do meio de proteção aplicado (Electrolube).

Pode-se, portanto, dizer que mesmo com os avanços da tecnologia não existem fundentes que não exigem limpeza. No setor eletrônico a limpeza ainda é um processo essencial, em vários estágios. Finalmente, são necessários também estágios de limpeza para a remoção do revestimento e de adesivos quando reparos forem necessários, para a limpeza dos próprios componentes e para a manutenção da linha de produção (Electrolube).

Os produtos de limpeza à base de água tendem a ser muito mais complexos que os seus correspondentes à base de solvente. Os produtos de limpeza à base de água utilizam tecnologia surfactante para auxiliar a remoção de contaminantes de placas de circuito impresso, por meio da redução da tensão superficial e da suspensão ou emulsificação dos contaminantes na solução. Alternativamente, os removedores de fundente à base de água atuam por meio de saponificação, neutralizando os ácidos do fundente (Electrolube).

A única grande desvantagem dos produtos de limpeza à base de água é que são necessárias várias etapas para concluir o processo de limpeza, incluindo um processo de enxágüe em duas etapas e um estágio de secagem final. Finalmente, há também um novo tipo de produto de limpeza à base de água, sem surfactante. Esses produtos de limpeza à base de glicóis combinam as vantagens dos produtos de limpeza à base de água e à base de solvente, com um mínimo exigência de secagem (Electrolube).

Com o desenvolvimento continuado do mercado de produtos de limpeza para atender a demanda do setor em expansão, é importante que o nível de limpeza necessário seja definido claramente. Uma parcela significativa de resíduos de fundente e de contaminantes potencialmente danosos não é visível a olho nu ou mesmo com o auxílio de ampliação. Assim sendo, é vitalmente importante utilizar o método correto para verificar se o nível de limpeza obtido atende os padrões especificados pelo engenheiro eletrônico. Há dois tipos de resíduos: iônicos e não iônicos. Resíduos não iônicos, incluindo breu, óleos e graxa, não são condutores e normalmente são espécies orgânicas que permanecem na placa após a fabricação ou a montagem. Esses resíduos podem apresentar propriedades isolantes, que constituem problema, caso os conjuntos utilizem contatos de encaixar ou conectores. Podem provocar má aderência da máscara de soldagem, do revestimento isolante e dos componentes para embutimento, além do aprisionamento de contaminantes iônicos e resíduos estranhos (Electrolube).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. CENÁRIO DA APLICAÇÃO**

A aplicação da técnica está sendo implantada pelo setor de Engenharia em todos os equipamentos da linha de produção da fábrica, com intuito de reduzir os gastos com trocas de peças e evitar paradas ininterruptas das linhas de produção.

Os dados obtidos para análise da viabilidade do uso da técnica foi possível devido as fornecimento das informações através da multinacional analisada.

O estudo foi feito utilizando dados fornecidos por uma empresa multinacional de grande porte, que atua no setor alimentício de bebidas e possui um de seus parques industriais instalado em Minas Gerais. Esta empresa será

referenciada ficticiamente como Companhia.

Os dados foram levantados a partir de dois softwares utilizados nas empresas, as informações analisadas refere-se às 43 fábricas instaladas na América Central e Sul.

O Software de gerenciamento de produção faz o levantamento da quantidade produzida e o número de paradas da linha de produção, relacionando a causa, o tempo ocioso e o quanto se deixou de produzir .

O Software de gerenciamento de manutenção faz a gestão das manutenções preventivas e corretivas, gera ordem de serviços (O.S) de manutenção, realiza a requisição de compra de peças /componentes eletrônicos associado a O.S. armazena o histórico das manutenções realizadas nos equipamentos, inclusive os gastos em cada serviço executado.

As informações obtidas, permitiram concluir que:

- Em 40.000 paradas emergenciais analisadas nos últimos 2 anos, cerca de 65% estão relacionadas com falhas em eletrônicas.
- 83% dos reparos que chegam aos prestadores de serviços são resolvidos substituindo componentes devido à alterações físicas (*stress* eletrônico) sofridas pelas condições de instalação.
- 15% dos reparos que chegam aos prestadores de serviços são resolvidos apenas com limpeza.
- Em 2012, em uma única unidade, houve gastos na ordem de R\$1.2 Milhões devido à compra de peças e serviços de reparo em eletrônicas.
- Gastou-se em torno de R\$1.5 Milhões com a compra de novos inversores de frequência por ano.
- Gastou-se em torno de R\$ 2.1 Milhões com reparos eletrônicos em 2012.

Diante destes dados, a empresa começou a estudar formas de diminuir os gastos com manutenção e principalmente evitar paradas das linhas de produção, sendo este o causador dos maiores prejuízos.

Para implementação da técnica, foi feita uma análise criteriosa, levando em consideração os seguintes questionamentos:

- Quanto a fábrica perde?
- Quantas linhas tem a unidade?
- Quanto custa 1h parada?
- Quantas paradas por ano?
- Como as falhas afetam a eficiência?
- Quanto a Cia deixa de arrecadar ?

As respostas a estas perguntas fortaleceram a idéia de que medidas deveriam ser adotadas de forma a reduzir ao máximo as possibilidades de parada das linhas de produção. Os dados fornecidos pelos softwares e pelas empresas prestadoras de serviço de manutenção da fábrica, indicaram que paradas ocorriam por oxidação, sujeira, umidade e mau condicionamento das placas eletrônicas. Neste caso, medidas foram adotadas para implementação da técnica e das rotinas de manutenção. O revestimento isolante para placas foi a melhor alternativa. O setor de gerenciamento de manutenção começou a adotar os procedimentos de limpeza e aplicação do revestimento isolante.

Conforme citado, para aplicação do *conformal coating* é necessário a correta limpeza das placas, desta forma a fábrica adotou os procedimentos citados a seguir.

### **3.2 PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO**

Conforme demonstrado anteriormente é necessário um cuidado especial na aplicação do revestimento de proteção na placa para evitar que torne um risco ainda maior de ocorrências de corrosão. Portanto, torna-se necessário o estabelecimento de um procedimento para manuseio, limpeza e aplicação da resina de maneira que seja de fácil entendimento ao usuário.

### 3.2.1 CUIDADOS NO MANUSEIO DA PLACA

O aparecimento de descargas eletrostáticas (*Electrostatic Discharge* – ESD) é resultante do desequilíbrio de cargas gerado pelo atrito entre objetos de determinados tipos de materiais, especialmente aqueles que apresentam uma grande resistência elétrica superficial (Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004).

O fenômeno pelo qual um determinado material perde ou ganha cargas gera tensões eletrostáticas em relação ao terra ou a outros objetos. A tendência de um material com desequilíbrio de cargas é voltar ao equilíbrio eletrostático. Durante o retorno ao equilíbrio, o fluxo de cargas gera uma descarga elétrica com um tempo de duração muito pequeno (da ordem de dezenas de nano-segundos). Este fenômeno pode ser visualizado na forma de um pequeno arco elétrico; no entanto, na maioria das vezes a descarga ocorre sem que sua presença seja sentida (Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004).

Uma ESD envolve correntes de alguns poucos ampères e tensões de até 35 mil volts. As descargas não são prejudiciais ao ser humano porque a energia dissipada é muito pequena. Na figura 15 é apresentada a forma de onda de corrente típica de uma descarga eletrostática ocasionada pelo toque de um ser humano eletricamente carregado em uma superfície aterrada (Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004).

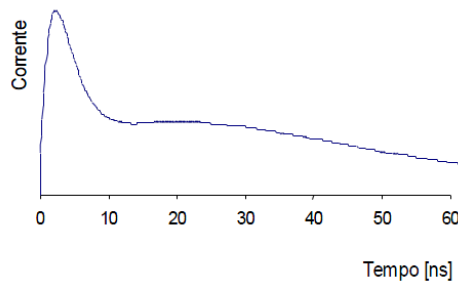


Figura 1 - Forma de onda típica de descarga eletrostática

Fonte: Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004

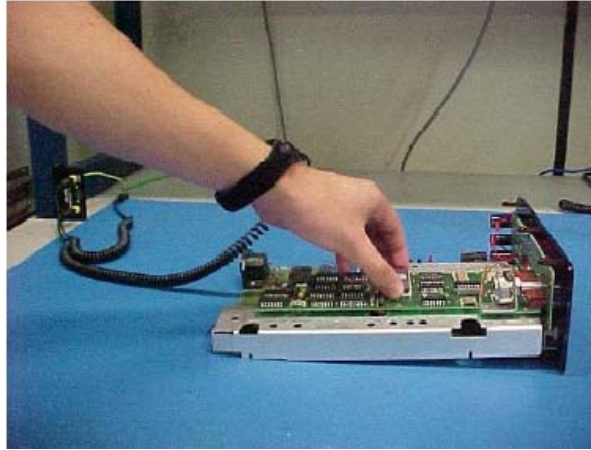
Embora uma ESD não represente perigo ao ser humano, ela é altamente prejudicial a circuitos microeletrônicos, cada vez mais comuns em instalações do setor elétrico, como usinas e subestações. Descargas com tensões superiores a 10 Volts podem ser prejudiciais a componentes eletrônicos mais sensíveis. Além de danos físicos em um equipamento, uma ESD pode causar falhas operacionais, como o desligamento inadvertido de equipamentos, causando danos de severidade variável de acordo com a importância do sistema afetado.

Existem diferentes formas de atenuar o efeito das descargas eletrostáticas ou mesmo impedir sua ocorrência. As soluções em geral são simples e de custo reduzido, permitindo um efetivo ganho de confiabilidade em processos de manutenção, operação e armazenagem de equipamentos e componentes.

#### 3.2.1.1 UTILIZAÇÃO DE ACESSÓRIOS ADEQUADOS

Como regra geral, não se deve manusear o circuito eletrônico de um equipamento desnecessariamente. Quando tal procedimento for necessário no caso de instalação ou manutenção de um equipamento ou cartões eletrônicos, deve-se sempre utilizar medidas de prevenção, apresentadas a seguir:

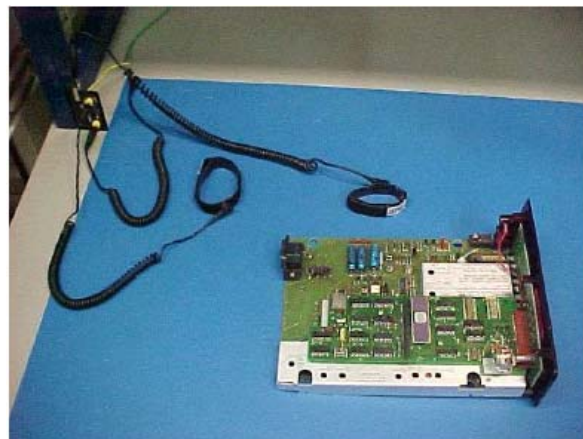
- a) **Pulseira antiestática:** é uma pulseira conectada a um cabo aterrado que permite que qualquer acúmulo de cargas no corpo do operador do equipamento seja desfeito com o retorno ao equilíbrio. A pulseira possui um resistor (1 MΩ) acoplado em série para limitar a corrente de curto circuito, protegendo o usuário caso o mesmo venha a tocar em algum componente energizado.



**Figura 8 - Utilização da pulseira antiestática**

**Fonte: Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004**

- b) Manta dissipativa:** a manta dissipativa é necessária para a execução do procedimento de manutenção de um equipamento eletrônico sensível. A manta é composta de um polímero dopado capaz de conduzir corrente elétrica com uma certa resistência característica. As cargas elétricas geradas na mesa de manutenção ou em objetos nela situados são eliminadas através do eletrodo de aterramento da manta. Assim como na pulseira, no cabo de aterramento da manta também é instalado um resistor (1 M $\Omega$ ) para a limitação de uma eventual corrente de curto circuito.



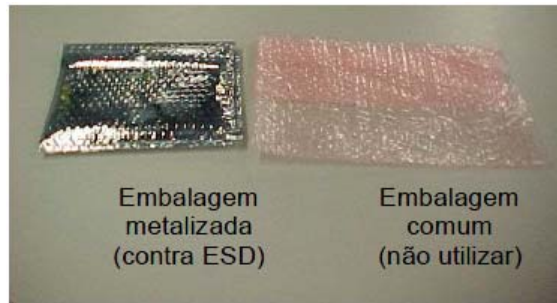
**Figura 9 - Manta dissipativa (em azul)**

**Fonte: Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004**

- c) Armazenamento:** um dos casos mais comuns do surgimento de defeitos relacionados a ESD em equipamentos e componentes eletrônicos ocorre durante o processo de armazenamento e transporte. Tal fenômeno ocorre principalmente devido ao manuseio incorreto destes objetos sem as devidas precauções ou a um armazenamento inadequado.

O manuseio de um equipamento durante sua desembalagem deve ser feito com pulseira e sobre manta dissipativa sempre que o fabricante indicar suscetibilidade aos efeitos das descargas eletrostáticas. Esta informação é fornecida no manual, na embalagem ou no corpo do próprio objeto.

O armazenamento de equipamentos ou componentes sensíveis jamais deve ser feito em sacos e caixas plásticas comuns que possuem como característica intrínseca o acúmulo de cargas elétricas potencialmente geradoras de descargas eletrostáticas. O modo correto de armazenar um objeto suscetível é a utilização de sacos plásticos e caixas devidamente preparadas para a dissipação de cargas elétricas. Em geral estes são construídos com materiais dopados (principalmente carbono) e que não acumulam cargas elétricas.



**Figura 10 – Armazenamento**

Fonte: Araújo, Quoirin, Ardjomand, 2004

**d) Ferramentas, acessórios e roupas especiais:** em ambiente de manuseio e manutenção de equipamentos muito sensíveis a ESD, recomenda-se a utilização de diversos tipos de precauções adicionais, como por exemplo:

- Roupas especiais de algodão;
- Ionizadores de ar;
- Ferramentas antiestáticas;
- Cadeiras e mesas antiestáticas;
- Piso anti-estático.

Existe no mercado uma infinidade de soluções para ambientes especiais. Recomenda-se a ajuda de um especialista na especificação e projeto deste tipo de instalação.

### 3.2.2. PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA ADOTADO NA FÁBRICA

Diante da importância da limpeza e aplicação do revestimento isolante, a fábrica analisada inseriu novo método de manutenção preventiva. As fotos foram extraídas do novo procedimento de manutenção disponibilizado pela fábrica aos técnicos.

A figura 11 mostra a coleta da placa de Circuito Eletrônico do equipamento.



**Figura 11 - Correto manuseio do circuito eletrônico**

A figura 12 mostra a aplicação do produto para limpeza antes da aplicação do revestimento isolante. As formação de espumas indica que os óleos forma removidos.



**Figura 12 – Aplicação do produto para remoção de contaminantes.**





Figura 13 - A coloração escura na bandeja é devido aos resíduos removidos pela ação química do produto.



Figura 14 - Enxágüe do circuito eletrônico com água deionizada ou destilada.



Figura 15 - Este produto remove todas as impurezas e resíduos que prejudicam os contatos e conectores dos circuitos eletrônicos.



Figura 16 - Aplicação do produto para facilitar a condução de elétrons sem curto circuitar os contatos e lubrificar sem isolar, impedindo a formação do zinabre.

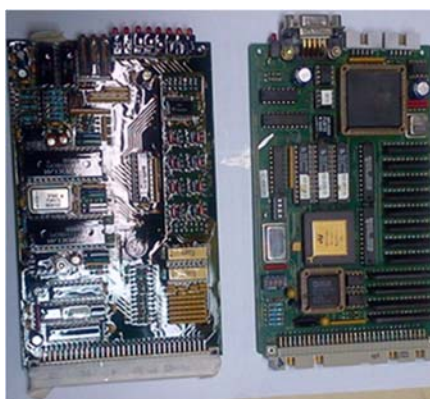


Figura 17 - Placa com e sem aplicação do revestimento isolante

#### 4. EFICÁCIA DA APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO

Em 2012 gastou-se em torno de R\$ 1.2 Milhões com reparos eletrônicos e troca de peça em apenas uma unidade. Segundo levantamento das empresas prestadoras de serviço de manutenção eletrônica, 83% dos reparos são resolvidos substituindo componentes devido à alterações físicas (*stress* eletrônico) sofridas pelas condições de instalação, sendo 15% dos reparos eram solucionadas apenas com limpeza.

## 5. CONCLUSÃO

Pode-se constatar, a partir dos dados apresentados, que a aplicação do revestimento isolante através de um procedimento padronizado apresenta um elevado potencial para garantir resultados satisfatórios e alta confiabilidade em sua utilização. Os prejuízos causados na indústria pelas falhas em placas eletrônicas são muito relevantes, principalmente quando operam em condições ambientais severas. Além das paradas das linhas de produção, gastos com reposição de peças e serviços de reparos, as falhas em dispositivos eletrônicos podem gerar problemas com a qualidade do produto acabado, impactos ambientais e consumo de recursos naturais de forma ineficiente.

O revestimento isolante em placas eletrônicas neste caso torna-se indispensável para garantir uma maior vida útil e confiabilidade do sistema eletrônico da indústria. Atenção especial deve ser dada ao procedimento de limpeza da placa antes da aplicação do revestimento, afim de eliminar os contaminantes e garantir uma perfeita adesão a superfície da PCI. Caso a limpeza não seja realizada ou feita de forma incorreta pode ocorrer danos maiores que em uma placa sem utilizar o revestimento. Portanto a correta preparação, manuseio adequado e realização de limpeza detalhada para eliminação dos contaminantes são necessários para garantir a adesão à superfície. Desta maneira é possível que os dispositivos eletrônicos operem em ambientes agressivos.

## 6. REFERÊNCIAS

- Araújo, Quoirin, Ardjomand. **As descargas eletrostáticas e a manutenção de equipamentos sensíveis no âmbito do setor elétrico**. Centro Politécnico da UFPR, Curitiba-PR, 2004
- DORO, Marcos Marinovic. **Sistemática para Implantação da Garantia da Qualidade em Empresas Montadoras de Placas de Circuito Impresso**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- ELECTROLUBE, Artigo 6. **Limpeza – Essencial para conjuntos eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.electrolube.br.com/docs/article6.pdf>>. Acessado em 09/2013
- ESSS – **Artigos técnicos**, ano 2008. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/pt/category/artigos-tecnicos/industria/eletronicos/>>Acessado em : 28 ago.2013.
- J. Starlet Vimala, M. Natesan, Susai Rajendran. **Corrosion and Protection of Electronic Components in Different Environmental Conditions - An Overview**. The Open Corrosion Journal, 2009, volume 2, p.105-113.
- MEHL, E. L. de Mattos. **Projeto de Placas de Circuito Impresso com o Software EAGLE - 1ª PARTE: Conceitos Fundamentais Sobre Placas de Circuito Impresso (PCI)**, Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/pci/pci.html>>Acessado em: 10/09/2013.
- MELO, P. R. S., Gutierrez, R. M. V., Rios, E. C. D. **Placas de Circuito Impresso: Mercado Atual e Perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 14, p. 111-136, set. 2001
- MELO, P. R. S., Gutierrez, R. M. V., Rosa, S. E. S. **Complexo eletrônico: O Segmento de Placas de Circuito Impresso**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 7, p. 93-108, mar. 1998.