

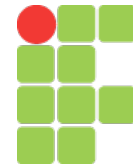


Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

Endereço eletrônico:

<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/>



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MELHORIAS DE UMA PCI COM FOCO EM PROJETO PARA MANUFATURA

Rafael Wilmar de Souza Hoffmann¹, Anderson Alves²

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de melhorias em uma placa expansora para o computador de placa única *Orange Pi PC* tendo como objetivo a redução de custo e melhorias de qualidade com foco no desenvolvimento do projeto voltado para produção (DFM – *Design for Manufacture*), maximizando a eficiência de montagens e resultando na redução de retrabalhos, contribuindo dessa forma para aumentar a qualidade do produto. Será apresentada uma revisão sobre computadores de placa única, uma análise comparativa entre trabalhos relacionados e entre algumas placas expansoras que estão disponíveis no mercado, uma revisão dos processos produtivos de uma placa eletrônica, o desenvolvimento do *layout* da placa expansora com base nos requisitos de processo, e por fim os resultados de custo e melhorias no processo produtivo obtidos com a nova placa.

Palavras-chave: Computadores de placa única, Placa expansora, Placa de Circuito Impresso e projeto para manufatura.

Abstract: *This paper presents the development of improvements in an expansion board for the single board computer Orange Pi PC aiming at cost reduction and quality improvements with a focus on production (DFM – Design for Manufacture), maximizing efficiency of assemblies and resulting in the reduction of rework, contributing in this way to increase the quality of the product. Will be presented a review about single board computers, a comparative analysis between related works and between some expansion boards that are available in the market, a review of the productive processes of an electronic board, the development of the expansion board layout based on the process requirement, and finally the cost results and improvements in the productive process obtained with the new board.*

Keywords: *Single Board Computers, expansion board, Printed Circuit Board and Design for Manufacture.*

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, IFSC/Florianópolis <rafael.h1990@aluno.ifsc.edu.br >

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), IFSC/Florianópolis <anderson.alves@ifsc.edu.br>

1 INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos têm impulsionado a utilização de sistemas embarcados na indústria, visto que, os mesmos estão se tornando mais acessíveis e baratos. O crescente aumento desta área proporciona o uso de plataformas ou kits de desenvolvimento, chamados de computadores de placa única (do inglês, *Single Board Computers* – SBC), os quais apresentam uma estrutura embarcada já desenvolvida, o que acaba contribuindo para que projetistas de sistemas foquem somente na aplicação e não desperdicem

tempo no desenvolvimento de todo o hardware (BROWN, 2017). Os SBCs podem ser utilizados em diferentes soluções, tais como: gestão de fila, gerenciamento remoto de *Data Centers* (superaquecimento, inundação, entre outros.), gerenciamento de acesso (pessoas e veículos), etc. Desse modo, a empresa Grupo Specto aderiu ao uso dos SBCs e projetou uma placa expansora denominada *Orange General Purpose* (OGP) a qual é acoplada sobre os SBCs aumentando as funcionalidades dos mesmos e permitindo a utilização em seus produtos. Entre as funcionalidades da placa OGP, a principal é a

comunicação com outros dispositivos por meio da interface serial (RS-232 e RS-485), tais como: impressora, módulos de comunicação sem fio, etc. Esta funcionalidade permite a integração com diferentes soluções e equipamentos. Neste contexto, visando minimizar possíveis perdas por meio de curto circuito e melhorar o processo de fabricação da placa expansora OGP (versão 1.0.0), para maximizar a qualidade e a produtividade do produto, com base na análise crítica do processo de fabricação utilizando o mapa de processo, foram realizadas melhorias no *layout* da placa de circuito impresso voltadas aos processos produtivos com o auxílio do software *Altium Designer*. Este trabalho apresenta uma análise comparativa de trabalhos relacionados; uma revisão da literatura, onde expõe os conceitos e definições relacionadas ao desenvolvimento deste; descreve o projeto desenvolvido; e por fim, apresenta os resultados obtidos em melhorias no projeto, processo e redução de custo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos e definições que possibilitaram o embasamento teórico para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Trabalhos relacionados

Esta seção analisa seis trabalhos relacionados ao da solução proposta que utilizam SBCs com aplicações embarcadas, dispositivos externos e placas expansora, tendo funcionalidades distintas, embora a concepção do uso de dispositivos e placas externas seja similar à concepção desenvolvida neste trabalho.

Jain *et al.* (2014) projetou uma aplicação básica de automação residencial com a SBC *Raspberry Pi*. Assim, foi desenvolvida uma aplicação que realiza a leitura de um e-mail para acionar um LED no ambiente externo. O algoritmo desenvolvido é genérico e flexível, e pode ser estendido para quaisquer aplicativos futuros, tais como: controle de energia, vigilância, etc.

O trabalho de Pimentel *et al.* (2014) propõem projetar uma SBC para o reconhecimento de comandos de voz, logo, foi utilizado a SBC *BeagleBone Black* junto ao módulo de reconhecimento de voz. O sistema desenvolvido, inicialmente controla o acionamento de um LED RGB, porém a arquitetura é flexível e permite a integração com diferentes interfaces. Os resultados dos testes realizados apontam a confiabilidade na solução proposta.

Camargo *et al.* (2015) propôs gerenciar dinamicamente as condições ambientais e melhorar

a eficiência energética da sala de servidores. Deste modo, a aplicação desenvolvida utilizou a Rede de Sensores Sem fio (do inglês, *Wireless Sensor Networks* - WSN) para monitorar o ambiente, tendo como coordenador da rede a SBC Banana Pi, que recebe as informações dos outros nodos e o armazena com o software de monitoramento *Zabbix*. Os parâmetros monitorados são: temperatura, umidade e pressão atmosférica.

O trabalho de Mcpherson *et al.* (2015) propõem um novo ambiente de processamento de dados de áudio e de sensor de latência ultra baixa em uma SBC. Para tanto, foi utilizado a plataforma *Beaglebone Black* junto a uma placa expansora personalizada que possui 8 canais áudio estéreo de 16 bits cada ADC e 16 bits DAC para sensores e atuadores. O uso da placa expansora combinada aos recursos do sistema operacional Linux desempenhou e garantiu uma boa qualidade ao projeto proposto.

O trabalho de Tarange *et al.* (2015) propõem reduzir o consumo de água em um sistema automatizado de irrigação. Assim, o sistema proposto utilizou a rede de sensores sem fio com o auxílio da SBC *Raspberry Pi* para coletar as informações de todos os sensores por meio do protocolo de comunicação ZigBee, atuando como o coordenador da rede de sensores sem fio. Os dados recolhidos são processados e armazenados em um banco de dados, auxiliando na análise para regar o solo, o sistema ainda fornece uma interface Web para que os usuários possam acessar e monitorar os dados analisados.

Pacheco *et al.* (2016) propôs um sistema de medição, monitoramento e acionamento remoto de uma carga elétrica, com o intuito de proporcionar maior controle sobre as cargas instaladas em ambientes industriais ou comerciais, a fim de aumentar a eficiência energética. Dessa forma, foi utilizado na solução proposta o SBC *BeagleBone Black*, junto a um adaptador *Wireless USB* RTL8188CUS para possibilitar a comunicação sem fio, um Módulo Relé 30/240Vac para acionar a saída digital da *BeagleBone Black* de acordo com o comando do usuário. Vale ressaltar que os dados monitorados podem ser acessados por meio de um computador pessoal ou smartphone que informará o consumo em determinados intervalos de tempo.

A Tabela 1 compara o presente trabalho com os trabalhos relacionados, considerando (i) o uso de *Single Board Computer*, (ii) softwares embarcados (SE) e (iii) o uso de placa expansora. Observa-se que alguns trabalhos analisados possuem características semelhantes às da solução proposta, em especial, o uso de SBC e o uso de softwares embarcados. Logo, entre todos os trabalhos pesquisados, não foi encontrado nenhum que

realizou o desenvolvimento ou melhorias em uma placa expansora para ser acoplada em alguma *Single Board Computer*, que é o foco desta proposta. No entanto, muitas funcionalidades e implementações verificadas puderam ser utilizadas no escopo deste trabalho.

Tabela 1: Trabalhos Relacionados

Referências	(i) Uso SBC	(ii) Softwares Embarcado	(iii) Uso de Placa Expansora
Jain <i>et al.</i> (2014)	SIM	-	-
Pimentel <i>et al.</i> (2014)	SIM	SIM	-
Camargo <i>et al.</i> (2015)	SIM	SIM	-
Mcperson <i>et al.</i> (2015)	SIM	SIM	SIM
Tarange <i>et al.</i> (2015)	SIM	SIM	-
Pacheco <i>et al.</i> (2016)	SIM	SIM	-
Este Trabalho	SIM	SIM	SIM

2.2 Pesquisas sobre SBC

A fim de escolher um SBC, a empresa Grupo Specto considerou alguns fatores que deveriam ser atendidos, por exemplo, custo, tamanho da memória RAM, desempenho da CPU, suporte da comunidade para obter auxílio em alguma dificuldade em hardware ou software e que o sistema operacional fosse Linux (Debian ou Ubuntu). Ainda, vale destacar que a pesquisa disponibilizada por Brown (2017) também auxiliou nesta escolha, pois expôs alguns aspectos importantes que devem ser levados em consideração na hora da escolha da SBC. A pesquisa de Brown (2017) foi realizada em parceria com LinuxGizmos.com e a Fundação Linux, a qual divulgou 98 SBCs que estão disponíveis no mercado, e que foram avaliadas em termos do custo, suporte para software *Open Source*, suporte da comunidade, informações do hardware (documentação) e interfaces de entrada e saída, armazenamento no dispositivo e desempenho gráfico. Assim, este trabalho utilizou o SBC projetado pela *Orange Pi*, a *Orange Pi PC*, a qual tem o melhor custo benefício na questão de processamento e memória, além do menor custo entre todas as avaliadas.

2.3 Orange Pi PC Benchmarking

A *Orange Pi PC* inicialmente foi lançada em 2014 e é um SBC do tamanho de um cartão de

crédito, sendo totalmente *Open Source*, tanto em hardware como em software, sendo equipada com 1GB de memória RAM, uma CPU Quad-core ArmCortex A7 de 1.6 GHz, 10/100 Ethernet, entrada para cartão SD, três portas USBs, uma saída Mini-HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*), além dos recursos da GPIO que facilitam a integração com outros hardwares. O custo da *Orange Pi PC* está no valor de US\$15 dólares e vale ressaltar, que a mesma suporta os sistemas operacionais Android, Lubuntu, Debian, RaspbianImage, entre outros. Uma única fonte de alimentação CC de 5 volts e 2 amperes é suficiente para alimentar o dispositivo (LEHRBAUM, 2015; BROWN, 2015; OPP, 2017).

A *Orange Pi PC* foi projetada para ter um design simples, barato, além de possibilitar a criação de uma variedade de aplicações, tais como jogos, redes de sensores sem fio, robótica, dentre outros. Ainda podem ser projetadas placas expansoras que possibilitem realizar a integração com outros dispositivos periféricos por meio dos recursos da GPIO (BROWN, 2015; OPP, 2017). A Figura 1 ilustra o lado superior e inferior da SBC *Orange Pi PC*.



Figura 1 - Orange Pi PC – Imagem superior e inferior do hardware

Fonte: Adaptado de OPP (2017)

2.4 Placa Expansora OGP Benchmarking

A *Orange Pi PC* oferece uma grande quantidade de bibliotecas e uma ampla gama de placas expansoras que podem ser acopladas perfeitamente por cima da mesma, expandindo suas funcionalidades e possibilitando a criação de diferentes aplicações de modo rápido e simples. Essas placas expansoras, por exemplo, podem conter sensores, módulos de comunicação, displays de LCD, etc. Dessa forma, a empresa Specto realizou uma pesquisa de mercado buscando uma

placa expansora que tenha os módulos de comunicação como RS-232, RS-485 e um circuito de relógio de tempo real (do inglês, *Real Time Clock- RTC*). Assim, a Tabela 2 apresenta os quatro hardwares encontrados.

Tabela 2 - *Orange Pi PC*: Placas expansoras

Nome	Custo/ Dólares	Tensão de Operação	Taxa de Transferência
RS485 Pi	10,99	3,3V	2000 kbits/s
RTC Pi	8,25	5,5V	-
Serial Pi Plus	8,99	5,5V	250 kbits/s
Serial Pi Zero	8,49	5,5V	250 kbits/s

Fonte: Abelectronics (2017)

No entanto, entre todas as placas pesquisadas, não foi encontrada nenhuma que tenha todas as especificações necessárias, ou seja, um regulador de tensão, um RTC e interface serial (RS-232 e RS-485) na mesma PCI. Sendo assim, a empresa Grupo Specto projetou uma PCI, denominada OGP, que dispõe de um RTC para manter a data e a hora atualizadas mesmo quando a energia do sistema não está mais disponível, três interfaces seriais (duas RS-232 e uma RS-485) para realizar a integração com outros dispositivos que dispõem da mesma interface de comunicação por meio do conector RJ-11 e, por fim, um regulador de tensão de 12 Volts para 5 Volts. A Figura 2 exibe a arquitetura da placa expansora, com todos os circuitos que foram projetados (RTC, regulador de tensão e interface serial).

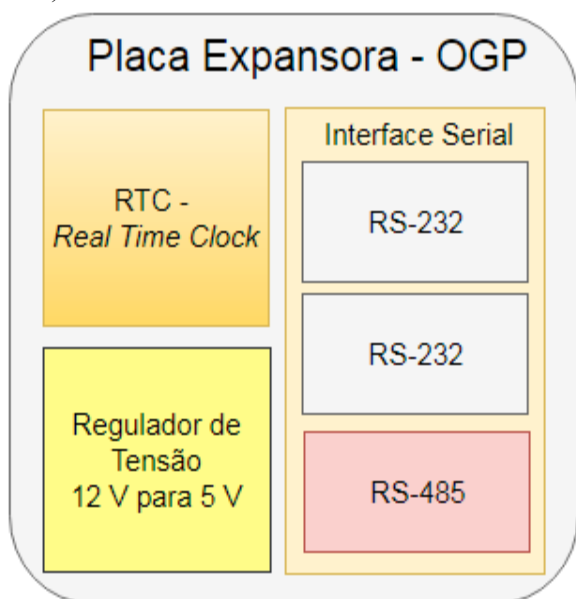


Figura 2 - Arquitetura da Placa Expansora OGP.

A placa expansora OGP possibilita a comunicação com o mundo externo por meio da *Orange Pi PC* utilizando recursos da GPIO para efetuar a integração com outros dispositivos. Logo, a figura 3 apresenta um diagrama em blocos que representa essas conexões.

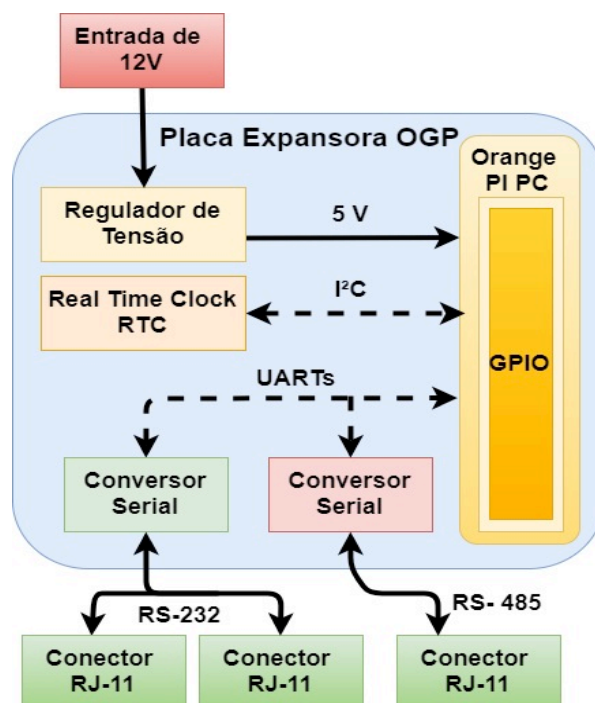


Figura 3 - Diagrama em bloco - Placa expansora OGP.

A Figura 4 apresenta a versão 1.0.0 da placa expansora que foi projetada pela empresa Grupo Specto para a *Orange Pi PC*.

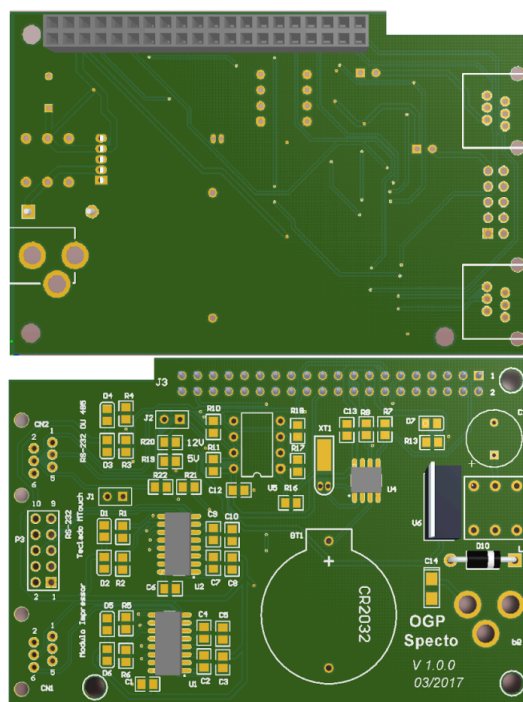


Figura 4 - Placa expansora (versão 1.0.0) – Imagem inferior e superior do hardware.

A OGP comunica-se com os outros dispositivos (impressoras, transceptores de Rádio Frequência, sensores, máquinas industriais, etc..) por meio da interface serial (RS-232 ou RS-485). Desse modo, a placa desenvolvida pela empresa Grupo Specto permite a criação de inúmeras aplicações e compreende diferentes protocolos de comunicação entre vários dispositivos conectados a este, logo, a mesma pode ser utilizada de forma genérica para realizar a integração com diferentes dispositivos e sensores para as mais distintas soluções. A Figura 5 apresenta a arquitetura da solução proposta, onde a *Orange Pi PC* pode ter inúmeras aplicações embarcadas que interagem com diferentes aplicações WEBS externas para solicitar, repassar ou monitorar qualquer tipo de informação dos dispositivos que estão conectados por meio da interface serial (RS-232 ou RS-485), tais como os dispositivos de automação industrial ZAP91X e P7C da Hiltecnologia (2018) ou o módulo de comunicação sem fio da Minibox (2018).

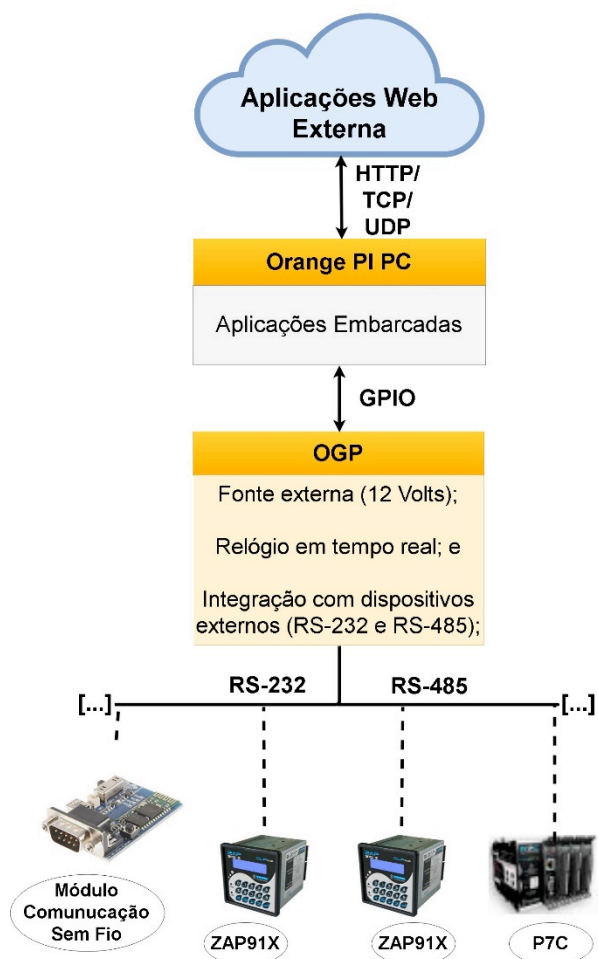


Figura 5 - Arquitetura da solução proposta.

A Figura 6 exibe a placa expansora (versão 1.0.0) acoplada em cima da *Orange Pi PC*.

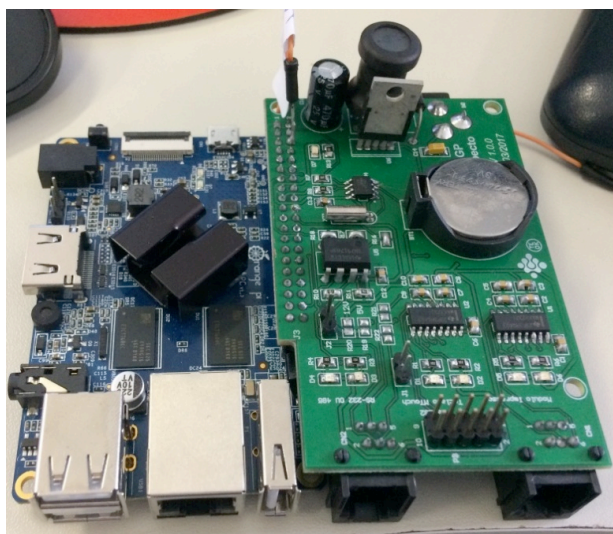


Figura 6 - Placa expansora OGP sobre a *Orange Pi PC*.

2.5 Projeto do layout da PCI

Com o intuito de melhorar o projeto e o processo de fabricação da placa expansora (versão 1.0.0), foi visto na literatura alguns conceitos que são importantes para concepção da mesma, tais como o tipo de laminado e tamanho das trilhas.

2.5.1 Tipos de Laminado

O Laminado é utilizado como material base para a fabricação da placa de circuitos impresso, logo, é empregado para a sustentação das trilhas e dos componentes eletrônicos que são montados. Existem diversos tipos de laminados na indústria, por exemplo, os mais comuns são FR1, FR2, CEM3 e FR4. Porém, o laminado utilizado dependerá das especificações de cada projeto. A Tabela 3 apresenta os principais materiais utilizados como base isolante em PCIs (CAMILO, 2015). Vale ressaltar que na placa expansora OGP versão 1.0.0 foi utilizado o laminado composto com resina epóxi e fibra de vidro (FR4), posto que é um dos mais comuns e viabiliza a concepção da mesma.

Tabela 3 - Tipos de laminados e aplicação

Laminado	Características	Layers
FR1	Material composto de resina fenólica fibra de celulose	1
FR2	Similar a FR1, pois é alterado as proporções de resina e fibra de celulose.	1
CEM1	Material composto de resina epóxi e fibra de celulose.	1 e 2
CEM3	Similar ao CEM1, pois são alteradas as proporções dos materiais.	2
FR4	Material composto de resina epóxi e fibra de vidro.	2 ou mais
FR5	Similar ao FR4 com variações nas proporções dos materiais.	2 ou mais
POLUMIDA	Poliéster e Kapton	1,2 ou mais
ALUMINA	Cerâmica	1
BASE METÁLICA	MCPCB-Metal Core PCB	1
PRFE	Polytetrafluorethylene (Teflon)	1

Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

2.5.2 Tamanho das Trilhas

O tamanho das trilhas é determinado dependendo do projeto, em especial, depende da corrente que irá circular pelo circuito e da temperatura de operação. Desse modo, quanto maior a corrente no circuito, maior será a largura da trilha necessária, para que o mesmo não apresente nenhum tipo de problema, como abertura da trilha ou superaquecimento.

Há variadas formas de se determinar o tamanho das trilhas, a Figura 7 exibe um gráfico que relaciona a corrente elétrica, espessura do cobre,

largura do cobre e a elevação de temperatura. Assim, com auxílio deste gráfico, foi projetado o tamanho das trilhas para a placa expansora versão 1.0.0, sendo mencionado trilhas para suportarem uma corrente de 2 amperes e uma temperatura de 30°C acima da temperatura ambiente, e ainda uma espessura de cobre de 1 onça por pé quadrado (1 oz = 35µm, 1,378 mils). Por meio da análise gráfica, foi verificado que a largura correspondente da trilha é de 20 mils.

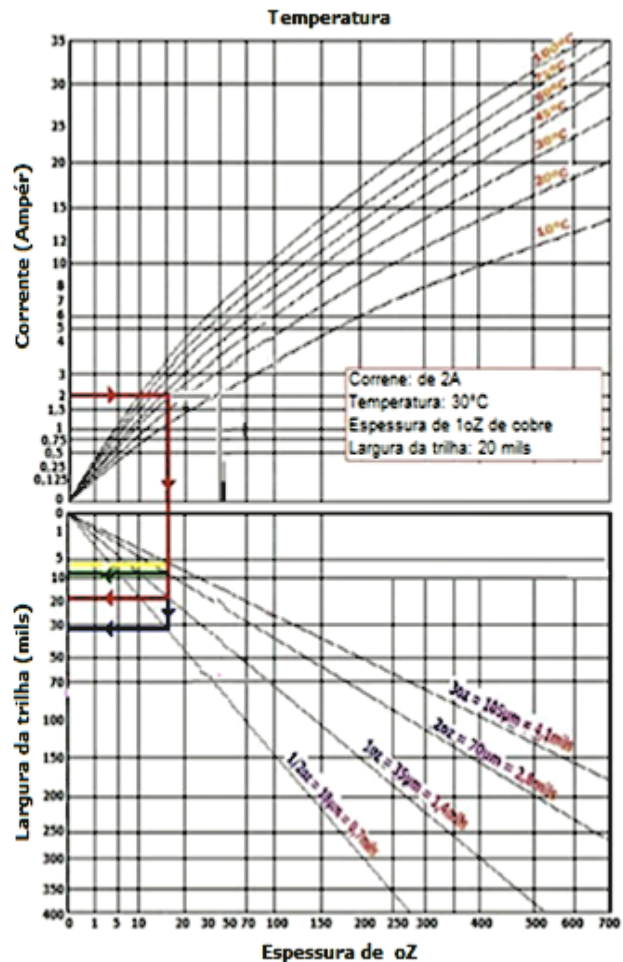


Figura 7 - Gráfico que indica o tamanho da trilha.

Fonte: Adaptado de TERROSO (2005)

Neste contexto, foi utilizado o software *Altium Designe* para realizar o desenvolvimento da placa expansora (1.0.0), logo foi empregado o recurso de regras de largura e distância entre trilhas. A Figura 8 exibe as duas regras definidas na versão 1.0.0, a primeira regra determina a espessura a ser utilizada para todas as rotas não especificadas tendo a corrente máxima de 1 ampere, já a segunda determina somente o tamanho das seguintes rotas VDD_3V3, VDD_5V, VDD_12V e GND que podem conter no máximo 2 amperes. Vale ressaltar que neste caso o tamanho das trilhas foi fornecido em milímetro (mm), logo foi convertido 20mils para 0,508mm.



Full Query / Consulta Completa	Constrains / Restrições
All	<p>Todas as rotas não especificadas devem seguir o tamanho definido</p> 
InNet('GND') OR InNet('3V3') OR InNet('5V') OR InNet('12V')	<p>Aplicado as rotas de VDD_3V3, VDD_5V, VDD_12V e GND</p> 

Figura 8 - Regras definidas no projeto (*Altium Designer*).

2.6 Processos de Montagem de Placas Eletrônicas

Compreender os processos de montagem de uma placa de circuito impresso contribui para o desenvolvimento de *layouts* mais adequados e eficientes para posterior produção. A montagem dos componentes eletrônicos pode ser realizada de três modos, o primeiro modo é pela forma totalmente manual para pequena produção, já o segundo, é pela forma totalmente automática sendo utilizado para grandes volumes, e o terceiro é o mais comum envolvendo ambos os processos (JADHAV, 2005). Vale destacar que cada vez mais a indústria deseja montar as placas de circuito impresso de forma automatizada, embora, ainda seja uma tarefa difícil, pois a maioria dos projetos de placas eletrônicas é desenvolvida mesclando as tecnologias SMD (*Surface Mounting Devices*) e PTH (*Pin Through Hole*), inviabilizando às vezes a montagem de forma totalmente automática. Ainda, ressalta-se que existem no mercado processos automatizados de montagem de placas eletrônicas para componentes SMD com capacidade de inserção de componentes da ordem de cem mil componentes por hora (JADHAV, 2005), o mesmo acontece com os componentes PTH, tendo máquinas chamadas de insersoras automáticas que dispõem capacidade de montar aproximadamente vinte mil componentes por hora (UNIVERSAL, 2017). A Figura 9 apresenta um exemplo dos componentes PTHs e SMD. Os componentes PTH dispõem de terminais elétricos que estão conectados no corpo do componente e são montados sobre a placa de

circuito impresso por meio de furos que atravessam a mesma. Os componentes SMDs dispõem de terminais de conexão que fazem parte do próprio corpo do componente. Assim, seus terminais de conexão são montados diretamente sobre a superfície da placa de circuito impresso que é denominada *pad* ou ilha de solda.

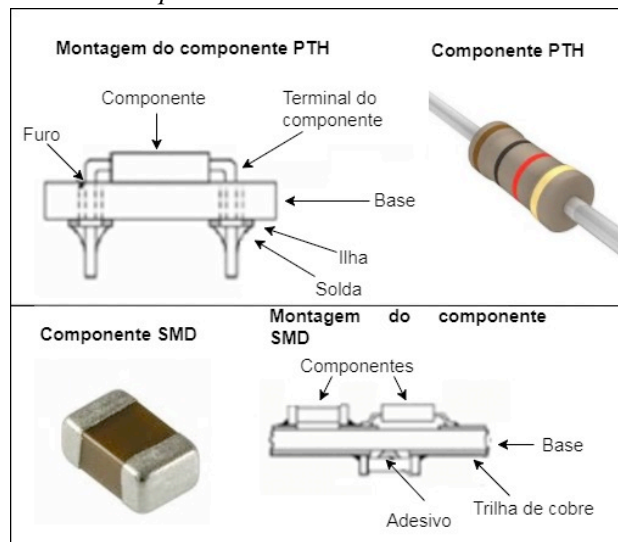


Figura 9 - Componente PTH e SMD.

2.6.1 Normas

A *Association Connecting Electronics Industries (IPC)* instituída em 1957 com o nome de Instituto de Circuito Impresso estudam e desenvolvem técnicas empresariais para a melhoria dos padrões da indústria eletrônica, especialmente para desenvolvedores, e montadores de circuito impresso ou empresas fabricantes de eletrônicos. A *IPC* dispõe de mais de 200 comitês dedicados ao desenvolvimento de técnicas industriais, do mesmo modo também aceitam sugestões de seus colaboradores afiliados. Os padrões *IPC* abrangem produtos eletrônicos comerciais (classe I), industriais (classe II) e militares (classe III).

Os padrões da *IPC* são adotados internacionalmente na indústria eletrônica pelo fato de proporem programas de melhoria de tecnologia, criação de políticas ambientais e incentivar participação de todos os seus membros nessas atividades, bem como se compromete a cooperação com todas as organizações relacionadas.

A norma *IPC-A-610D* determina os padrões de aceitabilidade internacional de montagem de produtos eletrônicos por meio da análise visual, ainda, denota recomendações sobre o processo de aceitação no domínio da qualidade para produtos eletrônicos em geral, sendo um dos padrões mais utilizado na eletrônica. Ainda, esta norma determina os dois tipos básicos para a montagem de PCI, no primeiro tipo, os componentes são montados e

soldados em apenas um lado da PCI, já o segundo tipo, os componentes são montados e soldados em ambos os lados da PCI (SILVA, 2015; MIC, 2015). A Figura 10 exibe os dois tipos de montagem de PCI.

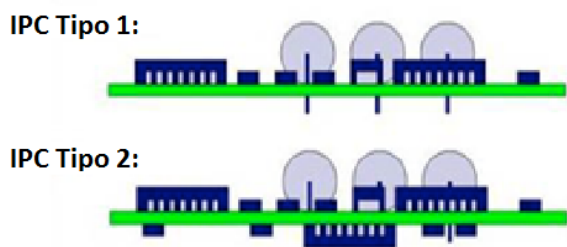


Figura 10 - Tipos básicos de montagem de PCI.
Fonte: Adaptado de Silva (2015).

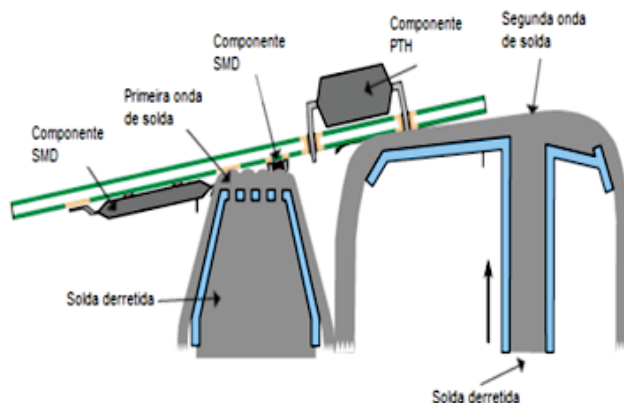
2.7 Processos de Solda em PCIs

Nesta seção serão apresentados os processos de solda em uma placa eletrônica. Existem quatro processos para soldar os componentes, sendo eles: a solda por onda (*wavesolder*), por refusão (*reflowsolder*), pelo processo manual ou pela combinação dos três processos anteriores. Será descrito somente o processo por solda onda e por refusão, visto que a proposta deste trabalho propõe automatizar todo processo de montagem de componentes eletrônicos.

2.7.1 Solda Onda

O uso de componentes SMD e PTH na mesma placa de circuito impresso está cada vez mais comum na indústria, trazendo alguns desafios para o processo de soldagem, pois exige tecnologias avançadas. O processo de solda por onda é o principal processo utilizado nas indústrias, neste processo basicamente, existe 3 etapas distintas, sendo elas a de fluxagem, o pré-aquecimento e de soldagem. O fluxo de solda promove a limpeza da superfície da placa e terminais dos componentes, evitando a oxidação dos mesmos, assegurando assim a qualidade da solda. O pré-aquecimento permite secar e ativar o fluxo, evaporar os solventes presentes no fluxo, além de pré-aquecer a placa evitando choque térmico ao encontrar a onda de solda quente. Já na etapa de soldagem, a placa com os componentes eletrônicos são passados por cima de um tanque de solda derretida, seus terminais são mergulhados nessa solda e soldando-os todos de uma só vez, ou seja, os componentes PTH e SMD podem ser soldados simultaneamente (CAMILO, 2015). A Figura 11 exibe todo o processo de solda onda utilizando os componentes PTH e SMD na mesma placa de circuito impresso. A primeira onda de solda derretida é turbulenta, e possibilita a

melhor qualidade de solda dos componentes montados na superfície da placa de tecnologias SMD; a segunda onda é laminar sendo mais indicada para os componentes PTHs, entretanto a onda turbulenta geralmente opera em conjunto com a laminar para garantir a soldagem de todos os componentes.



Dupla onda de solda, a primeira turbulenta e a segunda sem turbulência.

Figura 11 - Método de solda por solda onda.

Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

A Figura 12 exibe todo o processo de solda onda para componentes SMD. Os componentes primeiramente são adesivados na placa de circuito impresso por meio de pontos de cola localizados na área de ocupação de cada componente, em sequência, são posicionados por inseroras automáticas e em seguida são colocados em uma estufa para curar a cola. Posteriormente à cura, é realizada a solda onda e, por fim, a placa é encaminhada para verificação de falha ou erros na montagem (CAMILO, 2015).

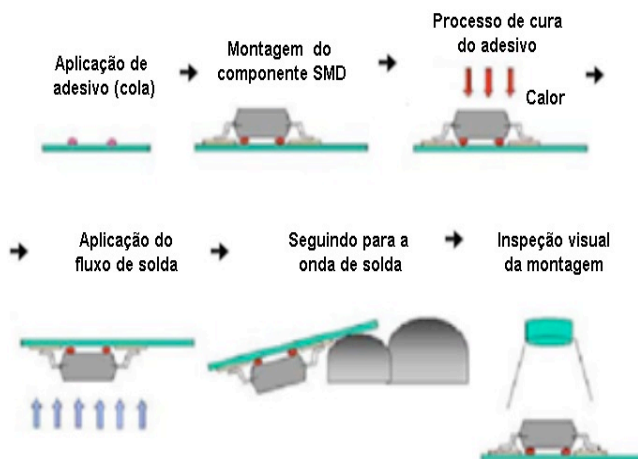


Figura 12 - Processo de Solda Onda (SMD).

Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

A Figura 13 exibe todo o processo de solda onda para componentes PTH. Neste processo, os componentes são posicionados na placa, vale destacar que a inserção dos componentes PTH, pode acontecer por meio do processo automatizado ou

manual. Posteriormente, são levados para a máquina de solda onda para ser aplicado o fluxo de solda, na sequência, são levados para a esteira e então passam pelo tanque de solda derretido. Por fim, ocorre o resfriamento e posteriormente a inspeção da mesma (CAMILO, 2015).

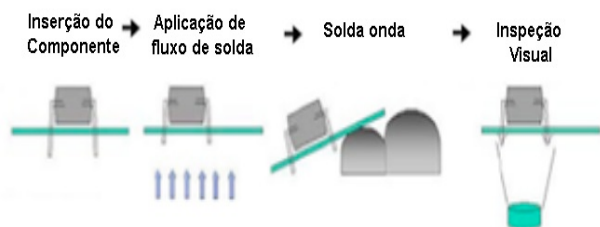


Figura 13 - Processo de Solda Onda (PTH).
Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

A Figura 14 exibe o perfil térmico recomendado para solda por onda, em que é considerado um equipamento com dupla onda para a montagem de componentes SMD e PTH. Como exibido no gráfico, o tempo total necessário para soldar uma placa é de 5 minutos. Assim, nos primeiros 2 minutos acontece o pré-aquecimento da placa por meio da rampa de subida da temperatura de 60°C por minuto, até alcançar a temperatura aproximada de 140°C, para que o fluxo de solda seja ativado corretamente. A segunda etapa é o pré-aquecimento que ocorre no período de 2 a 3 minutos, onde a rampa de temperatura também está subindo 60°C por minuto, até atingir aproximadamente 200° C, quando deve ocorrer a volatilização do fluxo de solda por completo. Assim, aos 4 minutos procede a entrada da placa na primeira onda de solda atingindo 250° C e, na sequência, a placa passa pela segunda onda tendo como temperatura máxima 260° C completando o ciclo de soldagem. Posteriormente à segunda onda de solda, as placas devem sair da zona de aquecimento e se resfriar para serem encaminhadas para as próximas etapas de revisão e testes. Ainda se destaca, que é importante o design de *layouts* das PCIs, pois um projeto bem elaborado pode evitar problemas relacionados a falhas no processo de solda, tais como: curto circuito, má formação no processo de solda, entre outros fatores que contribuem para a geração de retrabalhos pelas montadoras de placas eletrônicas (CAMILO, 2015).

Dessa forma, são utilizadas técnicas para minimizar e/ou eliminar curtos de solda no desenvolvimento de PCI, tais como: ladrão de solda e orientação do componente na placa. O ladrão de solda é uma ilha extra que é utilizada para absorver o excesso de solda que normalmente se acumula nos dois últimos pinos do componente, tendo como objetivo reduzir ou eliminar os curtos circuitos de solda, que são causados durante o processo de

soldagem da placa eletrônica por meio da onda de solda (CAMILO, 2015).

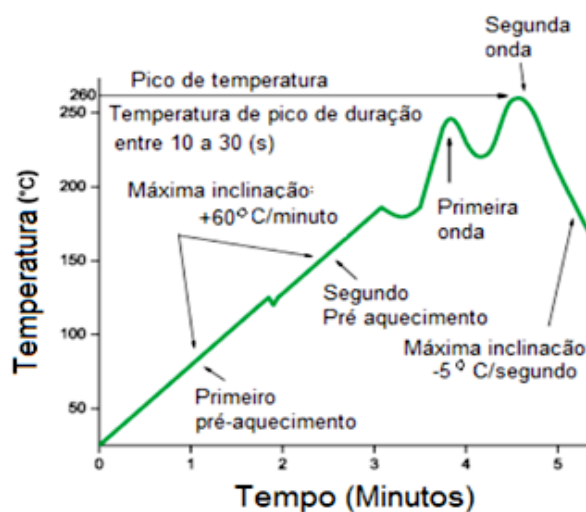


Figura 14 - Perfil térmico de solda onda.
Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

A Figura 15 mostra exemplos de ladrão de solda, onde na imagem (a) exibe o ladrão de solda separado da ilha de solda, já na imagem (b) o ladrão de solda é a própria ilha de solda.

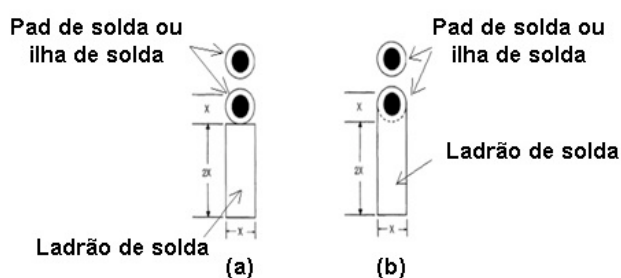


Figura 15 - Ladrão de Solda.
Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

No processo de solda onda, a onda pode ser bloqueada por algum componente, causando sombreamento de componentes vizinhos e impossibilitando a solda dos mesmos (CAMILO, 2015). Desse modo, posicionar os componentes visando o processo de soldagem é a melhor solução para prevenir retrabalhos. A Figura 16 exibe um *layout* de uma PCI onde os componentes SMD causam sombra nos componentes que estão em posição distintas. A imagem (a) exibe os pontos que não estão em contato com a solda, a (b) exibe a sombra dos componentes (CAMILO, 2015). Vale destacar que no projeto em questão (placa 2.0.0), optou-se por usar todos os SMD do lado inferior da PCI, assim todos os componentes são soldados por refusão e não apresentam esse tipo de problema.

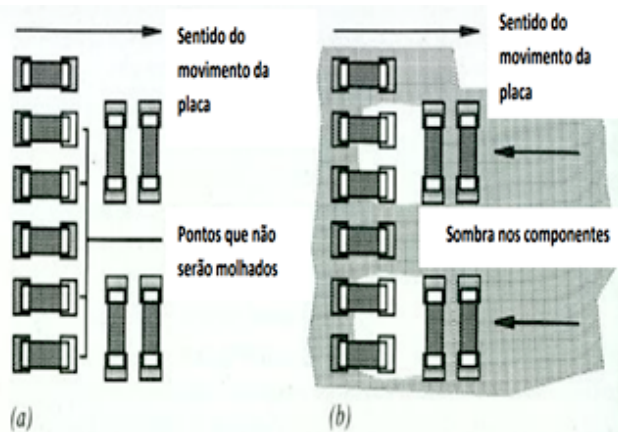


Figura 16 - Componentes causando sombra.
 Fonte: Adaptado de Woodgate (1988).

2.7.2 Refusão

O processo de refusão é o mais automatizado na montagem de placas eletrônicas, envolvendo o controle das temperaturas nas zonas de aquecimento do forno de refusão, a alta precisão de ferramentas para posicionar os componentes e o manejo dos componentes (SARVAR, 1998; IDNANI, 2007), logo, também exigem que os *layouts* estejam adequados, especialmente, quando a montagem envolve duplo processo envolvendo solda por onda e por refusão. Neste processo basicamente, ocorre a aplicação da pasta de solda diretamente nas áreas de solda (*pads*), posteriormente, os componentes são inseridos sobre a PCI por meio da máquina inseridora automática *pick and place*, e em seguida, a placa com os componentes são levados ao forno de refusão para serem soldados. A Figura 17 exibe todas as etapas envolvidas no processo de refusão: a aplicação da pasta de solda no *pad*, a inspeção automática da pasta de solda, a montagem do componente SMD, o fluxo de ar quente e, por fim, a inspeção automática da solda.

Vale ressaltar que, de acordo com Camilo (2015), a temperatura envolvida no processo de refusão deve estar sempre controlada para não exceder a temperatura suportada pelos componentes SMD.

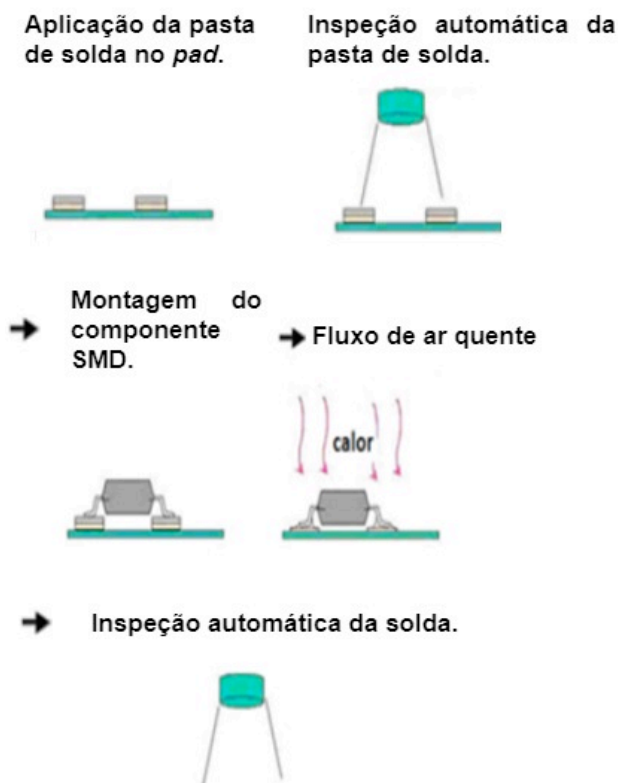


Figura 17 - Método de solda por refusão.
 Fonte: Adaptado de Camilo (2015)

A Figura 18 exibe o perfil térmico recomendado para o forno de refusão quando utilizado na solda de componentes SMD em placas eletrônicas. Como exibido no gráfico, o tempo total necessário para a solda de uma placa é de 300 segundos. Assim, nos primeiros 120, segundos acontece o pré-aquecimento da placa por meio da rampa de subida da temperatura de 3° C por segundo, até alcançar a temperatura aproximada de 200° C. A segunda etapa é o processo de refusão que ocorre no período de 130 a 180 segundos, onde a rampa de temperatura também está subindo 3° C por segundo, até atingir aproximadamente 250° C, completando o ciclo. Assim, a temperatura começa a descer para posteriormente a placa se resfriar e ser encaminhada para as próximas etapas de revisão e testes (CAMILO, 2015).

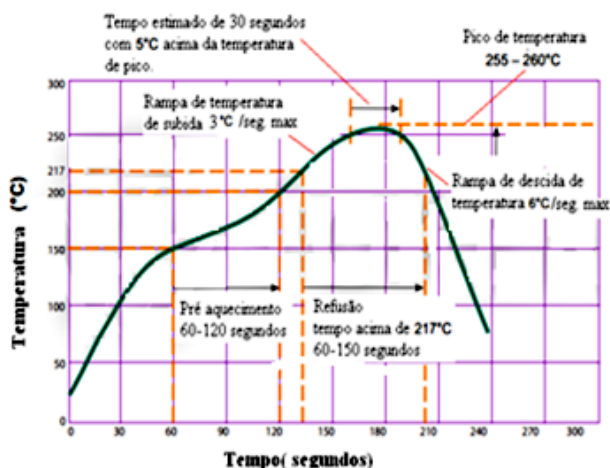


Figura 18 - Gráfico de temperatura de Refusão.

Fonte: Adaptado de Camilo (2015).

2.8 RoHS

A diretiva RoHS (*Restriction of Certain Hazardous Substances*) de 2006, proporcionou uma série de restrições a respeito da composição da liga de solda para a eletrônica, embora, ainda seja utilizada a liga de solda estanho/chumbo pela indústria de montagem de placa eletrônicas em diferentes países (MADUREIRA, 2009; ALMEIDA, 2013). Assim, destaca-se que esta normativa foi estabelecida basicamente pelo problema da reciclagem dos equipamentos eletrônicos, pois a maioria dos equipamentos são descartados em latas de lixo ou aterro sanitário. Sendo assim, a partir de 2006, as indústrias tiveram que se adequar às novas exigências do mercado e, neste sentido, algumas substâncias (cádmio, mercúrio, cromo hexavalente, bifenilos polibromados, éteres difenil-polibromados e chumbo) estão sendo banidas dos processos industriais, principalmente na indústria eletrônica, pois a liga de solda não pode mais conter substâncias de chumbo. Dessa forma, principalmente para a indústria que exporta seus produtos para a Europa, iniciou-se um processo de mudança em sua linha de montagem utilizando novas ligas de solda que não contenham o chumbo. Essas novas substâncias, implicam em vários desafios, por exemplo, não existe um padrão industrial para a solda sem chumbo, sendo assim, a temperatura de fusão mudará dependendo das substâncias utilizadas. Para tanto, a indústria vem se adequando a estas novas exigências e está utilizando a solda “*lead free*” que se refere à solda que não contém chumbo na sua composição. No Brasil a liga SAC305 ($Sn3Ag0.5Cu$) é uma das ligas de solda sem chumbo mais conhecidas (CAMILO, 2015; MADUREIRA, 2009; ALMEIDA, 2013).

2.9 Pontos de teste

Existem inúmeras aplicações com placa de circuitos impressos, e um requisito fundamental em todos os projetos é que as PCIs devem funcionar de acordo com suas especificações sem erros ou falhas. Dessa forma, a indústria de fabricação de PCIs e os fabricantes de produtos eletrônicos enfrentam um grande desafio para estabelecer uma variedade de procedimentos de inspeção e teste para garantir a qualidade dos produtos. Para tanto, a inspeção e o teste identificam as placas defeituosas e fornecem *feedback* sobre processo, o que auxilia na melhora contínua, maximizando o rendimento final e a máxima confiabilidade dos produtos. Vale destacar que, cada PCI precisa ser inspecionada e testada de acordo com o seu *design* e suas especificações. Algumas máquinas de *pick and place* dispõem de recursos embutidos que lhes permitem verificar se há componentes defeituosos e desalinhamento. Além disso, existem testes de PCI que podem ser realizados de duas formas: teste de circuito (ICT) ou teste de verificação funcional (FVT). O ICT realiza testes paramétricos dos componentes individuais, verificando curtos, resistência, capacitância e outros fatores que demonstram o correto funcionamento do mesmo. Os testes funcionais determinam se as funcionalidades dos produtos estão de acordo com suas especificações e possibilitam a decisão final em que o produto está aprovado ou não. Ainda se destaca, que alguns problemas podem surgir na concepção de uma placa de circuito impresso, por exemplo, os componentes que podem estar desalinhados, e as conexões de solda podem não estar completas. O excesso de solda pode causar curto circuito (GERLACH, 2016; HOUDEK, 2016).

Os diferentes métodos de inspeção e teste têm diferentes níveis de eficácia para cada tipo de defeito. Portanto, a inspeção e os testes garantem a alta qualidade na fabricação de PCIs e produtos eletrônicos, para tanto, este trabalho propõe adotar a adição de pontos de testes na placa expansora (2.0.0), visando tornar o processo mais confiável, já que a mesma pode ser testada na linha de produção.

2.10 Ponto Fiducial

Os pontos fiduciais são marcadores físicos na PCI utilizadas pelas máquinas *pick and place* como pontos de referências para posicionamento dos componentes SMD sobre a PCI durante o processo de montagem da placa. Basicamente, é uma abertura de máscara de solda redonda com cobre nu e redondo no centro. O cobre nu tem um diâmetro menor do que a abertura da máscara de solda. Vale ressaltar, que não há nenhuma regra sobre quantidade de pontos fiduciária que devem ser

inseridos na PCI. O recomendado é que sejam posicionados dois pontos fiduciais nas duas extremidades da PCI (FIDUCIAL, 2017). A Figura 19 exibe como é o ponto fiducial.

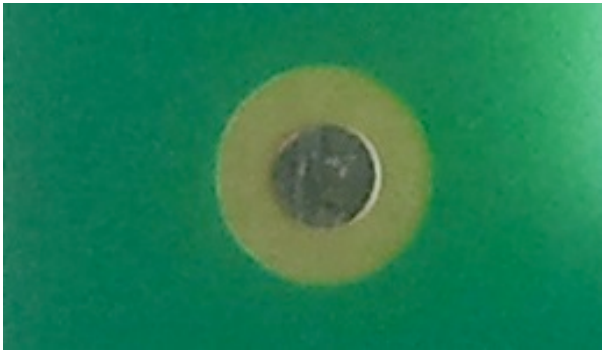


Figura 19 - Ponto Fiducial.
Fonte: Adaptado de Fiducial (2017).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo apresenta o mapa de processo da placa expansora versão 1.0.0, seguida pela análise das oportunidades de melhorias e, por fim é apresentado o novo projeto da placa OGP versão 2.0.0.

3.1 Mapa de processo da placa OGP 1.0.0

A Figura 20 apresenta o mapa de processo da placa expansora da versão 1.0.0, ou seja, sem nenhuma melhoria no *layout*, para tanto, neste modelo simplificado, a placa deve passar pelos seguintes procedimentos: (I) Preparar para solda realizando a limpeza da PCI; (II) Pasta de solda para fixação dos componentes SMD; (III) Inserção dos componentes SMD utilizando a máquina de *pick and place*; (IV) Solda por refusão nos componentes SMD; (V) Inserção de componentes PTH na parte superior da PCI; (VI) Solda onda dos componentes PTH; (VII) inserção de componentes PTH na parte inferior da PCI; (VIII) Solda onda seletiva dos componentes PTH; (IX) Inspeção manual de falhas no processo de fabricação; (X) Teste de circuito (ICT) para validar o produto, verificando problemas como curto-circuito, etc; (XI) Teste de verificação das funcionalidades (FVT) para validar se o produto está operando de acordo com suas especificações.

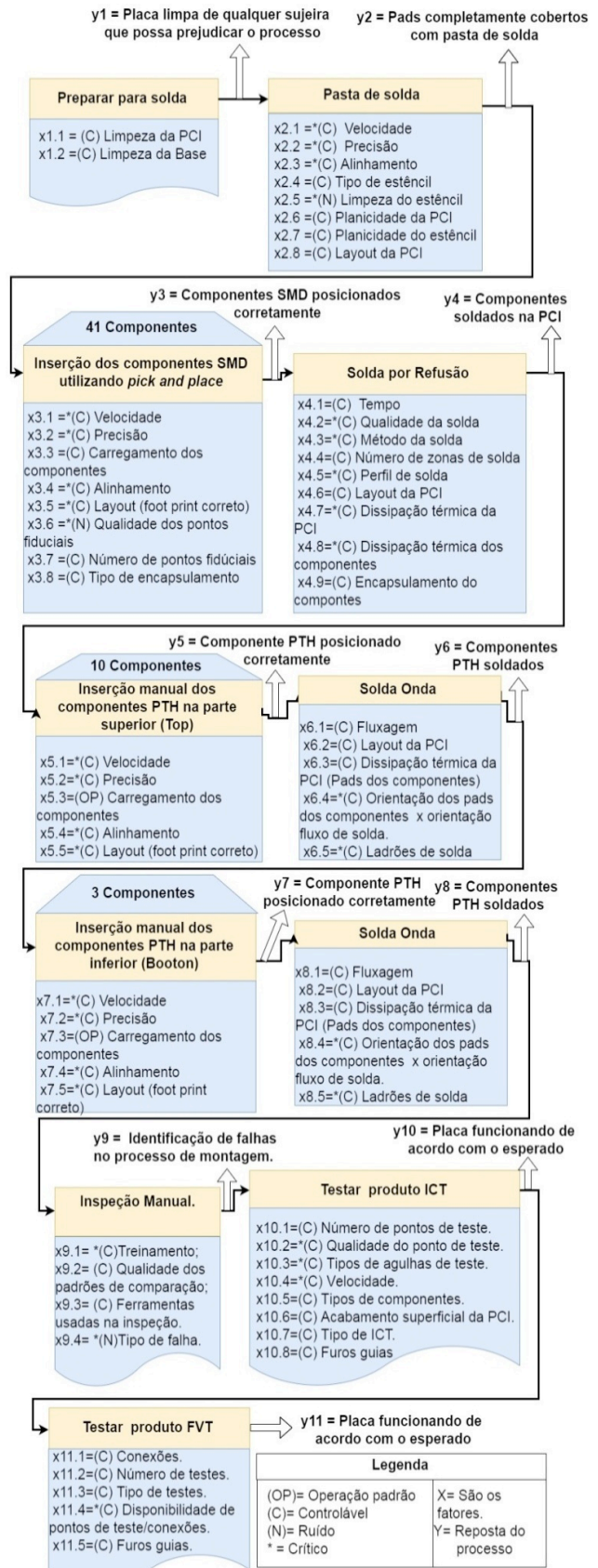


Figura 20: Mapa de processo da versão 1.0.0

3.2 Análise das oportunidades de melhorias

Avaliando o mapa de processo da placa OGP versão 1.0.0, verifica-se que a inserção dos

componentes SMD é um ponto crítico, pois a mesma não dispõe de pontos fiduciais para auxiliar no posicionamento dos componentes SMD. Outro ponto crítico é a orientação dos terminais dos componentes em relação a solda onda, assim como a ausência de ladrões de solda, estes dois fatores são críticos e podem provocar problemas de curto circuito no processo, principalmente, nos terminais dos conectores e no componente U6. O uso de componentes PTHs dos dois lados da placa OGP (1.0.0) torna necessário mais uma etapa de processo somente para realizar a solda nos conectores CN1, CN2, J3 e P5 (únicos componentes PTHs do lado inferior da placa). Os mesmos são exibidos na figura 21.

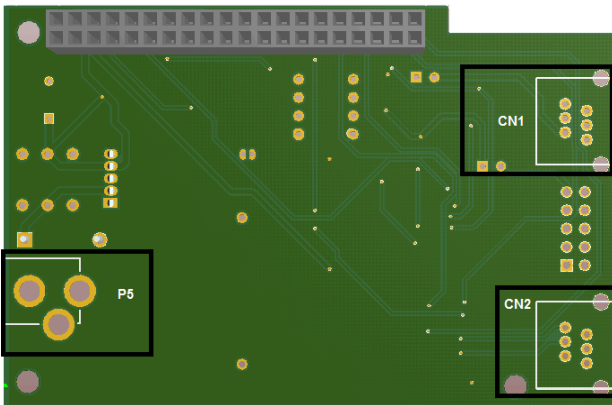


Figura 21 - Componentes PTH no lado inferior – OGP (1.0.0).

Este tipo de processo é crítico e muitas vezes são feitos da forma manual, sendo um "gargalo" para a linha de produção. Na parte dos testes, verifica-se que a disponibilidade de pontos de testes promove um processo automatizado e garantem uma melhor cobertura dos testes. Deste modo, com base nestes pontos críticos foi realizado um novo *layout* da placa OGP versão 2.0.0 para minimizar e/ou eliminar possíveis anomalias.

3.3 Projeto Placa OGP versão 2.0.0

Este capítulo detalha as etapas do desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, será apresentada as especificações da placa expansora, seguidas pelas melhorias em termos de processo de fabricação, substituição de componentes PTH por SMD e as melhorias em termos de EMC. Por fim, será apresentada a análise financeira.

3.3.1 – Especificação da Placa expansora

A placa expansora OGP versão 2.0.0, possui a mesma especificações e dimensionamento físico da versão 1.0.0, conforme a seguir:

- Espessura do laminado: 1.6mm;
- Espessura do cobre: 1 onça por pé quadrado (1 oz= 35µm, 1,378 mils);
- Número de layer: 2;
- Tipo de laminado: FR4;
- Largura e comprimento da PCI: 57x 86mm;
- Tipo de acabamento superficial: HASL (*Hot Air Solder Level*); e
- Tipo de acabamento mecânico: Vinco.

3.3.2 - Melhorias em termos de processo de fabricação

No processo de fabricação da placa expansora (2.0.0), buscou-se eliminar e reduzir os pontos críticos vistos no mapa de processo da placa expansora versão 1.0.0, assim como o custo e a ocorrência de possíveis defeitos por curto de solda. Dessa forma, foi realizada a revisão do *layout* da placa expansora, reposicionando os componentes com relação ao fluxo de solda, que é um ponto crítico, e por isso os componentes e os conectores estão sempre entrando no sentido longitudinal com relação ao fluxo de solda para evitar curtos circuitos. Ainda todos os componentes SMDs e PTHs foram inseridos na parte superior (*Top Layer*) da PCI, logo, esta alteração deve facilitar e reduzir o custo da montagem dos componentes, pois todos componentes serão montados do mesmo lado, eliminando um dos processos de solda a onda. Ainda, foi adicionado o espaço para posicionar a etiqueta de identificação do produto, possibilidade essa que não havia na versão 1.0.0. A Figura 22 exibe o novo *layout* da placa expansora, sendo apresentado o lado superior e o inferior da PCI, assim como, a descrição da versão da placa (2.0.0) e o espaço para colocar a etiqueta de identificação do produto.

Diante do apresentado, também foram adicionados pontos de teste em todos os circuitos (serial, fonte de alimentação e RTC) da PCI para auxiliar na identificação de placas defeituosas durante a montagem dos componentes eletrônicos, fornecendo assim um *feedback* sobre o processo de montagem, auxiliando na melhora contínua e na confiabilidade do produto. A Figura 23 evidência os pontos de testes adicionados na placa expansora. Vale destacar, que foram inseridos 39 pontos de testes que estão distribuídos entre o lado superior e inferior da PCI para facilitar os testes na linha de produção, visto que foi a melhor forma de posicionar os mesmos, posto que no lado superior da PCI há muitos componentes, trilhas e vias de circuitos.

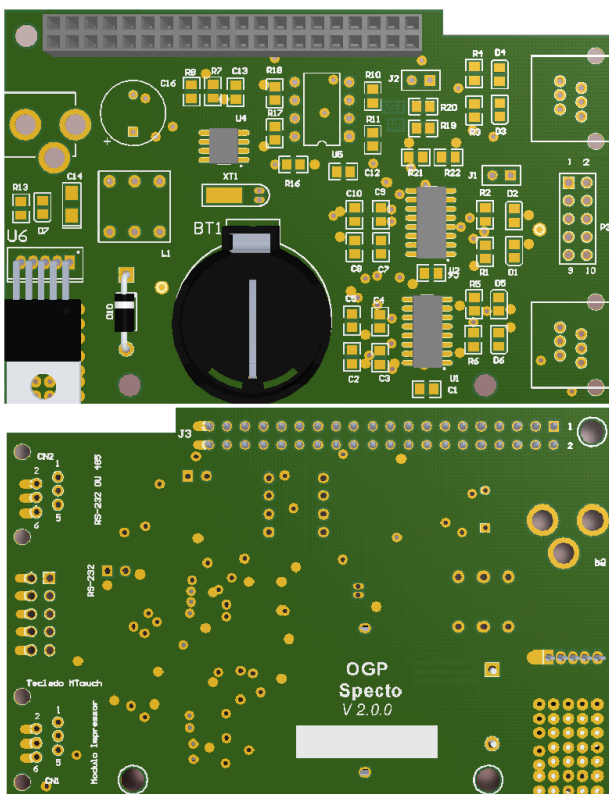


Figura 22 - Placa expansora (versão 2.0.0) – Imagem superior e inferior do hardware.

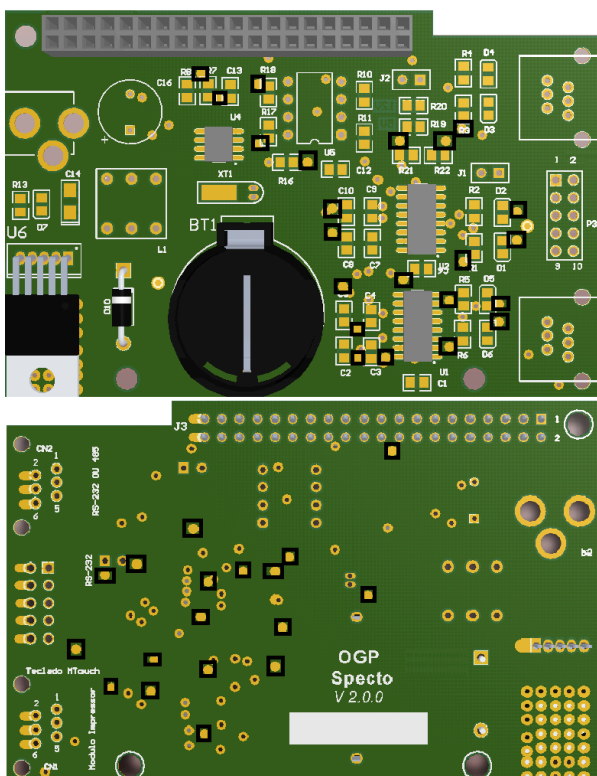


Figura 23 - Pontos de testes adicionados na placa expansora.

Posteriormente, foram inseridos dois pontos fiduciais em cada lado da PCI já que é uns dos pontos críticos do mapa de processo da placa versão 1.0.0. A figura 24 exibido os mesmos.

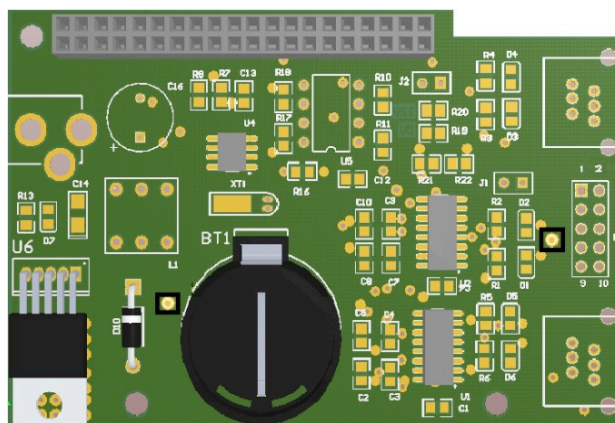


Figura 24 - Pontos fiduciais adicionados na placa expansora.

Por fim, foram adicionados ladrões de solda na PCI, principalmente, nos conectores e no regulador de tensão para reduzir ou eliminar possíveis curtos circuitos de solda durante o processo de solda onda. A Figura 25 exibe os ladrões de solda que foram adicionados na placa expansora, em especial, nos conectores CN1, CN2, J3, P3 e por fim, no componente U6, conforme apresentado a seguir.

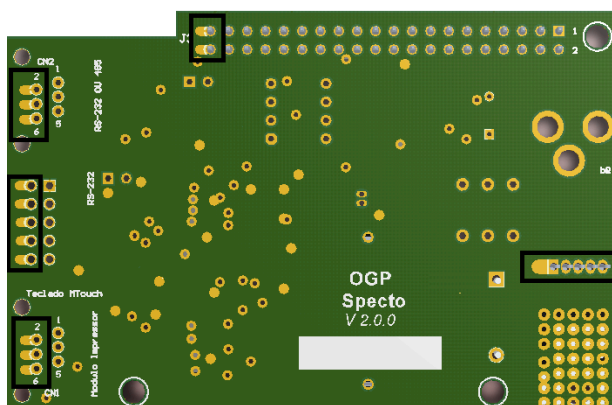


Figura 25 - Ladrões de solda adicionados na placa expansora.

3.3.2.1 Mapa de processo da nova versão da placa expansora

Considerando que o uso de componentes PTHs dos dois lados da placa OGP (1.0.0) é uma etapa crítica, todos os componentes SMDs e PTHs foram inseridos na parte superior da PCI. Sendo assim, foram eliminadas duas etapas (Inserção manual dos componentes PTHs na parte inferior e Solda onda seletiva) do mapa de processo da placa OGP versão 2.0.0. A Figura 26 exibe o novo mapa de processo o qual deve passar pelos seguintes procedimentos durante a produção: (I) Preparar para solda realizando a limpeza da PCI; (II) Aplicação da pasta de solda; (III) Inserção dos componentes SMD utilizando a máquina de *pick and place*; (IV) Solda por refusão dos componentes SMDs; (V) Inserção dos componentes PTH, posicionando os mesmos

corretamente na placa; (VI) Solda a onda dos componentes PTH; (VII) Inspeção manual de falhas no processo de fabricação; (VIII) Teste de circuito (ICT) para validar todos os circuitos; (IX) Teste de verificação funcional (FVT) para validar as funcionalidades do produto.

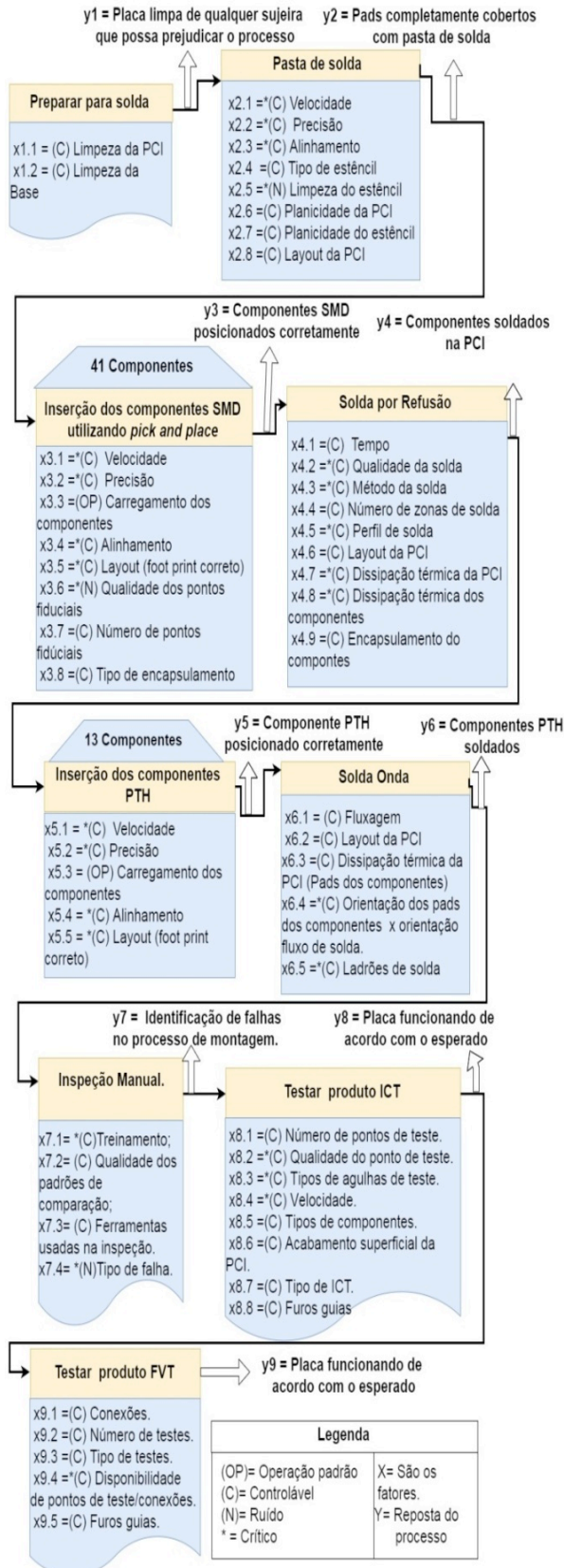


Figura 26: Mapa de Processo versão 2.0.0
 3.3.3 Melhorias em termos de EMC

Durante o processo de desenvolvimento da nova placa expansora foram tomados alguns cuidados em relação à compatibilidade eletromagnética (EMC), sendo abordadas algumas boas práticas, tais como o agrupamento de componentes, plano de terra e capacitores de desacoplamento. O plano de terra, na placa de circuito interno é fundamental para minimizar problemas de compatibilidade eletromagnética, dessa forma, foi criado um plano de terra em toda parte superior e inferior da PCI. Posteriormente, para prevenir problemas de EMC também, foi realizado o agrupamento dos componentes de acordo com suas funcionalidades sobre a PCI, tais como, seções analógicas, seções digitais e fonte de alimentação. As trilhas de cada grupo estão divididas conforme as suas respectivas áreas designadas. Ainda, para evitar qualquer anomalia no funcionamento do sistema por conta de ruídos na fonte de alimentação, foi adicionado um capacitor 100nF cerâmico ligado a entrada da alimentação para filtrar qualquer ruído.

3.3.4 Substituição de Componentes PTH por SMD.

Visando reduzir e eliminar as etapas de montagem manual e de solda onda do mapa de processo, estão sendo analisados e definidos componentes SMDs para substituir os atuais componentes PTHs. Embora essas alterações dependam de homologação dos mesmos, posto que a empresa Grupo Specto desenvolve outros hardwares e assim, precisa homologar esses para facilitar e permitir a compatibilidade com os demais produtos, logo, deve ser comprado 3 amostras de cada componente de fabricantes distintos, para então ser montado e validado junto aos demais hardwares da empresa. A Tabela 4 exhibe alguns componentes que já estão sendo homologados para substituir os componentes PTHs, os mesmos são encontrados na DIGIKEY (2017).

Tabela 4 - Componentes em homologação

Componentes	
Part Number	Descrição
495-5837-6-ND	FIXED IND 330UH 650MA 810 MOHM
641-1015-2-ND	DIODE SCHOTTKY 40V 1A DO214AC
565-2224-1-ND	CAP ALUM 470UF 20% 25V SMD

3.3.5 Análise Financeira

Nesta seção será apresentada a análise de custo para a concepção da placa OGP, seguida pela análise de custo do esforço da engenharia e por fim, a análise de custos envolvidas no *Payback* (DE CAMARGO, 2016).

3.3.5.1 Análise de custo para concepção da placa OGP

Para avaliar o protótipo desenvolvido, foram realizadas cotações para 50 unidades da nova versão da placa expansora com empresas terceiras que trabalham com a fabricação de Placa de Circuito Impresso e montagens de componentes eletrônicos. A tabela 5 exibe as cotações realizadas para manufatura das PCIs:

Tabela 5 - Custo de Fabricação PCI – Versão 2.0.0

Empresa	Unidade	Custo de Fabricação da PCI (Versão 2.0.0)	Diferença de custo (R\$)
Empresa X1	50	495,00	85,00
Empresa X2	50	580,00	

Observa-se uma diferença de R\$85,00 no custo de fabricação da PCI entre as duas empresas. Já a tabela 6 exibe as cotações realizadas com empresas que trabalham com montagem de componentes eletrônicos.

Tabela 6 - Custo da montagem dos componentes

Empresa	Unidade	Custo da montagem dos componentes (Versão 2.0.0)	Diferença de custo (R\$)
Empresa X3	50	342,50	7,50
Empresa X4	50	350,00	

Entre todas as empresas que realizarão a cotação (fabricação de PCI e montagem dos componentes eletrônicos), as empresas X1 e X3 obtiveram o menor custo conforme é exibido nas tabelas 5 e 6. Vale ressaltar que as mesmas também foram selecionadas anteriormente para fabricação da placa OGP (1.0.0), justamente pelo fator de custo.

A Tabela 7 exibe o resultado comparativo dos custos envolvidos na fabricação e montagem dos componentes da placa OGP na versão 1.0.0 e 2.0.0.

Tabela 7 - Custo de Fabricação – Versão 1.0.0 e 2.0.0

Placa Expansora OGP			
Descrição	Custo (R\$) Versão 1.0.0	Custo (R\$) Versão 2.0.0	Diferença De Custo (R\$)
Fabricação da PCI	13,85	9,90	3,95
Montagem de Componentes	7,15	6,85	0,30
Total	21,00	16,75	4,25

Verifica-se que as alterações realizadas no projeto (2.0.0) reduziram o custo de fabricação e de montagem dos componentes, logo, teve-se a redução de R\$ 4,25 por placa.

Assim, é possível perceber que a nova versão desenvolvida teve redução de custo da fabricação da PCI, posto que teve redução de trilhas e vias, assim como as montagens dos componentes já que todos estão sendo montados do mesmo lado.

3.3.5.2 Análise de custo de engenharia

A estimativa de custo recorrente ao esforço da engenharia ocorre pelas horas de trabalhos da equipe de desenvolvimento e os valores aplicado neste processo, logo, esses fatores possibilitaram conceber a placa OGP (1.0.0 e 2.0.0), para tanto, será apresentado os mesmos a seguir na tabela 8:

Tabela 8 - Custo de engenharia – Versão 1.0.0 e 2.0.0

Placa Expansora OGP			
Descrição	Versão 1.0.0	Versão 2.0.0	Total
Horas de trabalhado	66	35	101
Custo (R\$)	1.443,00	765,62	2.208,62

3.3.5.3 Análise de custos de *Payback*

Foi realizado um cálculo simples do tempo que levará para obter o retorno do investimento do desenvolvimento da placa OGP (2.0.0), por meio do *Payback*, que simplesmente é um indicador que demonstra quanto tempo o investimento levará para

dar o retorno. Sendo assim, é utilizada uma fórmula que relaciona todos os custos de investimento, mais o custo de engenharia, posteriormente dividido pelo coeficiente da multiplicação entre o volume da placa anual e a diferença de custo, como é demonstrado na equação 1:

$$Payback = \frac{Investimento + Custo_Engenharia}{\Delta custo \cdot Volume_anual} \quad [1]$$

Conforme exibido, são necessários alguns parâmetros para calcular o *Payback*, assim, serão elencados os mesmos a seguir: (i) Investimento: dá-se pela capacitação do desenvolvedor por meio de cursos e treinamento e pelo custo de fabricação dos protótipos da nova placa; (ii) Custo de engenharia: recorrente ao tempo e custo de desenvolvimento da placa OGP; (iii) Diferença de custo: preço estimado da placa OGP (2.0.0); e (iv) Volume estimado de placa anual: Previsão da quantidade de placas que serão produzidas durante um ano. Diante do exposto, em seguida será apresentado os coeficientes de cada variável:

- Investimento = R\$ 500,00;
- Custo de engenharia = R\$ 765,62;
- Diferença de custo = R\$ 4,25;
- Volume estimado de placas anual = 1000 unidades.

Desse modo, aplicando os valores na fórmula do *Payback*, resultou no retorno de investimento em 0,29 anos, aproximadamente em 3,5 meses a empresa já recuperará o investimento realizado.

4 CONCLUSÃO

Como apresentado neste trabalho, o conhecimento no processo de solda de componentes eletrônicos, em montagem de placa de circuito impresso, é extremamente importante para o desenvolvimento de *layouts* de PCI, posto que devem ser projetados *layouts* com menor índices de retrabalhos e tornando o processo de montagem de componente mais eficaz. Ainda, verificou-se que o *layout* da PCI influencia na qualidade e no custo de produção, considerando que o produto desenvolvido reduziu o custo de fabricação da placa expansora, assim como o custo da montagem dos componentes. Deste modo, se comparar a versão 1.0.0 com a versão 2.0.0 da placa OGP, a nova versão contribuirá para o processo de manufatura mais eficiente e confiável, automatizando e garantindo que sejam realizados testes na linha de produção por meio dos pontos de testes. Ainda, os ladrões de solda que foram adicionados nesta versão auxiliarão a minimizar e/ou eliminar curtos de solda. Ressalta-

se também que as boas práticas aplicadas neste projeto (agrupamento de componentes, plano de terra e o capacitor de desacoplamento) irão prevenir problemas em relação à compatibilidade eletromagnética. Contudo, algumas avaliações de aspectos de qualidade do produto ainda não puderam ser conclusivas, posto que a placa (versão 2.0.0) ainda não foi fabricada e consequentemente não houve a avaliação. Portanto, a empresa Grupo Specto irá aderir este novo *layout* diante dos custos e dos benefícios envolvido nesta nova versão. Ainda, vale ressaltar que buscando melhorar o desenvolvimento da placa expansora, as seguintes sugestões de trabalhos futuros foram identificadas:

- Trocar componentes PTH para SMD visando reduzir o tamanho da placa expansora e eliminação do processo montagem manual e solda onda;
- Trocar componentes SMD 0603 para 0402 visando diminuir o tamanho da placa expansora e redução de custo;
- Avaliar e controlar o processo de montagem com base no mapa de processo e fatores críticos, de forma a garantir a qualidade da produção em larga escala; e
- Realimentar o mapa de processo com informações de produção.

REFERÊNCIAS

ABELECTRONICS, 2017. Disponível em: < <https://www.abelectronics.co.uk> >. Acesso em: 20 Dez, 2017.

ALMEIDA, C. *et al.* **Substituição das soldas estanho-chumbo na manufatura: Efeitos na saúde do trabalhador e no desempenho ambiental.** SciELO Bras, v. 20, n. 1, p. 46-58, 2013

BROWN, Eric. **Raspberry Pi Model B+ price drops to \$25.** 2015. Em: < <http://linuxgizmos.com/raspberry-pi-model-b-plus-price-drops-to-25-dollars/>>. Acesso em: 27 Set, 2017.

BROWN, Eric. **Ringin in 2017 with 90 hacker-friendly single board computers.** 2017. Em: < <http://linuxgizmos.com/ringin-in-2017-with-90-hacker-friendly-single-board-computers/>>. Acesso em: Dez, 2017.

CAMARGO, D. *et al.* **Monitoramento Ambiental Open Source para Data Center.** 2015. Disponível em: < <http://eradrj2015.lncc.br/forumic/145961.pdf> >. Acessado em: Dez, 2017.

CAMILO, Edson *et al.* **Propostas de design de layout da PCI para redução de curto circuito de solda a onda, para processo de montagem de placa eletrônica.** 2015. Disponível em: <http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/260044/1/Camilo_Edson_M.pdf>. Acessado em: Dez, 2017.

DIGIKEY Eletronic, 2017. Em: <https://www.digikey.com.br/?&utm_adgroup=General&gclid=CjwKCAiA9rjRBRAeEiwA2SV4ZZWtl9TIF3mWTjE0sZnJzfm98spz46ZGtNppCRj_dGAGtAh6JQaeThoCXqMQAvD_BwE>. Acessado em: 11 Nov, 2017.

FIDUCIAL, Marks. 2017. Disponível em: <<https://www.pcb-3d.com/fiducial-marks-tutorial/>>.

Acesso em: Nov, 2017.

GERLACH, Gustavo *et al.* **Proposta de melhoria de Layout como fator para a otimização do processo produtivo organizacional.** 2016 Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/viewFile/25157/pdf>>. Acessado em: Dez, 2017.

HITECNOLOGIA, 2018. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/automacao-industrial/clp-ihm>>. Acessado em: Jan, 2018.

HOUDEK, C., 2016. **Inspection and testing methods for PCBs: An overview.** Disponível em: <<http://caltronicsdesign.com/wp-content/uploads/2016/11/Inspection-and-testing-methods-for-PCBs-an-overview.pdf>>. Acessado em: Dez, 2017.

IDNANI, Chandru. **Impact of new materials and processes on manufacturing: Green** (Pb and halide free), RoHS experience. In: Electronic Manufacturing Technology Symposium, 2007. IEMT'07. 32nd IEEE/CPMT International. IEEE, 2007. p. 332-334.

JADHAV *et al.* **Analyzing Printed Circuit Board Assembly Lines Using a PCB Assembly Template**, in Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005., 2005, pp. 1335–1342.

JAIN, Sarthak; VAIBHAV, Anant; GOYAL, Lovely. **Raspberry Pi based interactive home automation system through E-mail.** In: Optimization, Reliability, and Information

Technology (ICROIT), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. p. 277-280. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6798330/>>. Acesso em: Nov. 2017.

LEHRBAUM, Rick. **\$15 Orange Pi PC hacker SBC packs 1.6GHz quad-core SoC.** 2015. Em: <<http://linuxgizmos.com/15-dollar-orange-pi-pc-hacker-sbc-packs-quad-core-soc/>>. Acesso em: 27 Set, 2017.

MADUREIRA, M. **Avaliação em Energia para Tomada de Decisão na Substituição da Solda à Base de Estanho e Chumbo.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade Paulista.

MCPHERSON, Andrew; *et al.* **An environment for submillisecond-latency audio and sensor processing on BeagleBone Black.** In: Audio Engineering Society Convention 138. Audio Engineering Society, 2015. Disponível em: <<http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=17755>>. Acesso em: Nov. 2017.

MIC, S. **Norma IC-A-610 Padrão para eletrônicos.** 2015. Disponível em: <<http://www.micsuporte.com.br/produtos-embarcados/noticia-14-Norma-IPC-A--610-Padr%C3%A3o-para-eletr%C3%B4nicos>>. Acessado em: Dez, 2017.

MINIBOX, 2018. Disponível em: <https://www.miniinthebox.com/pt/porta-serial-bluetooth-sem-fio-modulo-de-comunicacao-serial-rs232-modulo-de-transmissao-de-dados_p1049675.html>. Acessado em Jan, 2018.

OPP, Orange Pi PC. 2017. Disponível em: <<http://www.orange-pi.org/orangepi/>>. Acesso em: Acesso em: Set, 2017.

PACHECO, Ábner CP *et al.* **Projeto de um sistema de medição, monitoramento e acionamento remoto de uma carga elétrica.** 2016. Disponível em: <http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos/ceel2016_artigo167_r01.pdf>. Acesso em: Nov. 2017.

PIMENTEL, V. C. A. *et al.* **Uma plataforma de baixo custo comando por voz para tecnologias assistivas com programação em python.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014. Disponível em: <

http://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_417.pdf>. Acesso em: Nov. 2017.

SARVAR, Farhad; CONWAY, Paul P. **Effective modeling of the reflow soldering process: use of a modeling tool for product and process design**. IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology: Part C, v. 21, n. 3, p. 165-171, 1998.

TARANGE, Pandurang H. *et al.* **Web based automatic irrigation system using wireless sensor network and embedded Linux board**. In: Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2015 International Conference on. IEEE, 2015. p. 1-5. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7159327/>>. Acesso em: Nov, 2017.

TERROSO, R. A. **Dicas para elaborar um layout de um placa de circuito impressor (PCI)**, 2005. Acessado em: Dez, 2017. Disponível em: <http://www.feng.pucrs.br/~jclima/downloads/CONFECCAO_DE_PCI_versao_and1.pdf>.

UNIVERSAL, I. Instruments, **Surface Mount**, 2017. Disponível em: <<http://www.uic.com/solutions/surface-mount>>. Acessado em: Dez, 2017.

SILVA, A. V. **Estudo do Processo de Soldagem de Conectores HDMI em Placas de Notebook**. 2015. Disponível em: <https://www.itegam.org.br/pegasus/imagens_site/arquivos/2015/10/antonio-da-silva-vieira.pdf> . Acessado em: Dez, 2017.

WOODGATE, Ralph W. **The Handbook of Machine Soldering: a Guide for the Soldering of Electronic Printed Wiring Assemblies**. John Wiley & Sons, Inc., 1988, p. 256, 1988.

DE CARMAGO, Renata Freitas. **Treasy - Planejamento e Controladoria**. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos>>. Acesso em 28 Jan. 2018.