

Faculdade de Tecnologia de São Paulo

Felipe Ramalho Ferreira da Silva

PARAMETRIZAÇÃO DOS TEMPOS DE MONTAGEM MANUAL
DE PLACAS ELETRÔNICAS

São Paulo

2014

Felipe Ramalho Ferreira da Silva

PARAMETRIZAÇÃO DOS TEMPOS DE MONTAGEM MANUAL
DE PLACAS ELETRÔNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso ao Curso
Materiais Processos e Componentes
Eletrônicos para obtenção do título de
Tecnólogo em Materiais Processos e
Componentes Eletrônicos.

Orientador: Prof. David Tsai

São Paulo

2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Edson Ferreira da Silva e Silvia Cristina Ramalho Ferreira da Silva por terem sempre me dado apoio para tornar isto possível.

A todos os professores do curso de Materiais Processos e Componentes Eletrônicos da Fatec-SP por terem me passado toda a base de conhecimento para a realização do trabalho.

Ao meu professor orientador David Tsai, pela ajuda e confiança para a elaboração, desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Aos representantes e funcionários da montadora de placas eletrônicas Reag-Spray por terem aberto as portas da empresa e fornecido tudo o que foi necessário para meu estudo.

Aos meus amigos e colegas do curso, principalmente a Gabriel Fávero do Poço e Anderson Matheus Alves, que estiveram presentes comigo em todos os dias de estudo necessários para a conclusão do curso.

A minha namorada Tayná Kavalciuki dos Santos Sanches pela compreensão, carinho e apoio.

E um agradecimento em especial ao meu avô Arlindo Ferreira da Silva, pelos conselhos dados em toda a minha juventude.

A calma dos sábios nada mais é do que a arte de guardar a agitação que vai nos seus corações (François de La Rochefoucauld)

RESUMO

O presente trabalho apresenta um método para a criação de uma referência para o tempo de inserção de componentes convencionais em placas de circuito impresso. Os tempos de inserção foram obtidos junto à empresa Reag Spray, montadora de placas eletrônicas. Após a coleta, os tempos passaram por uma espécie de refinamento, a partir de técnicas estatísticas e probabilísticas de controle da produção. Primeiramente a distribuição normal padrão foi utilizada, usando-se três índices de confiança diferentes: 95%, 99% e 99,9%. Assim, determinou-se os tempos otimista, pessimista e mais provável do processo, e com estes obteve-se o tempo total esperado da montagem da placa, para teste da precisão do parâmetro criado. Uma planilha foi construída no programa Microsoft Office Excel 2007, para proporcionar ao usuário simular os tempos de montagens de placas com os componentes convencionais observados, retornando o prazo esperado da montagem da placa selecionada.

ABSTRACT

This paper presents a method for creation of a reference to the insertion time of conventional components on printed circuit boards. The insertion times were obtained from the company Reag Spray, a assembly plant of electronic boards. After collecting, the times underwent by a kind of refinement, from statistical and probabilistic techniques of production control. First, the standard normal distribution was used, using three different levels of confidence: 95%, 99% and 99.9%. Thus, was determined the optimistic, pessimistic and most likely times of the process and with they was obtained the expected total time of the board assembly to test the precision of the designed parameter. A spreadsheet was constructed in Microsoft Office Excel 2007 program to provide to user the simulation time of boards assembly with the PTH components that were observed, returning overall expected completion time for the selected board.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Pesquisa sobre gastos e futuros gastos no mercado eletrônico por consumidor.....	10
Figura 2	Esquema de inserção de componentes em uma linha de montagem.....	13
Figura 3	Esquema de inserção de componentes por apenas um operador	14
Figura 4	Porta contentores, neste caso, distribuídos em forma de anfiteatro...	14
Figura 5	Linha de montagem de componentes PTH.....	15
Figura 6	Linha de montagem de componentes SMD	16
Figura 7	Placa mestre 1186A.....	18
Figura 8	Distribuição normal padrão – Teste unilateral a direita	24
Figura 9	Distribuição normal padrão – Teste unilateral a esquerda	25
Figura 10	Distribuição normal padrão – Teste bilateral	25
Figura 11	Comparação dos níveis de confiança para o diodo convencional.....	27
Figura 12	Comparação das médias de cada componente para cada tempo estudado	39
Figura 13	Comparação das variâncias de cada componente para cada tempo estudado	39
Figura 14	Interface da planilha criada	45
Figura 15	Caixas de Resposta dos Botões “Fechar”, “Limpar” e “Salvar Como”, respectivamente	46
Figura 16	Erro retornado ao se colocar um caractere estranho na célula destinada à quantidade	46
Figura 17	Opções de componentes do “Banco de Dados”, disponíveis para seleção do usuário	47
Figura 18	Resultado da planilha para a placa estudada	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Lista de componentes da placa e suas respectivas quantidades	19
Tabela 2	Tempos de inserção coletados para cada componente	20
Tabela 3	Tempos “Mais Prováveis” de inserção para cada componente	29
Tabela 4	Tempos “Pessimistas” de inserção para cada componente	32
Tabela 5	Tempos “Otimistas” de inserção para cada componente	35
Tabela 6	Planilha auxiliar que funciona como banco de dados do programa .	43

SUMÁRIO

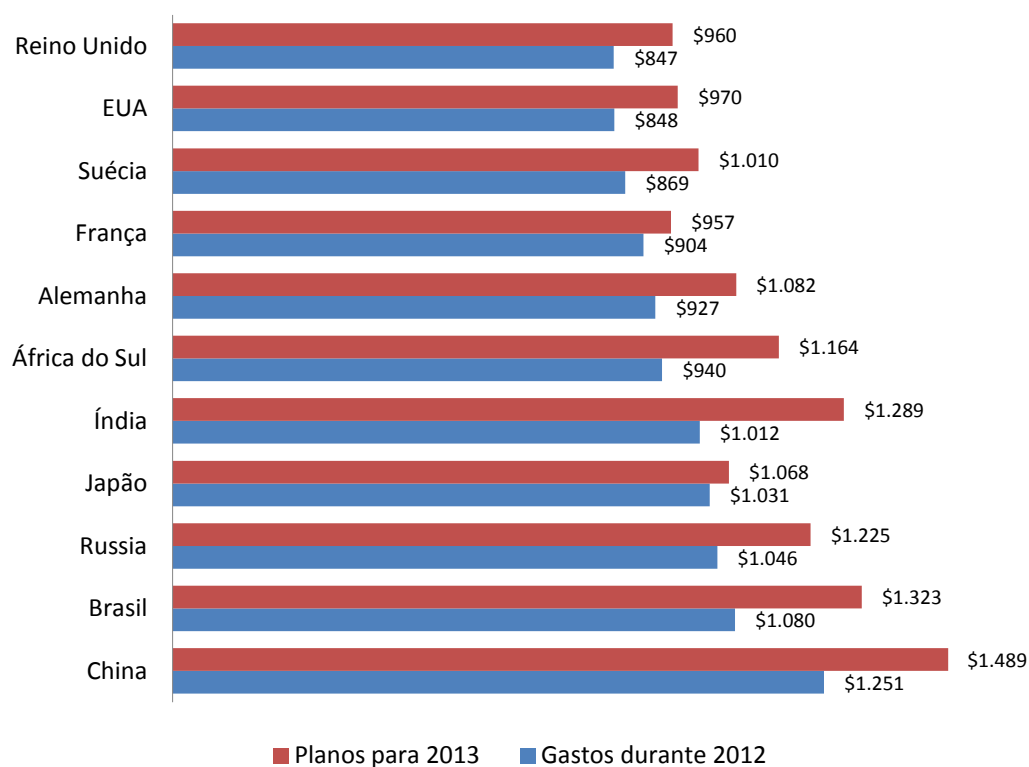
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. PROCESSOS DE MONTAGEM NA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI).....	12
2.1. Processo de montagem manual de PTH na PCI.....	12
2.2. Processo de montagem automatizado de PTH na PCI	15
2.3. Processo de montagem de SMD na PCI.....	16
3. MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DOS TEMPOS DE INSERÇÃO PARA CRIAÇÃO DO PARÂMETRO	18
3.1. Método para obtenção dos tempos	18
3.2. Análise estatística e probabilística para refinamento do parâmetro	23
3.3. Testes e definição do nível de confiança.....	26
4. DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS AO NÍVEL DE CONFIANÇA DE 99,9%	29
5. IMPLEMENTAÇÃO DO PARÂMETRO PARA MONTADORAS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	40
5.1. Estrutura da planilha – Funções e recursos disponibilizados pelo Excel 2007.	40
5.2. Linguagem VBA – Macros utilizadas.....	41
5.3. Análise da planilha – Estrutura e funções utilizadas em cada campo	43
5.4. Teste da precisão do parâmetro criado.....	47
6. CONCLUSÃO	50
7. BIBLIOGRAFIA.....	51
8. ANEXOS.....	53

1- INTRODUÇÃO

O principal objetivo da elaboração do trabalho foi a criação de um parâmetro temporal através de análises estatísticas e probabilísticas, para o tempo de montagem manual de placas eletrônicas, dessa forma pequenas empresas podem consultá-lo para obter otimização e maior controle da produção de placas.

O mercado eletrônico vem crescendo ano após ano em todo o mundo. Segundo pesquisa da Accenture, multinacional de consultoria de gestão, realizada entre Setembro e Outubro de 2012, abrangendo 11 mil entrevistados em 11 países o Brasil é o segundo maior consumidor de produtos eletrônicos no mundo, e também ocupa a segunda posição nas intenções de compra de eletrônicos em 2013 como vemos no gráfico a seguir:

Figura 1 – Pesquisa sobre gastos e futuros gastos no mercado eletrônico por consumidor



Fonte: Accenture, 2012

Porém esse alto volume de gastos com produtos não se reflete na produção das placas eletrônicas no país. As grandes indústrias eletrônicas que fabricam

placas de alta complexidade estão localizadas nas grandes potências mundiais, Japão, Estados Unidos e pela Europa, já a produção das placas com média complexidade ficam concentradas nos países emergentes, como Coréia e Taiwan. Produções mais simples que englobam placas de face simples ficam por conta de países com mão de obra barata como a China e a Tailândia.

No Brasil as importações são as responsáveis por alimentar o mercado de placas de circuito impresso. As montadoras de placas que na década de 80 eram mais de 200, hoje não passam de 40, e no estado de São Paulo não passam de 10, devido a forte concorrência dos países asiáticos que com mão de obra barata e produção em larga escala, barateiam muito o custo de produção da placa.

Para que se consiga competir a nível mundial é necessária uma série de ações, que possam melhorar a qualidade e o controle do processo de montagem das placas, assim permitindo um melhor planejamento e conseguindo produzir maiores quantidades com menor custo.

Porém, os investimentos em pesquisas para o aperfeiçoamento do processo ainda é muito baixo, criando grandes dificuldades na implantação de novos projetos, devido a grande variedade de produtos e a falta de profissionais que possam criar técnicas inovadoras no país.

Considerando todos esses fatores, as pesquisas relacionadas à melhoria e controle do processo são fundamentais para as empresas que atuarem na montagem de circuitos impressos. (7) (8) (9)

2 – PROCESSOS DE MONTAGEM NA PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO (PCI)

As placas de circuito impresso foram criadas nos anos 40. Elas são formadas por camadas de materiais plásticos e fibrosos como fenolite ou fibra de vidro, e tem suas trilhas formadas por películas de substâncias metálicas como cobre ou prata. Essas trilhas tem a função de interligar e conduzir corrente elétrica pelos componentes eletrônicos.

Os componentes PTH (Pin Through Hole) surgiram por volta de 1940 junto a tecnologia Through Hole Technology (THT) com a característica de possuírem terminais longos que são inseridos nos furos da placa de circuito impresso. Nessa tecnologia a montagem pode ser feito tanto manualmente quanto por máquinas, já que os componentes não são difíceis de serem manuseados.

Em meados de 1980 surgiram um novo tipo de componentes eletrônicos, os componentes SMD (Surface Mount Devices). Os componentes SMD são componentes muito menores que os seus predecessores os componentes PTH e trouxeram uma nova tecnologia para a montagem de placas eletrônicas, a tecnologia de montagem de superfície ou Surface Mount Technology (SMT) que tem como característica que os componentes não são inseridos por furos, mas sim montados e soldados sobre a superfície da placa de circuito impresso (PCI).

Essa nova tecnologia veio com o objetivo de baixar custos e atender a tendência de miniaturização das placas de circuitos impressos. O comprimento e a largura dos componentes diminuíram mais de 10 vezes, tendo os componentes SMD passivos o comprimento de aproximadamente 0,2mm e a largura cerca de 0,1mm. Já os componentes ativos reduziram sua área em quase 20 vezes, agora possuindo uma área próxima a 0,809mm². (5) (8)

2.1 - Processo de montagem manual de PTH na PCI

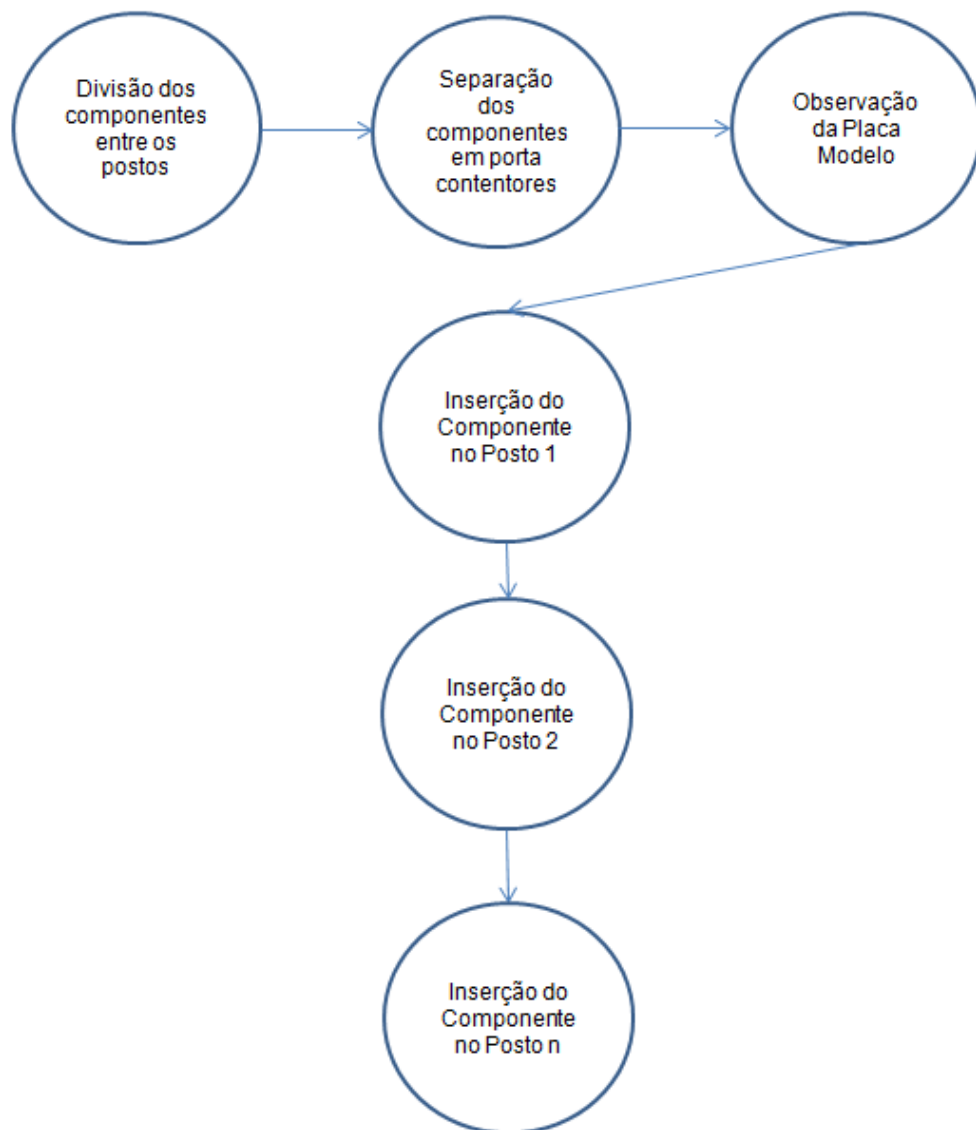
A montagem manual, atualmente perdeu muito espaço dentro das montadoras de placas eletrônicas devido as máquinas exercerem as montagens

muito mais rapidamente, porém em certas etapas do processo o homem é ainda indispensável.

O processo segue algumas etapas muito simples, porém elas variam de acordo com o componente assim é necessário considerar cada componente específico. No caso dos resistores inicialmente os terminais são cortados com um alicate de bico e são dobrados com o alicate de corte, após isso já pode-se inserir o componente nos furos da placa. A inserção pode ser feita de dois modos diferentes dependendo principalmente do tipo de linha de montagem, os modos estão a seguir:

- Montagem, feita em linha, com vários postos de montagem:

Figura 2 – Esquema de inserção de componentes em uma linha de montagem com “n” operadores



- Montagem feita em apenas um posto de montagem:

Figura 3 – Esquema de inserção de componentes em uma linha de montagem com apenas um operador

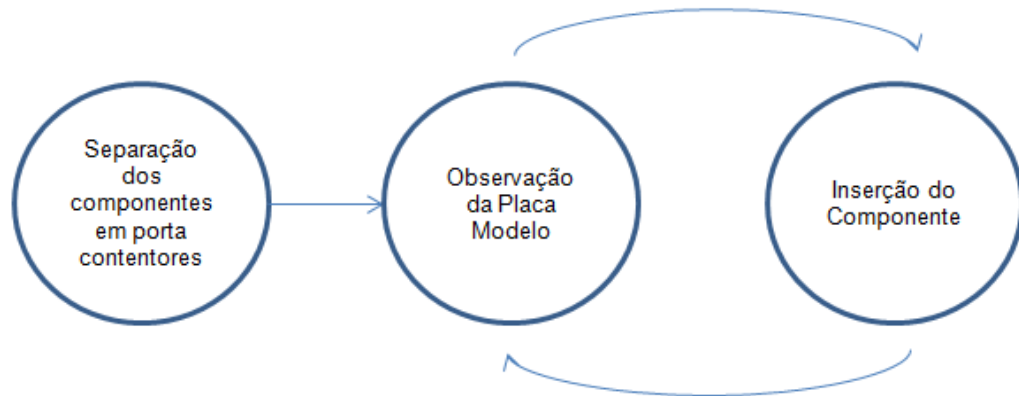


Figura 4 – Porta contentores, neste caso, distribuídos em forma de anfiteatro



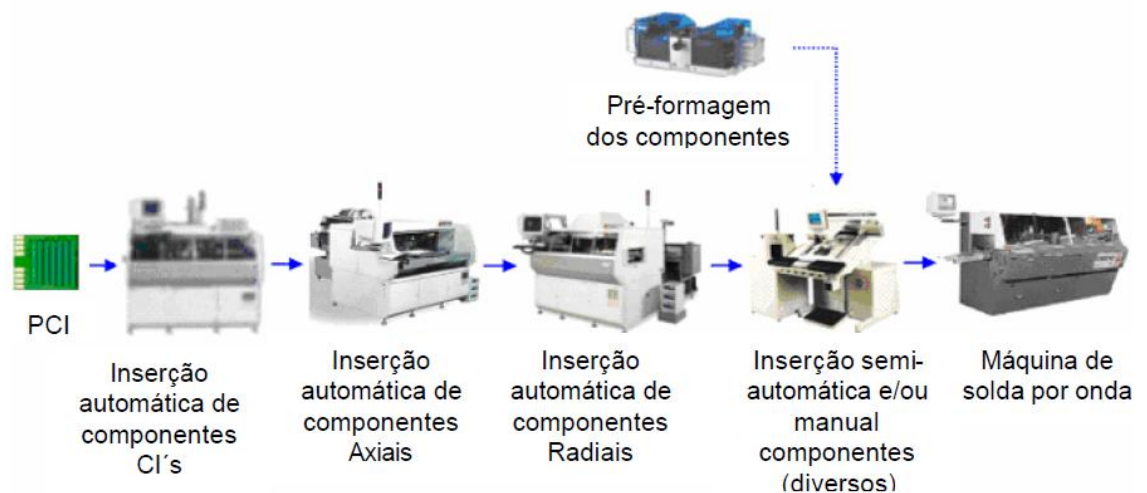
Fonte: Labelectron, Montagem manual com eficiência, qualidade e ergonomia

Depois da inserção dos terminais na placa de circuito impresso (PCI), eles são soldados um por vez com ferro de solda e estanho e, desse modo, unidos às trilhas de cobre já previamente prontas na placa. Para um circuito integrado, a montagem exige muito menos etapas, porém o processo é muito mais demorado. O corte e as dobras não são necessários e a soldagem é feita como no resistor, só alterando que pode haver muito mais terminais para serem soldados. A etapa de soldagem nesse tipo de montagem dificilmente é feita manualmente, pois além de a máquina fazer o processo mais rapidamente também o faz com muito menos falhas. (10)

2.2 - Processo de montagem automatizado de PTH na PCI

Nesse tipo de montagem em algumas etapas a máquina não tem tanta precisão, então muitas empresas preferem que essas sejam feitas manualmente. Porém, considerando um processo totalmente automatizado, a linha de montagem é ilustrada pelo esquema abaixo:

Figura 5 - Linha de montagem de componentes PTH



Fonte: Doro, 2004, p. 26

As 4 primeiras máquinas são as inseroras cada uma de um tipo de componente. No caso das 3 primeiras elas pegam os componentes que vêm por fitas que alimentam a máquina, molda-os e depois os insere. Todas necessitam que as placas tenham furos guias para que a máquina saiba localizar as posições de cada componente.

A primeira máquina tem apenas que pegar os circuitos integrados e coloca-los em suas posições. A segunda como insere componentes axiais, os quais possuem seus terminais em sua lateral como os resistores, além da inserção, antes deve-se dobrar e cortar os terminais dos componentes. Já a terceira que insere os componentes radiais, que possuem seus terminais em sua parte de baixo, antes da inserção apenas o corte é feito. A semi-insersora apenas orienta a montagem feita manualmente já que os componentes são maiores e impossibilitam o uso de

máquinas, assim os componentes são pré-formados e depois inseridos de forma manualmente.

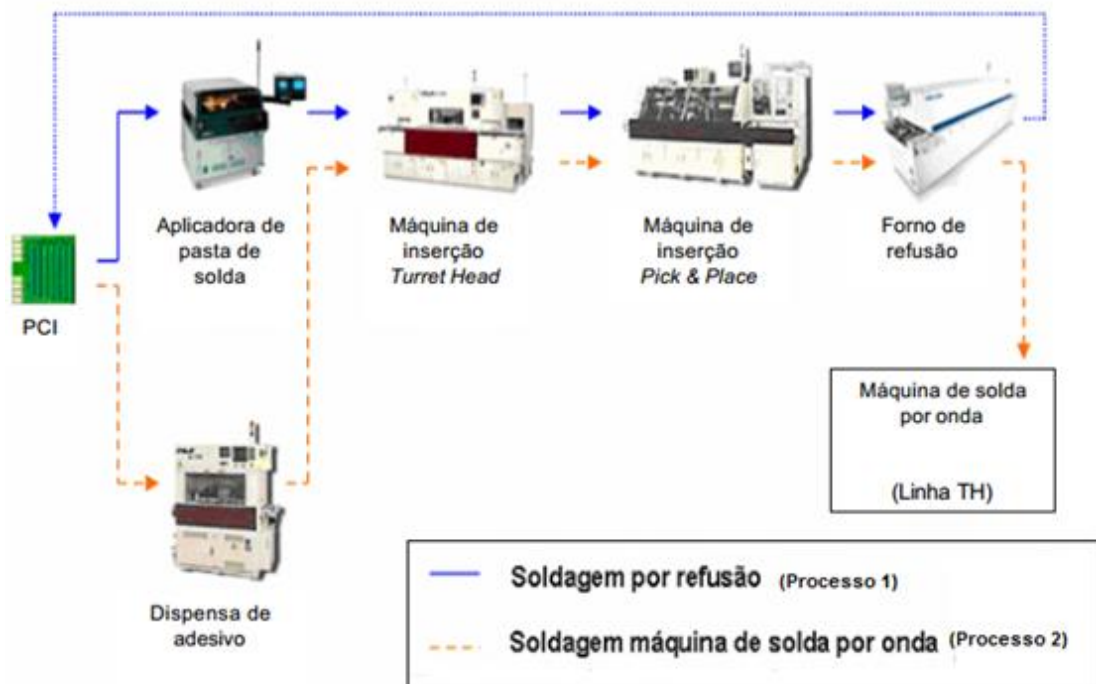
Na última parte do processo, após todos os componentes já inseridos, eles passam pela máquina de solda por onda onde é banhada por um fluxo normalmente composto de álcool isopropílico e resina para remover o óxido das superfícies dos terminais que serão soldados, assim não haverá re-oxidação. A seguir, há um pré-aquecimento para evitar o choque térmico da placa e assim passa pela liga de solda fundida que irá aderir aos terminais e solidificar mantendo o componente fixo.

Esse tipo de soldagem também é usado para placas em que são montados componentes nas duas faces, sendo SMD em um lado e PTH no outro, pois além de fixar os PTH essa técnica também fixa os SMD. (5) (8)

2.3 - Processo de montagem de SMD na PCI

A montagem de SMD na placa eletrônica é feita em grande escala e centenas de componentes são soldados ao mesmo tempo, o esquema abaixo ilustra como é feito o funcionamento de uma linha de montagem SMT:

Figura 6 - Linha de montagem de componentes SMD



Analisando a imagem podemos observar dois processos distintos para a fixação dos componentes na placa, o processo 1 inicia com uma placa de circuito impresso que é colocada na linha de montagem. Primeiramente a placa passa pela Máquina aplicadora de pasta de solda que aplicará um fluxo de solda sobre as ilhas onde os componentes deverão ser inseridos. Esse fluxo ou pasta de solda, como também é conhecido, é constituído por um pó metálico e uma mistura de diversos outros materiais como resinas e solventes. Para ser aplicada nos locais certos o equipamento conta com um stencil, que nada mais é que uma placa metálica fabricada para que as aberturas coincidam com as ilhas em que a pasta deve ser depositada.

Após aplicado o fluxo de solda os componente são inseridos. Na Máquina de inserção Turret Head, componentes muitos pequenos como chips e transistores são inseridos, já na Máquina de inserção Pick and Place que possui maior precisão, componentes maiores como circuitos integrados são colocados. A velocidade dessa máquina é muito alta, podendo inserir até 22 mil componentes por hora, assim essa etapa é muito rápida e precisa.

Para finalizar o processo o Forno de refusão faz a refusão da pasta de solda para a formação de uma junta solda que irá prender os componentes a placa. Para que a junta seja formada o forno possui zonas com diferentes temperaturas, no início essas temperaturas aumentam gradativamente até formar a junta e ao final do processo decaem para garantir a preservação das características dos componentes.

O processo 2 difere-se do primeiro pois a fixação dos componentes é feita a partir de adesivos que são colocados pela dispensa de adesivos nos lugares onde os componentes irão ficar. As inserções são feitas da mesma maneira do processo 1, já o Forno de refusão em vez de fazer a junta de solda, tem como objetivo fazer a cura dos adesivos assim suas temperaturas serão diferentes das usadas no processo 1. Para finalizar a placa passa pela Máquina de solda por onda, a mesma usada no processo de soldagem dos componentes PTH descrito acima.

O processo 2 é usado apenas para montagens nas duas faces da lâmina, sendo a face de cima composta por componentes PTH e a de baixo por componentes SMD, já o processo 1 é usado apenas para componentes SMD pois suas etapas não fixariam os componentes PTH na lâmina. (5) (8)

3- MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE DOS TEMPOS DE INSERÇÃO PARA CRIAÇÃO DO PARÂMETRO

3.1 – Método para obtenção dos tempos

Primeiramente, para a escolha da empresa a se visitar, foi feito um estudo do mercado de montagem de placas eletrônicas e encontrou-se cerca de 8 empresas no estado de São Paulo. Dentre essas 8 foram observados os métodos e os tipos de montagem, a partir disso, foi escolhida a empresa Reag-Spray que possuía maior compatibilidade com o trabalho desenvolvido.

A Reag-Spray possui mais de 25 anos de mercado na montagem de circuitos eletrônicos, painéis eletrônicos e cabos, além de realizar projetos específicos de acordo com o pedido do cliente. Está localizada no Jardim Guançã, bairro Vila Medeiros, zona norte de São Paulo.

No mês de Agosto foi realizado um contato ao engenheiro da empresa e no mesmo mês foi agendada uma visita com supervisão do encarregado das montagens. Durante a visita acompanhou-se o processo de montagem de uma Placa de painel de incubadora (Placa mestre 1186A) toda montada utilizando componentes convencionais:

Figura 7 – Placa mestre 1186A



Tabela 1 - Lista de componentes da placa e suas respectivas quantidades

Componentes	Quantidades	Componentes	Quantidades
Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	1	Relé 12V/30A	1
Capacitor de poliéster 1uF/630V	1	Resistor 9 terminais	2
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/50V	3	Resistor Carbono	52
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/25V	9	Resistor de Fio	2
Capacitores Multicamadas	19	Resistor Metálico	30
CI 3 terminais	1	Soquete 16 pinos	1
Conector 10 vias	1	Soquete 6 pinos	1
Conector de 15 vias	1	Soquete de 14 pinos	1
Cristal Oscilador	1	Soquete de 20 pinos	4
Diodo Convencional	12	Soquete de 28 pinos	1
Diodo Zener	1	Soquete de 40 pinos	1
Dissipador de 5 pinos	1	Soquete de 8 pinos	2
Ponte Retificadora	1	Transformador de pulso	1
Porta Poste	10	Transistor 2n	24
		Trimpot Retangular	5

Foram medidos, com o auxílio de um cronômetro de precisão de $\pm 0,001$ segundos, entre 10 e 16 tempos de inserção de cada componente da placa, de acordo com a frequência deles na montagem. O esquema de montagem é igual ao da Figura 3, com os porta contentores distribuídos em forma circular, o suporte onde coloca-se a placa possui uma inclinação entre 0° à 30° para maior conforto do operador. A inserção foi feita por um montador com mais de 5 anos de prática e que já havia montado aquele modelo de placa outras vezes. Os resultados obtidos, junto as suas médias, variâncias e desvios padrão estão representados a seguir (todos em segundos):

Tabela 2- Tempos de inserção coletados para cada componente

Componentes	Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	Capacitor de poliéster 1uF/630V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/50V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/25V	Capacitores Multicamadas
Tempos Coletados (em segundos)	3,256s	3,845s	2,980s	2,289s	2,345s
	3,088s	5,028s	4,403s	3,431s	4,563s
	2,746s	3,738s	3,491s	4,263s	2,873s
	1,778s	4,146s	3,013s	2,747s	3,363s
	1,975s	5,136s	2,767s	3,177s	2,548s
	4,066s	6,306s	3,049s	4,331s	3,889s
	4,354s	3,822s	3,257s	2,572s	2,604s
	3,179s	8,385s	3,435s	4,335s	2,951s
	2,977s	3,728s	3,221s	3,615s	4,085s
	2,744s	4,286s	3,635s	3,850s	3,372s
				3,097s	2,281s
				2,758s	4,518s
				2,952s	2,379s
				3,386s	3,174s
				3,265s	4,001s
				3,589s	3,623s
Média	3,016s	4,842s	3,325s	3,354s	3,286s
Variância	0,639s ²	2,234s ²	0,213s ²	0,390s ²	0,587s ²
Desvio Padrão	0,799s	1,495s	0,462s	0,625s	0,766s

Componentes	CI 3 terminais	Conector de 10 vias	Conector de 15 vias	Cristal Oscilador	Diodo Convencional
Tempos Coletados (em segundos)	4,046s	2,964s	4,282s	2,370s	3,094s
	4,305s	3,123s	2,619s	2,564s	2,848s
	2,674s	2,129s	2,941s	2,863s	3,741s
	4,484s	3,551s	3,186s	1,891s	3,077s
	3,573s	2,802s	3,532s	3,436s	3,452s
	2,926s	4,076s	2,814s	3,967s	2,856s
	2,912s	4,011s	3,529s	2,571s	4,392s
	3,169s	4,125s	3,027s	3,791s	3,126s
	3,590s	3,148s	2,357s	3,054s	4,597s
	3,204s	2,555s	3,490s	2,756s	3,922s
					2,987s
					2,857s
					3,195s
					2,631s
					2,911s
					2,942s
Média	3,488s	3,248s	3,178s	2,926s	3,289s
Variância	0,387s ²	0,463s ²	0,307s ²	0,420s ²	0,336s ²
Desvio Padrão	0,622s	0,680s	0,554s	0,648s	0,579s

Componentes	Diodo Zener	Dissipador de 5 pinos	Ponte de resistores 9 terminais	Ponte Retificadora	Porta Poste
Tempos Coletados (em segundos)	2,574s	14,108s	2,179s	4,361s	3,052s
	6,972s	7,296s	3,560s	4,989s	3,298s
	3,954s	13,078s	2,862s	3,923s	2,093s
	5,504s	9,470s	2,251s	4,349s	1,300s
	9,413s	9,890s	2,987s	6,374s	1,984s
	2,362s	8,945s	7,114s	6,486s	1,565s
	10,697s	11,597s	2,619s	3,484s	2,336s
	5,631s	9,617s	3,009s	3,821s	2,691s
	10,827s	8,962s	4,629s	6,250s	4,100s
	9,909s	10,507s	2,384s	2,946s	2,500s
					2,762s
					3,006s
					2,353s
					3,832s
					4,260s
					2,870s
Média	6,784s	10,347s	3,359s	4,698s	2,750s
Variância	10,736s ²	4,211s ²	2,264s ²	1,628s ²	0,711s ²
Desvio Padrão	3,277s	2,052s	1,505s	1,276s	0,843s

Componentes	Relé 12V/30A	Resistor de Carbono	Resistor de Fio	Resistor Metálico	Soquete de 6 pinos
Tempos Coletados (em segundos)	7,304s	2,861s	3,357s	3,025s	3,018s
	6,014s	3,252s	3,638s	3,733s	3,720s
	4,382s	2,932s	2,531s	3,495s	2,569s
	6,492s	3,563s	6,532s	3,812s	5,139s
	5,085s	3,656s	2,266s	2,722s	2,404s
	6,576s	3,010s	5,408s	2,957s	3,265s
	6,549s	3,040s	2,439s	3,737s	2,906s
	7,593s	4,295s	3,320s	2,768s	2,574s
	7,219s	3,692s	5,694s	3,330s	5,990s
	5,968s	3,407s	4,015s	3,787s	3,474s
		3,153s		3,100s	
		2,888s		3,451s	
		3,125s		7,074s	
		2,158s		4,211s	
		5,457s		4,267s	
		3,867s		2,974s	
Média	6,318s	3,397s	3,920s	3,653s	3,506s
Variância	1,005s ²	0,545s ²	2,201s ²	1,061s ²	1,389s ²
Desvio Padrão	1,002s	0,739s	1,484s	1,030s	1,179s

Componentes	Soquete de 8 pinos	Soquete de 14 pinos	Soquete 16 pinos	Soquete de 20 pinos	Soquete de 28 pinos
Tempos Coletados (em segundos)	2,801s	2,556s	3,677s	5,099s	3,493s
	1,831s	2,442s	2,899s	4,895s	2,058s
	1,842s	2,443s	2,403s	2,429s	2,327s
	2,440s	3,388s	1,994s	3,711s	2,566s
	3,677s	3,521s	2,691s	4,110s	3,513s
	3,169s	3,664s	1,937s	4,006s	3,026s
	2,377s	2,160s	2,583s	3,807s	2,627s
	5,002s	3,565s	7,283s	2,588s	3,876s
	4,667s	2,972s	3,488s	5,964s	4,239s
	3,208s	2,736s	2,374s	3,347s	1,961s
				3,827s	
				6,257s	
				3,526s	
				3,107s	
				3,275s	
				3,782s	
Média	3,101s	2,945s	3,133s	3,983s	2,969s
Variância	1,185s ²	0,305s ²	2,448s ²	1,173s ²	0,616s ²
Desvio Padrão	1,088s	0,552s	1,565s	1,083s	0,785s

Componentes	Soquete de 40 pinos	Transformador de pulso de 4 terminais	Transistor 2n	Trimpot Retangular
Tempos Coletados (em segundos)	5,120s	9,438s	3,379s	1,965s
	3,079s	7,605s	6,614s	1,905s
	4,527s	6,629s	4,167s	4,871s
	3,613s	14,582s	6,046s	4,946s
	4,021s	15,986s	3,905s	2,125s
	4,434s	8,281s	3,419s	2,947s
	3,128s	6,171s	4,118s	2,994s
	3,636s	12,224s	3,961s	3,778s
	4,485s	13,961s	4,867s	2,496s
	5,187s	9,986s	5,504s	2,114s
			4,096s	5,268s
			5,581s	2,932s
			3,585s	5,064s
			4,336s	2,515s
			9,159s	3,563s
			4,299s	3,672s
Média	4,123s	10,486s	4,815s	3,322s
Variância	0,567s ²	12,237s ²	2,246s ²	1,381s ²
Desvio Padrão	0,753s	3,498s	1,499s	1,175s

3.2 – Análise estatística e probabilística para refinamento do parâmetro

O refinamento do parâmetro foi feito usando a estatística da distribuição normal padrão e a probabilidade discutida no método PERT.

A distribuição gaussiana permite que se defina um teorema central do limite, assim garante que mesmo que os dados não sejam distribuídos segundo uma normal, a média dos dados converge para uma distribuição normal conforme o número de dados aumenta. Dessa forma, adotando-se um certo intervalo de confiança é possível eliminar valores de medida muito extremos a partir de testes bilaterais ou unilaterais.

Para o cálculo do intervalo de confiança, para uma média μ , quando o desvio padrão σ é conhecido, usa-se as expressões abaixo, onde “n” representa o tamanho da população e “z” representa a distribuição normal padrão e é encontrado na Tabela de distribuição normal (Anexo 1). O z usado para os testes bilaterais e unilaterais são diferentes. (6)

- Teste Bilateral

$$X_{\text{médio}} - z(\sigma\sqrt{n}) < \mu < X_{\text{médio}} + z(\sigma\sqrt{n}) \quad (1)$$

- Teste unilateral à esquerda

$$\mu > X_{\text{médio}} - z(\sigma\sqrt{n}) \quad (2)$$

- Teste unilateral à direita

$$\mu < X_{\text{médio}} + z(\sigma\sqrt{n}) \quad (3)$$

Para melhorar ainda mais o refinamento do parâmetro utilizamos a técnica probabilística PERT (Program, Evaluation and Review Technique). A técnica PERT foi criada na NASA (National Aeronautics and Space Administration), em torno do ano de 1950 no programa Polaris. É uma técnica probabilística que faz uso de três tempos para o cálculo do prazo mais provável para se concluir um projeto.

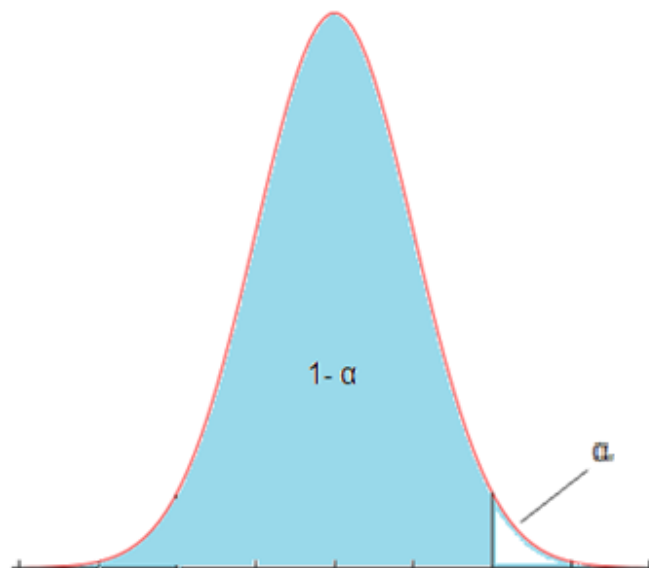
- Tempo Otimista: o menor tempo possível no qual a atividade pode ser executada. É o tempo necessário para completar o trabalho, caso tudo corra melhor do que se espera.

- Tempo Mais Provável: estimativa de tempo mais exata possível. É a estimativa que seria usada se tudo correr satisfatoriamente.

- Tempo Pessimista: o máximo de tempo necessário à execução da atividade. É a estimativa de tempo que considera todos os fatores adversos, excluindo-se, porém, uma catástrofe. (3) (4)

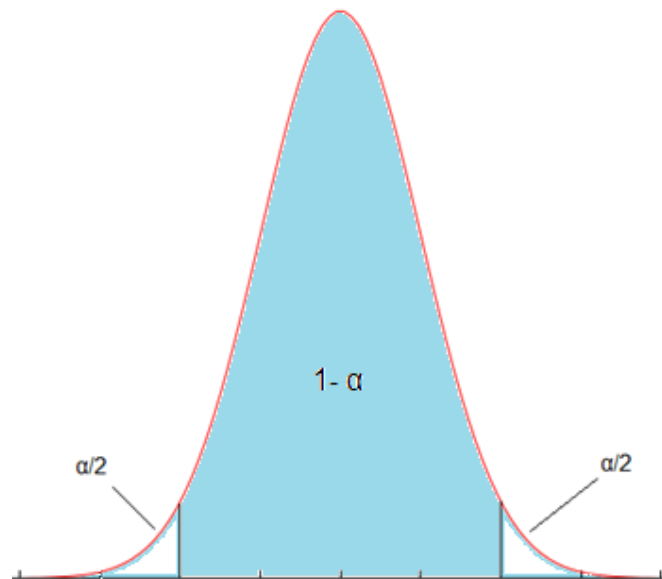
Para o cálculo de cada tempo um teste de confiança foi feito, caso o tempo estivesse fora do intervalo esse seria desconsiderado. Para o tempo otimista considerou-se o teste unilateral à direita, assim eliminando os valores muito altos do processo:

Figura 8 – Distribuição normal padrão – Teste unilateral à direita



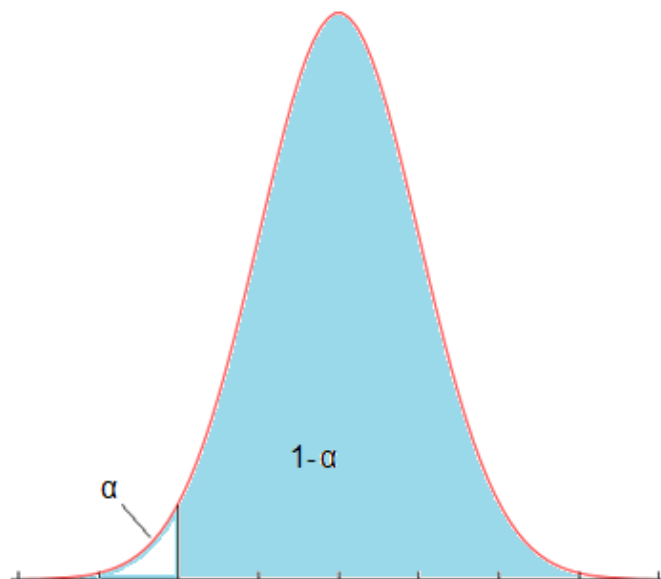
Para o tempo mais provável considerou-se o teste bilateral, assim eliminando os valores extremos em ambos os lados do processo:

Figura 9 – Distribuição normal padrão – Teste unilateral à esquerda



Para o tempo pessimista considerou-se o teste unilateral à esquerda, assim eliminando os valores muito baixos e considerando os muito altos:

Figura 10 – Distribuição normal padrão – Teste bilateral



Depois de aplicados os testes e descobertos os intervalos de confiança, considerou-se que (considerando as amostras de tempo coletados como "X"):

- Se $X \in (1-\alpha)$ então está dentro do intervalo e considera – se o ponto
- Se " $X \in \alpha$ " então está fora do intervalo, assim desconsidera – se o ponto

Assim com os pontos dentro dos intervalos foram obtidas 3 médias diferentes para cada componente e a partir delas foi possível calcular o prazo mais provável da montagem de uma placa. Primeiro calcula-se a estimativa de tempo para cada componente pela equação:

$$e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (4)$$

Onde: e = estimativa de tempo (s)

a = tempo otimista (s)

m = tempo mais provável (s)

b = tempo pessimista (s)

Depois a variância é calculada também para cada um dos componentes:

$$s^2 = ((b - a)/6)^2 \quad (5)$$

Onde: s^2 = variância do tempo (s)

a = tempo otimista (s)

b = tempo pessimista (s)

E finalmente é possível calcular o prazo mais provável da montagem da placa:

$$Tempo\ total = \Sigma e + \sqrt{\Sigma s^2} \quad (6)$$

Onde: s^2 = variância do tempo (s)

e = estimativa de tempo(s) (3) (4)

3.3 – Testes e definição do nível de confiança

O maior problema da eliminação dos valores extremos para refinamento dos tempos é que, se caso a variância do processo seja muito alta, ao definir o intervalo de confiança, muitas amostras acabam sendo eliminadas, desse modo, algum

evento importante do processo pode acabar sendo ignorado. Assim foram testados 3 intervalos de confiança diferentes, 95%, 99% e 99,9%, para obter-se o mais apropriado para o refinamento. Os critérios para a escolha do intervalo foram:

-Para o tempo Mais Provável valores muito extremos deveriam ser eliminados para priorizar as medidas centrais do processo, como mostra a equação 4.

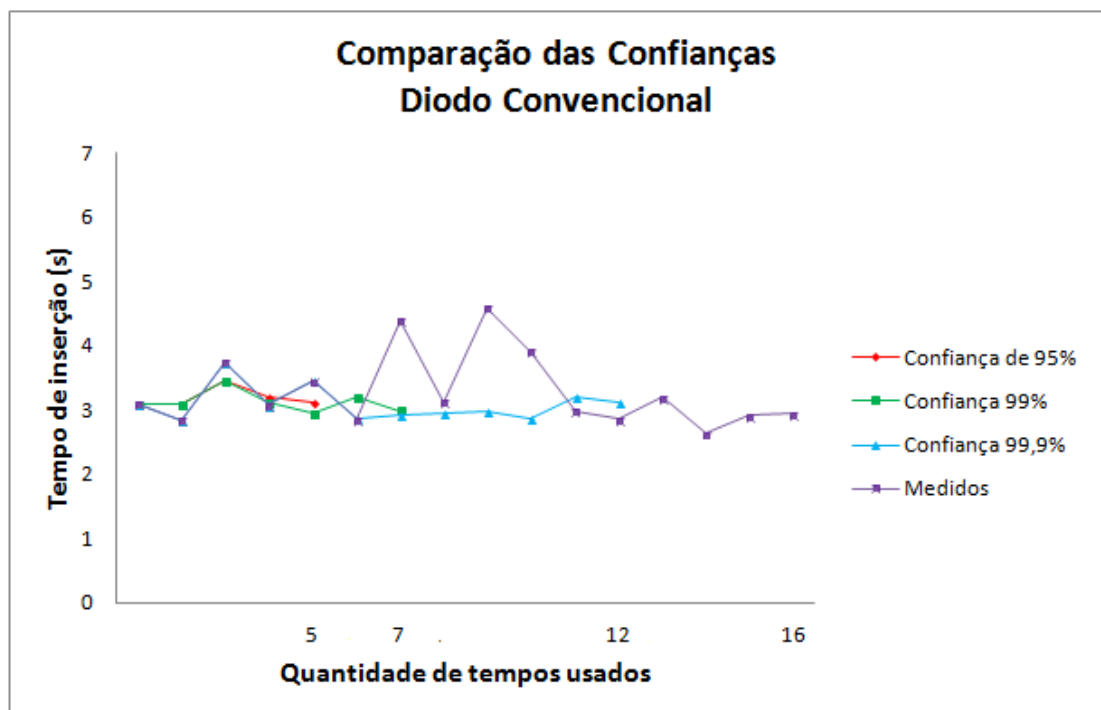
- Pelo menos 50% dos valores precisavam estar dentro do intervalo de confiança, para que não fossem eliminados eventos significativos do processo.

- Caso mais de um índice fosse adequado o mais alto seria escolhido pois possui maior confiança, assim o parâmetro será mais preciso.

Os testes para os 3 índices de confianças foram realizados e o refinamento foi feito, após isso um gráfico de “Tempo de inserção x Quantidade de tempos usados” foi simulado para cada um dos componentes, assim foi possível chegar ao melhor índice observando os critérios estabelecidos.

O gráfico abaixo apresenta as medidas obtidas para o diodo convencional no tempo “Mais Provável” após o refinamento para os três índices de confiança:

Figura 11 – Comparação dos níveis de confiança para o diodo convencional



As variâncias para os 3 testes foram muito baixas mostrando que para todos os tempos extremos foram eliminados, porém, para os níveis de confiança de 95% e 99%, mais da metade dos pontos foram eliminados assim podendo haver perda de algum evento significativo ou de alguma característica do tempo de inserção do componente, isso se repetiu para diversos outros componentes nesses dois níveis de confiança. Assim a confiança de 99,9% foi escolhida, pois além de mais precisa os pontos eliminados passaram de 50% apenas no Capacitor Multicamadas, onde foram cortados 56,25% das amostras, porém por não ser um componente com uma variância muito alta, foi considerado razoável seu refinamento.

Mesmo após a decisão de usar o nível de 99,9% foi feito um teste para o nível de 99,95%, porém além de mais amostras acabarem não sendo refinadas devido ao grande intervalo de confiança, o resultado final acabou sendo muito parecido ao do nível de 99,90%.

4 – DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS AO NÍVEL DE CONFIANÇA DE 99,9%

Com o nível de confiança definido foram calculados a partir das equações 1, 2 e 3 os intervalos de confiança dos tempos “Mais Provável”, “Pessimista” e “Otimista”, respectivamente, para cada componente. As amostras de tempo que estavam fora dos intervalos foram eliminadas e uma nova média, variância e desvio padrão foram calculados para os três tempos com as amostras que ficaram no intervalo, os resultados obtidos estão nas tabelas abaixo:

Tabela 3- Tempos “Mais Prováveis” de inserção para cada componente

Componentes	Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	Capacitor de poliéster 1uF/630V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/50V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/25V	Capacitores Multicamadas
Tempos dentro do intervalo (segundos)	3,256s	3,845s	2,980s	3,431s	3,889s
	3,088s	5,028s	3,049s	3,615s	4,563s
	2,746s	3,738s	3,491s	3,850s	2,873s
	3,179s	4,146s	3,013s	3,097s	3,363s
	2,977s	5,136s	3,257s	3,177s	3,372s
	2,744s	6,306s	3,435s	2,572s	3,174s
		3,822s	3,221s	2,952s	3,623s
		3,728s	3,635s	3,386s	2,951s
		4,286s		3,265s	
				3,589s	
Média	2,998s	4,448s	3,260s	3,374s	3,321s
Variância	0,047s ²	0,770s ²	0,059s ²	0,080s ²	0,130s ²
Desvio Padrão	0,217s	0,877s	0,242s	0,283s	0,360s

Componentes	CI 3 terminais	Conector de 10 vias	Conector de 15 vias	Cristal Oscilador	Diodo Convencional
Tempos dentro do intervalo (segundos)	4,046s	2,964s	2,619s	2,370s	3,094s
	3,573s	3,123s	2,941s	2,564s	2,848s
	2,926s	3,551s	3,186s	2,863s	3,741s
	2,912s	2,802s	3,532s	2,571s	3,077s
	3,169s	3,148s	2,814s	3,436s	3,452s
	3,590s	2,555s	3,529s	3,054s	2,856s
	3,204s		3,027s	2,756s	3,126s
			3,490s		2,911s
					2,942s
					2,987s
					2,857s
					3,195s
Média	3,346s	3,024s	3,142s	2,802s	3,091s
Variância	0,170s ²	0,115s ²	0,123s ²	0,128s ²	0,073s ²
Desvio Padrão	0,412s	0,339s	0,350s	0,358s	0,270s

Componentes	Diodo Zener	Dissipador de 5 pinos	Ponte de resistores 9 terminais	Ponte Retificadora	Porta Poste
Tempos dentro do intervalo (segundos)	5,631s	9,470s	2,179s	4,361s	3,052s
	6,972s	9,890s	3,560s	4,989s	3,298s
	3,954s	8,945s	2,862s	3,923s	2,093s
	5,504s	11,597s	2,251s	4,349s	2,336s
	9,413s	9,617s	2,987s	3,484s	2,691s
	9,909s	8,962s	2,619s	3,821s	2,870s
		10,507s	3,009s		2,500s
			4,629s		2,762s
			2,384s		3,006s
					2,353s
Média	6,897s	9,855s	2,942s	4,155s	2,696s
Variância	5,522s ²	0,882s ²	0,590s ²	0,278s ²	0,141s ²
Desvio Padrão	2,350s	0,939s	0,768s	0,527s	0,376s

Componentes	Relé 12V/30A	Resistor de Carbono	Resistor de Fio	Resistor Metálico	Soquete de 6 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos)	7,304s	2,861s	3,357s	3,025s	3,018s
	6,014s	3,252s	3,638s	3,733s	3,720s
	6,492s	2,932s	2,531s	3,495s	2,569s
	7,219s	3,563s	4,015s	3,812s	3,474s
	5,968s	3,656s	5,408s	2,957s	2,404s
	6,576s	3,010s	2,439s	3,737s	3,265s
	6,549s	3,040s	3,320s	3,330s	2,906s
		3,867s		3,787s	2,574s
		3,692s		3,100s	
		3,407s		3,451s	
		3,153s		4,211s	
		2,888s		4,267s	
		3,125s		2,974s	
Média	6,589s	3,265s	3,530s	3,529s	2,991s
Variância	0,273s ²	0,114s ²	1,006s ²	0,197s ²	0,221s ²
Desvio Padrão	0,522s	0,338s	1,003s	0,444s	0,470s

Componentes	Soquete de 8 pinos	Soquete de 14 pinos	Soquete 16 pinos	Soquete de 20 pinos	Soquete de 28 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos))	2,801s	2,556s	3,677s	3,347s	3,493s
	2,440s	2,442s	2,899s	3,827s	2,327s
	3,677s	2,443s	2,403s	3,711s	2,566s
	3,169s	3,388s	1,994s	4,110s	3,513s
	2,377s	2,972s	2,691s	4,006s	3,026s
	3,208s	2,736s	1,937s	3,807s	2,627s
			2,583s	3,526s	
			3,488s	3,107s	
			2,374s	3,275s	
				3,782s	
Média	2,945s	2,756s	2,672s	3,650s	2,925s
Variância	0,251s ²	0,078s ²	0,362s ²	0,106s ²	0,251s ²
Desvio Padrão	0,501s	0,279s	0,602s	0,326s	0,501s

Componentes	Soquete de 40 pinos	Transformador de pulso de 4 terminais	Transistor 2n	Trimpot Retangular
Tempos dentro do intervalo (segundos)	3,636s	9,438s	4,299s	2,515s
	4,485s	7,605s	4,167s	3,563s
	4,527s	12,224s	6,046s	3,672s
	3,613s	13,961s	3,905s	2,932s
	4,021s	9,986s	4,118s	2,947s
	4,434s	8,281s	3,961s	2,994s
			4,867s	3,778s
			5,504s	2,496s
			4,096s	
			5,581s	
			3,585s	
			4,336s	
Média	4,119s	10,249s	4,539s	3,112s
Variância	0,180s ²	5,854s ²	0,605s ²	0,253s ²
Desvio Padrão	0,424s	2,420s	0,778s	0,503s

Tabela 4- Tempos “Pessimistas” de inserção para cada componente

Componentes	Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	Capacitor de poliéster 1uF/630V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/50V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/25V	Capacitores Multicamadas
Tempos dentro do intervalo (segundos)	3,256s	3,845s	2,980s	3,589s	3,889s
	3,088s	5,028s	4,403s	3,431s	4,563s
	2,746s	3,738s	3,491s	4,263s	2,873s
	4,066s	4,146s	3,013s	3,177s	3,363s
	4,354s	5,136s	3,049s	4,331s	3,174s
	3,179s	6,306s	3,257s	4,335s	4,001s
	2,977s	3,822s	3,435s	3,615s	3,623s
	2,744s	8,385s	3,221s	3,850s	2,951s
		3,728s	3,635s	3,097s	4,085s
		4,286s		2,952s	3,372s
				3,386s	4,518s
				3,265s	
Média	3,301s	4,842s	3,387s	3,608s	3,674s
Variância	0,354s ²	2,234s ²	0,196s ²	0,238s ²	0,343s ²
Desvio Padrão	0,595s	1,495s	0,443s	0,488s	0,586s

Componentes	CI 3 terminais	Conector de 10 vias	Conector de 15 vias	Cristal Oscilador	Diodo Convencional
Tempos dentro do intervalo (segundos)	4,046s	2,964s	4,282s	2,370s	3,094s
	4,305s	3,123s	3,490s	2,564s	2,848s
	4,484s	3,551s	2,941s	2,863s	3,741s
	3,573s	2,802s	3,186s	3,436s	3,077s
	2,926s	4,076s	3,532s	3,967s	3,452s
	2,912s	4,011s	2,814s	2,571s	2,856s
	3,169s	4,125s	3,529s	3,791s	4,392s
	3,590s	3,148s	3,027s	3,054s	3,126s
	3,204s			2,756s	4,597s
					3,922s
					2,987s
					2,857s
					3,195s
					2,911s
					2,942s
Média	3,579s	3,248s	3,350s	3,041s	3,339s
Variância	0,343s ²	0,463s ²	0,220s ²	0,323s ²	0,327s ²
Desvio Padrão	0,586s	0,680s	0,469s	0,569s	0,571s

Componentes	Diodo Zener	Dissipador de 5 pinos	Ponte de resistores 9 terminais	Ponte Retificadora	Porta Poste
Tempos dentro do intervalo (segundos)	6,972s	14,108s	2,179s	4,361s	3,052s
	5,504s	13,078s	3,560s	4,989s	3,298s
	9,413s	9,470s	2,862s	3,923s	2,336s
	10,697s	9,890s	2,251s	4,349s	2,691s
	5,631s	8,945s	2,987s	6,374s	4,100s
	10,827s	11,597s	7,114s	6,486s	2,500s
	9,909s	9,617s	2,619s	3,484s	2,762s
		8,962s	3,009s	3,821s	3,006s
		10,507s	4,629s	6,250s	2,353s
			2,384s		3,832s
					4,260s
					2,870s
Média	8,422s	10,686s	3,359s	4,893s	2,750s
Variância	5,427s ²	3,444s ²	2,264s ²	1,404s ²	0,711s ²
Desvio Padrão	2,330s	1,856s	1,505s	1,185s	0,843s

Componentes	Relé 12V/30A	Resistor de Carbono	Resistor de Fio	Resistor Metálico	Soquete de 6 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos)	7,304s	2,861s	3,357s	3,025s	3,018s
	6,014s	3,252s	3,638s	3,733s	3,720s
	6,492s	2,932s	2,531s	3,495s	2,569s
	6,576s	3,563s	6,532s	3,812s	5,139s
	6,549s	3,656s	5,408s	2,957s	2,404s
	7,593s	3,010s	3,320s	3,737s	3,265s
	7,219s	3,040s	5,694s	3,330s	2,906s
	5,968s	4,295s	4,015s	3,787s	2,574s
		3,692s		3,100s	5,990s
		3,407s		3,451s	3,474s
		3,153s		7,074s	
		2,888s		4,211s	
		3,125s		4,267s	
		5,457s		2,974s	
		3,867s			
Média	6,318s	3,480s	4,312s	3,782	3,506s
Variância	1,005s ²	0,467s ²	1,950s ²	1,079s ²	1,389s ²
Desvio Padrão	1,002s	0,684	1,396s	1,039s	1,179s

Componentes	Soquete de 8 pinos	Soquete de 14 pinos	Soquete 16 pinos	Soquete de 20 pinos	Soquete de 28 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos)	2,801s	2,556s	3,677s	5,099s	3,493s
	2,440s	2,442s	2,899s	4,895s	2,327s
	3,677s	2,443s	2,403s	3,275s	2,566s
	3,169s	3,388s	1,994s	3,711s	3,513s
	2,377s	3,521s	2,691s	4,110s	3,026s
	5,002s	3,664s	1,937s	4,006s	2,627s
	4,667s	3,565s	2,583s	3,807s	3,876s
	3,208s	2,972s	7,283s	3,782s	4,239s
		2,736s	3,488s	5,964s	
			2,374s	3,347s	
				3,827s	
				6,257s	
				3,526s	
Média	3,418s	3,032s	3,133s	4,277s	2,969s
Variância	0,952s ²	0,258s ²	2,448s ²	0,946s ²	0,616s ²
Desvio Padrão	0,976s	0,508s	1,565s	0,972s	0,785s

Componentes	Soquete de 40 pinos	Transformador de pulso de 4 terminais	Transistor 2n	Trimpot Retangular
Tempos dentro do intervalo (segundos)	5,120s	9,438s	4,336s	4,871s
	3,636s	7,605s	6,614s	4,946s
	4,527s	12,224s	4,167s	2,947s
	3,613s	14,582s	6,046s	2,994s
	4,021s	15,986s	3,905s	3,778s
	4,434s	8,281s	4,118s	2,496s
	4,485s	13,961s	3,961s	5,268s
	5,187s	9,986s	4,867s	2,932s
			5,504s	5,064s
			4,096s	2,515s
			5,581s	3,563s
			9,159s	3,672s
			4,299s	
Média	4,378s	10,486s	5,127s	3,754s
Variância	0,358s ²	12,237s ²	2,241s ²	1,068s ²
Desvio Padrão	0,598s	3,498s	1,497s	1,033s

Tabela 5- Tempos “Otimistas” de inserção para cada componente

Componentes	Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	Capacitor de poliéster 1uF/630V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/50V	Capacitor Eletrolítico 1000uF/25V	Capacitores Multicamadas
Tempos dentro do intervalo (segundos)	3,256s	3,845s	2,980s	2,289s	2,345s
	3,088s	5,028s	3,491s	3,431s	3,623s
	2,746s	3,738s	3,013s	2,572s	2,873s
	1,778s	4,146s	2,767s	2,747s	3,363s
	1,975s	5,136s	3,049s	3,177s	2,548s
	3,179s	3,822s	3,257s	3,615s	2,604s
	2,977s	3,728s	3,435s	3,097s	2,951s
	2,744s	4,286s	3,221s	2,758s	2,379s
			3,635s	2,952s	3,174s
				3,386s	3,372s
				3,265s	2,281s
				3,589s	
Média	2,718s	4,216s	3,205s	3,073s	2,865s
Variância	0,306s ²	0,325s ²	0,078s ²	0,175s ²	0,220s ²
Desvio Padrão	0,553s	0,570s	0,280s	0,418s	0,469s

Componentes	CI 3 terminais	Conector de 10 vias	Conector de 15 vias	Cristal Oscilador	Diodo Convencional
Tempos dentro do intervalo (segundos)	4,046s	2,964s	2,619s	2,370s	3,094s
	2,674s	3,123s	2,941s	2,564s	2,848s
	3,573s	2,129s	3,186s	2,863s	3,126s
	2,926s	3,551s	3,532s	1,891s	3,077s
	2,912s	2,802s	2,814s	3,436s	3,452s
	3,169s	3,148s	3,529s	2,571s	2,856s
	3,590s	2,555s	3,027s	3,054s	2,987s
	3,204s		2,357s	2,756s	2,857s
			3,490s		3,195s
					2,631s
					2,911s
					2,942s
Média	3,262s	3,475s	3,055s	2,688s	2,998s
Variância	0,202s ²	0,289s ²	0,176s ²	0,213s ²	0,044s ²
Desvio Padrão	0,449s	0,539s	0,419s	0,461s	0,210s

Componentes	Diodo Zener	Dissipador de 5 pinos	Ponte de resistores 9 terminais	Ponte Retificadora	Porta Poste
Tempos dentro do intervalo (segundos)	2,574s	7,296s	2,179s	4,361s	3,052s
	6,972s	9,470s	3,560s	4,989s	3,298s
	3,954s	9,890s	2,862s	3,923s	2,093s
	5,504s	8,945s	2,251s	4,349s	1,300s
	5,631s	11,597s	2,987s	3,484s	1,984s
	2,362s	9,617s	2,619s	3,821s	1,565s
		8,962s	3,009s	2,946s	2,336s
		10,507s	4,629s		2,691s
			2,384s		2,870s
					2,500s
					2,762s
					3,006s
					2,353s
Média	4,500s	9,536s	2,942s	3,982s	2,447s
Variância	3,395s ²	1,575s ²	0,590s ²	0,441s ²	0,350s ²
Desvio Padrão	1,843s	1,255s	0,768s	0,664s	0,591s

Componentes	Relé 12V/30A	Resistor de Carbono	Resistor de Fio	Resistor Metálico	Soquete de 6 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos)	6,014s	2,861s	3,357s	3,025s	3,018s
	4,382s	3,252s	3,638s	3,733s	3,720s
	6,492s	2,932s	2,531s	3,495s	2,569s
	5,085s	3,563s	4,015s	3,812s	3,474s
	6,576s	3,656s	2,266s	2,722s	2,404s
	6,549s	3,010s	2,439s	2,957s	3,265s
	7,219s	3,040s	3,320s	3,737s	2,906s
	5,968s	3,867s		2,768s	2,574s
		3,692s		3,330s	
		3,407s		3,787s	
		3,153s		3,100s	
		2,888s		3,451s	
		3,125s		4,211s	
		2,158s		4,267s	
				2,974s	
Média	6,036s	3,186s	3,081s	3,425s	2,991s
Variância	0,830s ²	0,193s ²	0,449s	0,245s	0,221s
Desvio Padrão	0,911s	0,439s	0,670s	0,495s	0,470s

Componentes	Soquete de 8 pinos	Soquete de 14 pinos	Soquete 16 pinos	Soquete de 20 pinos	Soquete de 28 pinos
Tempos dentro do intervalo (segundos)	2,801s	2,556s	3,677s	3,347s	3,493s
	1,831s	2,442s	2,899s	3,827s	2,327s
	1,842s	2,443s	2,403s	2,429s	2,566s
	2,440s	3,388s	1,994s	3,711s	3,513s
	3,677s	2,972s	2,691s	4,110s	3,026s
	3,169s	2,736s	1,937s	4,006s	2,627s
	2,377s	2,160s	2,583s	3,807s	3,876s
	3,208s		3,488s	2,588s	4,239s
			2,374s	3,526s	
				3,107s	
				3,275s	
				3,782s	
Média	2,668s	2,671s	2,672s	3,460s	3,208s
Variância	0,443s ²	0,165s ²	0,362s ²	0,286s ²	0,463s ²
Desvio Padrão	0,665s	0,406s	0,602s	0,534s	0,681s

Componentes	Soquete de 40 pinos	Transformador de pulso de 4 terminais	Transistor 2n	Trimpot Retangular
Tempos dentro do intervalo (segundos)	3,079s	9,438s	3,379s	1,965s
	4,527s	7,605s	4,299s	1,905s
	3,613s	6,629s	4,167s	2,125s
	4,021s	8,281s	3,905s	2,947s
	4,434s	6,171s	3,419s	2,994s
	3,128s	12,224s	4,118s	3,778s
	3,636s	9,986s	3,961s	2,496s
	4,485s		4,867s	2,114s
			5,504s	2,932s
			4,096s	2,515s
			5,581s	3,563s
			3,585s	3,672s
			4,336s	
Média	3,865s	8,619s	4,247s	2,750s
Variância	0,350s ²	4,438s ²	0,490s ²	0,449s ²
Desvio Padrão	0,591s	2,107s	0,699s	0,670s

Comparando-se as médias e as variâncias para cada tempo estudado obteve-se:

Figura 12 - Comparação das médias de cada componente para cada tempo estudado

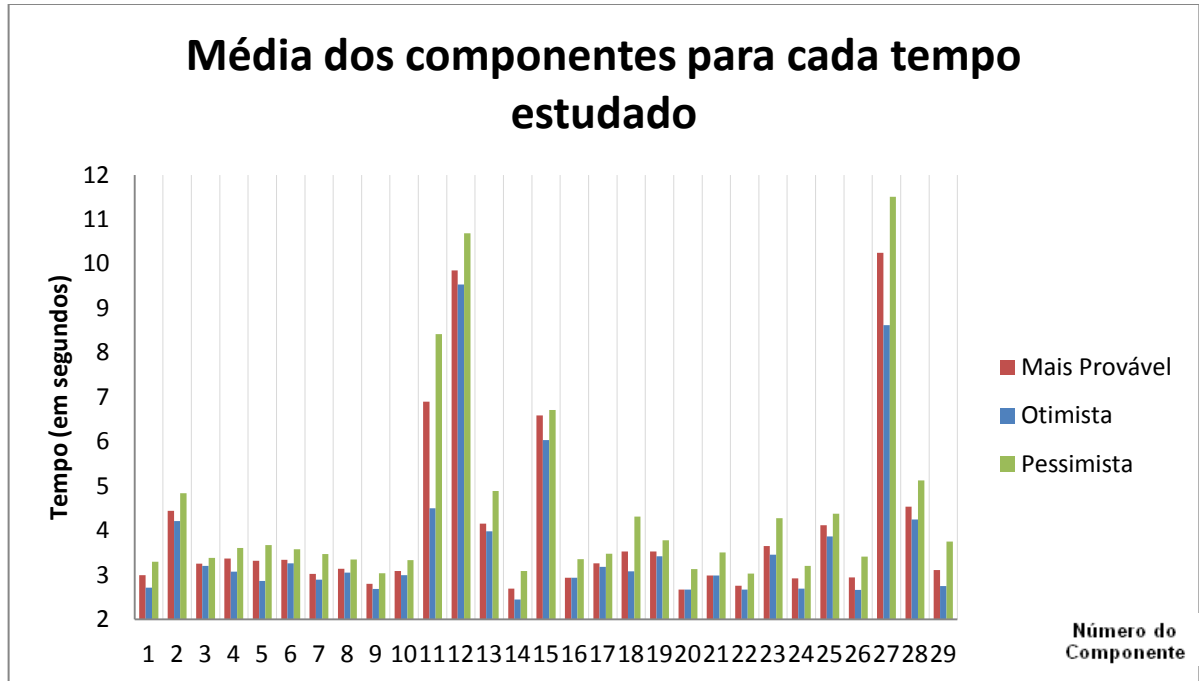
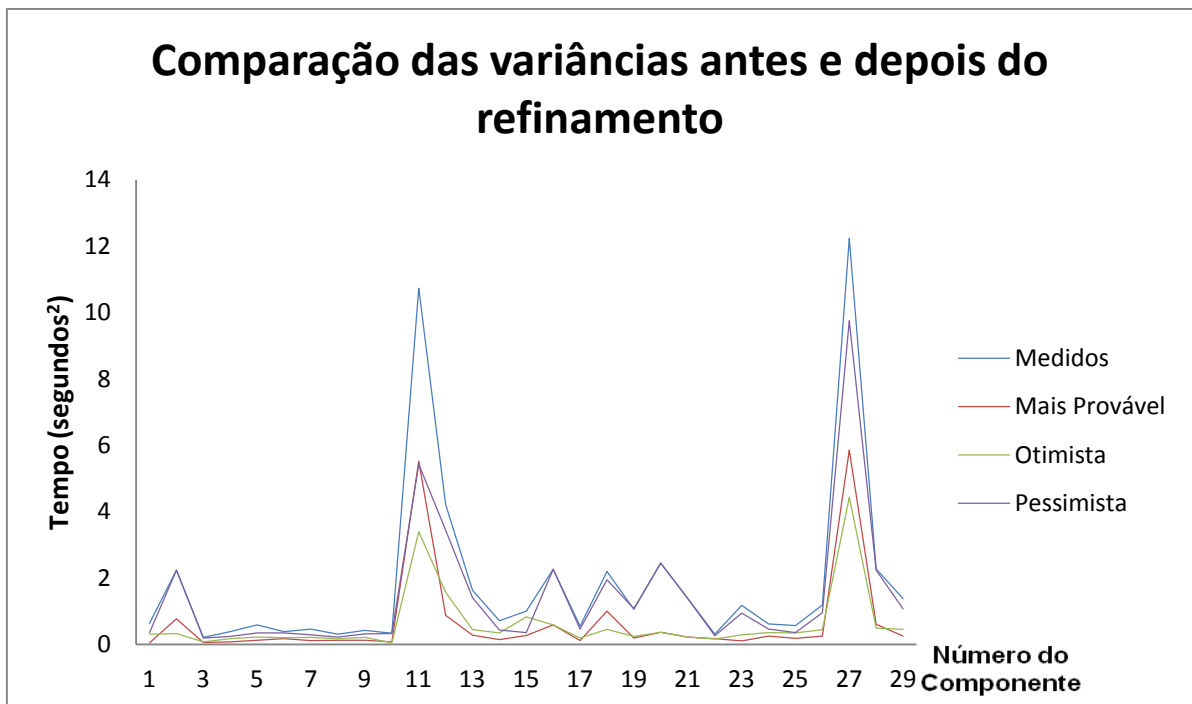


Figura 13 – Comparação das variâncias de cada componente para cada tempo estudado



Observando os tempos obtidos após o refinamento e o gráfico de comparação das variâncias observa-se que a variância diminuiu muito na grande maioria dos

casos. Algumas ainda ficaram altas devido aos tempos dos componentes, já no tempo coletado antes do refinamento variarem muito e, com o alto índice de confiança usado, poucos valores dessas amostras acabam sendo cortados.

Com as análises unilaterais e bilaterais, pelo gráfico de comparação das médias observa-se que foram obtidos valores médios de inserção menores para o tempo “Otimista”, valores mais centrais para o tempo “Mais Provável” e valores mais altos para o tempo “Pessimista” que era o objetivo do refinamento para assim obter-se mais precisão para o parâmetro. Quatro amostras do tempo “Pessimista” acabaram ficando com todos os tempos dentro do intervalo de confiança, isso porque o desvio padrão obtido na coleta antes do refinamento já era alto o suficiente para obter-se um intervalo de confiança que englobasse todos os tempos, assim o tempo coletado, nesses casos, acaba já sendo o tempo “Pessimista” do processo.

5 – IMPLEMENTAÇÃO DO PARÂMETRO PARA MONTADORAS DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

O programa para fazer as simulações foi feito a partir do Microsoft Excel, programa pertencente ao Pacote Office e disponibilizado para computadores que utilizam o sistema operacional Microsoft Windows, que funciona como um editor de planilhas, além de fazer uso de uma linguagem própria denominada Visual Basic for Applications (VBA), com a qual se faz macros para a automatização de tarefas do Excel e a criação funções pelo usuário. O objetivo principal da planilha é permitir ao usuário obter o tempo da montagem manual de uma placa a partir dos componentes da planilha auxiliar do programa e comparar os tempos de cada etapa do processo.

Apesar de o estudo ter sido feito apenas em cima do tempo de inserção, os tempos das outras etapas foram considerados para comparar aonde se perde mais tempo na montagem manual da placa para a empresa analisar a possibilidade da automatização da tarefa. Os tempos das tarefas não estudadas (corte, dobra e soldagem de terminais) são os mesmos para todos os componentes e só alteram de acordo com o número de terminais de cada um, assim os dados usados no trabalho são bastante razoáveis. Esses dados foram obtidos junto a empresa Labelectron da Fundação Certi, laboratório/fábrica de placas eletrônica, que auxilia em diversos trabalhos de conclusão de curso e pós-graduação. Foi feito um contato por email com seus representantes que passaram informações dos tempos necessários.

5.1- Estrutura da planilha – Funções e recursos disponibilizados pelo Excel 2007

Grande parte das planilha foi feita usando-se funções disponibilizadas pelo Excel, as principais utilizadas foram:

- Soma: função usada para somar todas as células selecionadas.
- Se: utilizada quando o valor de uma célula pode variar, a função é montada da seguinte forma: =SE (Número a comparar a célula; Resultado caso Verdadeiro, Resultado caso Falso).

- Seerro: utilizada para caso haja erro no resultado da função, é montada da seguinte forma: =SEERRO (função a retornar valor, valor caso o resultado seja um erro).
- Mult: função utilizada para multiplicar as células selecionadas.
- Menor: retorna o menor valor de certo intervalo, é montada da seguinte forma: =MENOR (matriz; posição, começando do menor, na matriz do valor a ser retornado)
- Procv: utilizada para procurar determinado valor em uma tabela matriz, é montada da seguinte forma: =PROCV (Valor procurado; Tabela matriz; número da coluna que o valor a ser retornado esta na tabela; Valor lógico que oferece duas opções: “Verdadeiro” para retornar a correspondência mais próxima ou “Falso” para retornar a correspondência exata) (8) (9)
- Validação de Dados: recurso usado para restringir os valores que podem ser inseridos na célula, assim impedindo que o usuário insira dados incoerentes.
- Gráfico de Pizza: recurso utilizado para exibir a contribuição de cada valor em relação a um total. São usados quando os valores podem ser somados ou quando há apenas uma série de dados e todos os valores são positivos.
- Proteger Planilha: recurso que impede alterações indesejadas nos dados de uma planilha especificando as informações que podem ser alteradas. Existe a opção de se colocar uma senha para desproteger a planilha e editar os dados. (11)

5.2– Linguagem VBA – Macros utilizadas

As macros utilizadas foram basicamente para se fazer os botões disponíveis no programa, quatro programações simples foram feitas e serão apresentadas a seguir:

- Botão “Salvar”:

```
Sub Salvar()
```

```
ActiveWorkbook.Save
```

```
End Sub
```

- Botão “Fechar”:

```
Sub Fechar()  
  
    resposta = MsgBox("Confirma fechar a planilha", vbYesNo, "Fechar  
arquivo")  
  
    If resposta = vbNo Then Exit Sub  
  
    ActiveWorkbook.Close savechanges = True  
  
End Sub
```

- Botão “Limpar”:

```
Sub Limpar()  
  
    resposta = MsgBox("Limpar dados?", vbYesNo, "Limpar dados")  
  
    If resposta = vbNo Then Exit Sub  
  
    Range("C6:D61") = Empty  
  
End Sub
```

- Botão “Salvar Como”:

```
Sub SalvarComo()  
  
    nomeArquivo = InputBox("Informe um nome para o Arquivo")  
  
    If nomeArquivo = Empty Then Exit Sub  
  
    SalvarEm = ThisWorkbook.Path & "\" & nomeArquivo & ".pdf"  
  
    ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, Filename:=SalvarEm,  
Quality:=xlQualityStandard, IncludeDocProperties:=True, IgnorePrintAreas:=False,  
OpenAfterPublish:=True  
  
End Sub (12)
```

5.3 – Análise da planilha – Estrutura e funções utilizadas em cada campo

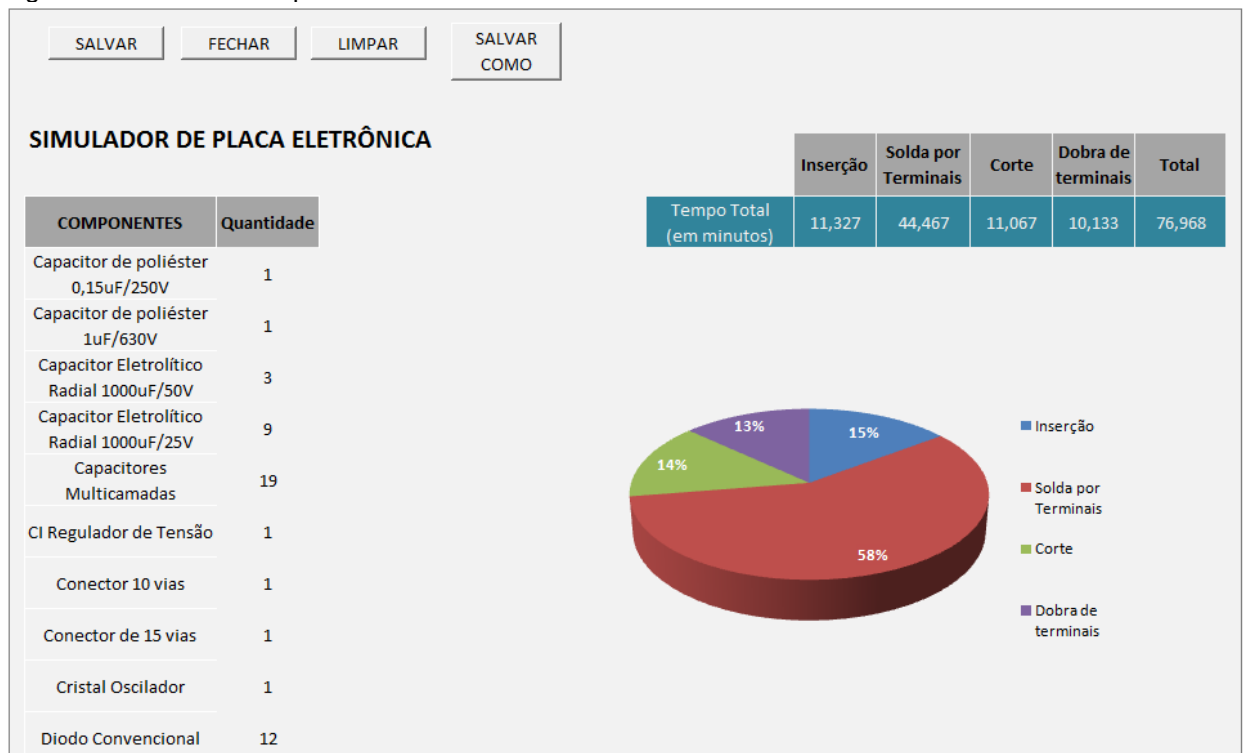
A planilha criada simula a montagem das placas eletrônicas, inteiramente manual, assim quando o usuário insere os componentes e quantidades ela retorna o tempo de cada etapa do processo e um gráfico da porcentagem de tempo que cada etapa toma na montagem, todo o cálculo é feito a partir de uma planilha auxiliar que funciona como um banco de dados para a planilha principal e contém todos os tempos e valores característicos de cada componente estudado na placa 1186A. O tempo de inserção usado é o da “estimativa de tempo” calculado pela equação 4:

Tabela 6 – Planilha auxiliar que funciona como um Banco de Dados do programa

Componente	Tempos por etapa (em segundos)					
	Inserção (e)	Solda por terminal	Quantidade de terminais	Corte	Dobra de terminais	Variância (s ²)
Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	3,002	4	2	2	0	0,009
Capacitor de poliéster 1uF/630V	4,475	4	2	2	0	0,011
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/50V	3,272	4	2	2	0	0,001
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/25V	3,363	4	2	2	0	0,008
Capacitor Multicamadas	3,304	4	2	2	2	0,018
CI Regulador de Tensão	3,371	4	3	0	0	0,003
Conector 10 vias	3,078	4	10	0	0	0,009
Conector de 15 vias	3,162	4	15	0	0	0,002
Cristal Oscilador	2,823	4	2	0	0	0,003
Diodo Convencional	3,116	4	2	2	2	0,003
Diodo Zener	6,752	4	2	2	2	0,427

Componente	Tempos por etapa (em segundos)					
	Inserção (e)	Solda por terminal	Quantidade de terminais	Corte	Dobra de terminais	Variância (s²)
Dissipador de 5 pinos	9,940	4	5	0	0	0,037
Ponte de Resistores	4,249	4	9	0	0	0,023
Ponte Retificadora	2,720	4	4	0	0	0,011
Porta Poste	6,518	4	2	0	0	0,013
Relé 12V/30A	3,012	4	5	0	0	0,005
Resistor Carbono	3,288	4	2	2	2	0,002
Resistor de Fio	3,586	4	2	2	2	0,042
Resistor Metálico	3,554	4	2	2	2	0,004
Soquete 6 pinos	2,749	4	6	0	0	0,006
Soquete de 8 pinos	3,077	4	8	0	0	0,007
Soquete de 14 pinos	2,652	4	14	0	0	0,004
Soquete de 16 pinos	3,723	4	16	0	0	0,019
Soquete de 20 pinos	2,934	4	20	0	0	0,007
Soquete de 28 pinos	4,120	4	28	0	0	0,007
Soquete de 40 pinos	2,978	4	40	0	0	0,016
Transformador de Pulso	10,187	4	4	0	0	0,232
Transistor 2n	4,588	4	3	2	2	0,022
Trimpot Retangular	3,159	4	3	0	0	0,028

Figura 14 – Interface da planilha criada

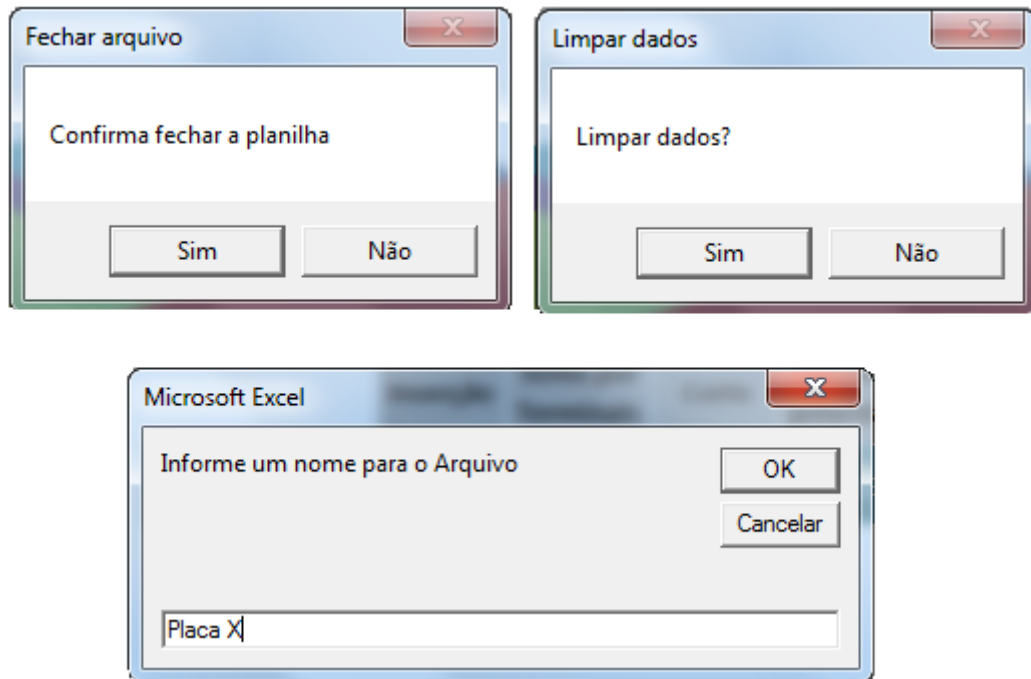


Acima vemos primeiramente os botões projetados para facilitar o uso da planilha pelo usuário e que foram feitos a partir das Macros já apresentadas em 5.2. Cada botão traz uma resposta diferente de acordo com a programação, suas funcionalidades são:

- Botão “Salvar”: armazena a planilha diretamente assim quando o programa for aberto novamente retornará os mesmos componentes e quantidades de quando foi salvo.
- Botão “Fechar”: retorna uma caixa de resposta para o usuário com a pergunta “Confirma fechar planilha?” caso a resposta seja “sim” o programa será fechado, caso seja “não” o programa continuará aberto.
- Botão “Limpar”: retorna uma caixa de resposta ao usuário com a pergunta “Limpar dados?”, caso o usuário selecione “sim” todos os componentes e quantidades serão limpos, caso selecione “não” os mesmos componentes e quantidades permanecerão.

-Botão “Salvar como”: retorna uma caixa de resposta ao usuário onde ele pode inserir o nome do arquivo que será salvo em formato pdf na pasta “Meus Documentos”.

Figura 15 - Caixas de Resposta dos Botões “Fechar”, “Limpar” e “Salvar Como”, respectivamente



Logo abaixo dos botões, vemos o campo destinado ao usuário selecionar os componentes e suas respectivas quantidades. Esse campo foi feito com a “Validação de Dados”, na coluna à esquerda podemos selecionar os componentes a partir de opções ordenadas em ordem alfabética, dos componentes armazenados em outra planilha como se fosse um Banco de Dados. Na coluna à direita o usuário coloca a quantidade de cada componente, nessa coluna apenas números são aceitos e um erro aparece quando algum caractere estranho é inserido.

Figura 16 - Erro retornado ao se colocar um caractere estranho na célula destinada à quantidade

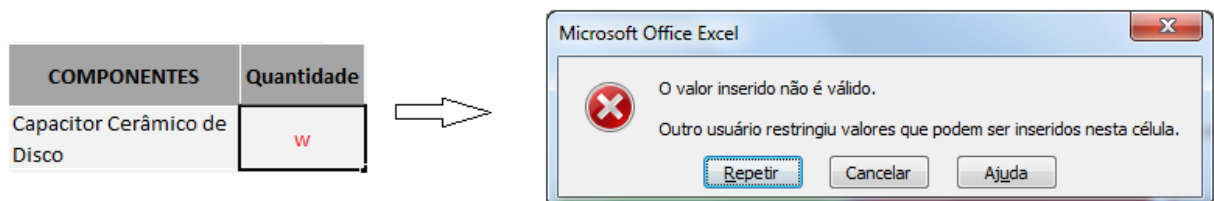


Figura 17 - Opções de componentes da planilha auxiliar disponíveis para seleção do usuário

COMPONENTES	Quantidade
Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	1
Capacitor de poliéster 0,15uF/250V	1
Capacitor de poliéster 1uF/630V	1
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/50V	3
Capacitor Eletrolítico Radial 1000uF/25V	9
Capacitor Multicamadas	19
CI Regulador de Tensão	
Conector 10 vias	
Conector de 15 vias	

Na tabela do lado direito temos os tempos totais de cada etapa do processo para a montagem manual de uma placa em minutos, e na última célula o tempo total da montagem de toda a placa. Nesse campo utilizou-se as funções “procv” para buscar os tempos no Banco de Dados do programa, a função “soma” para somar os tempos de cada etapa e o tempo total, a função “mult” para a multiplicação dos tempos pelas quantidades dos componentes e a função “seerro” para caso houvesse algum erro no “procv”, este não influenciasse nos cálculos feitos.

O gráfico de pizza foi feito a partir da série de tempos totais de cada etapa do processo.

5.4 - Teste da precisão do parâmetro criado

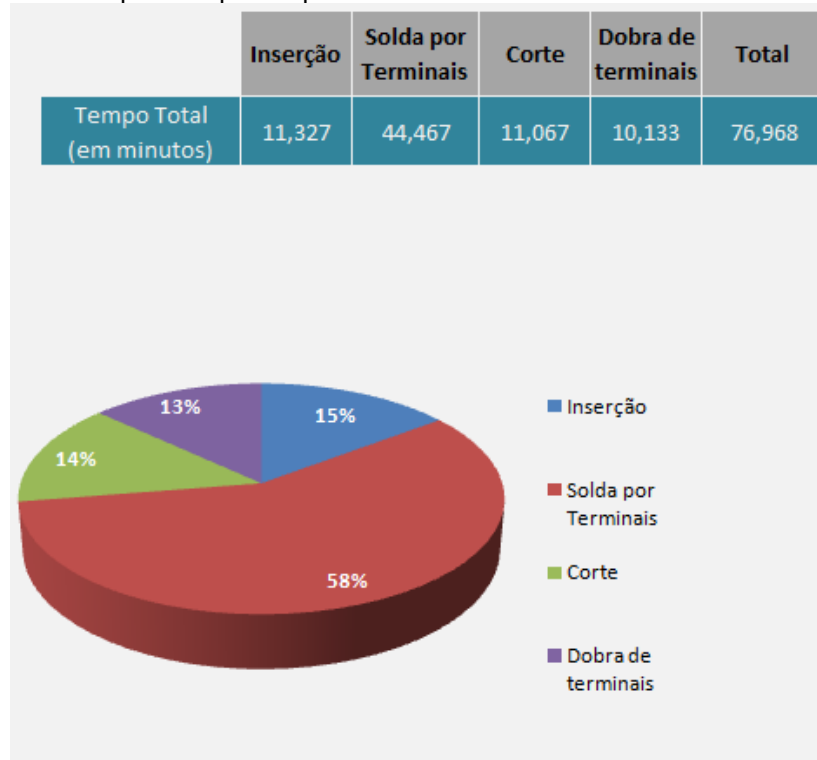
Para analisarmos a precisão do parâmetro iremos comparar o tempo teórico de montagem da placa observada, fornecido pelos montadores da empresa, com o tempo de montagem simulado na planilha.

O tempo teórico fornecido pelos montadores foi de cerca de quinze minutos para a montagem de uma placa do modelo (X). Para o tempo simulado, selecionamos os componentes na planilha criada e suas respectivas quantidades. Assim obtivemos que:

$$\text{Tempo de inserção total} \cong 15,000 \text{ minutos teó}$$

Já o tempo experimental é calculado a partir da simulação dos componentes e suas respectivas quantidades, que podem ser vistos na Tabela 1. O tempo de inserção total é calculado pela planilha utilizando a equação 6:

Figura 18 – Resultado da planilha para a placa estudada



Assim:

$$\text{Tempo de inserção total}_{exp} = 11,327 \text{ minutos}$$

Calculando o erro percentual:

$$E\% = \left(\frac{\text{valor teórico} - \text{valor experimental}}{\text{valor teórico}} \right) * 100\% \quad (7)$$

$$E\% = \left(\frac{\text{valor teórico} - \text{valor experimental}}{\text{valor teórico}} \right) * 100\%$$

$$E\% = \left(\frac{15,000 - 11,327}{15,000} \right) * 100\%$$

$$E\% = 24,487\%$$

A maior justificativa para o erro foi o tipo de montagem manual realizada pela empresa. A montagem na Reag-Spray segue o exemplo da figura 3 onde os componentes são inseridos por apenas um montador e esse único montador deve olhar a posição do componente e inseri-lo na placa, esse tempo de visualização da posição antes da inserção do componente é razoavelmente alto, por isso do erro percentual ser considerável. As medidas foram feitas apenas do tempo de inserção do componente como em uma linha de montagem (figura 2) onde cada operador já sabe a posição dos componentes que ele vai inserir, assim desconsidera esse tempo de “pré-visualização” diminuindo muito o tempo de montagem.

O erro não pode ser muito atribuído a eventos ocorridos durante a inserção do componente, pois tanto há problemas na pré-formação que aumentam ligeiramente a média de tempo de inserção quanto há pré-formações tão bem feitas que o componente é inserido muito facilmente assim diminuindo esse tempo.

Comparando os tempos de cada etapa obtidos também pode-se observar que mais da metade do tempo é atribuído a solda de terminais já que estes quando soldados manualmente precisam ser feitos de um a um. Já a dobra e o corte apesar de serem feitos da mesma forma, não são tarefas necessárias para todos os componentes.

6 - CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos é possível observar que uma linha de inserção manual com “n” postos de montagem possui um rendimento muito maior do que uma linha de montagem com apenas um montador. Em praticamente todas as simulações de placas que foram testadas na planilha a etapa de soldagem foi a tarefa mais demorada, assim fica claro que ela é o gargalo nesse tipo de montagem e por esse motivo a máquina de solda por onda é utilizada até em pequenas empresas para diminuição do tempo e melhoria da qualidade desta etapa.

O parâmetro criado ficou bastante coerente graças ao refinamento feito a partir da filtragem dos tempos e poderá ser usado em montadoras que possuam uma linha com “n” postos ou que possuam apenas um montador para montagem, mas, nesse último caso, o tempo servirá apenas para comparação e estudo do rendimento de um método em relação ao outro.

A partir das pesquisas realizadas e da visita e contato com montadoras, observou-se que o maior desafio para as empresas nacionais conseguirem competir com países europeus e asiáticos é a falta de equipamentos de alta tecnologia, a falta de planejamento para aumentar a demanda na grande maioria das empresas e o custo de mão de obra menor que existem em países como China e Tailândia.

Deste modo concluiu-se que, apenas investindo em equipamentos de alta tecnologia e criando novos métodos de melhoria da produção para permitir o aumento da demanda e assim, poder-se implantar uma linha de montagem para montar placas em menor tempo, que o mercado brasileiro de montagem de placas eletrônicas poderá voltar a crescer.

7 - BIBLIOGRAFIA

- (1) ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **NBR 6023**. Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, ago 2002.
- (2) ALVAREZ, Maria Esmeralda Ballester. **Organização, Sistemas e Métodos**. [s.l.]: Mcgraw Hill, 1990.
- (3) AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B.; DAVIS, Mark M. **Fundamentos Da Administracao Da Producao**. 3. ed. [s.l.]: Bookman Companhia Ed, 2001. 598 p.
- (4) BARCELLOS, Monalessa Perini. **Métodos de apoio à elaboração de cronogramas**. Espírito Santo: Universidade Federal do Espírito Santo, 20--. 14 slides, color.
- (5) COELHO, Carem. **Labelectron – laboratório de desenvolvimento e testes de processos e produtos eletrônicos**. 2010. 32 f. Programa de estágio curricular ii - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- (6) COSTA, Giovani Glaucio de Oliveira. **Curso de estatística inferencial e probabilidades: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Atlas, 2012. 384 p
- (7) DAQUINO, Fernando. **Brasil: um dos maiores consumidores de eletrônicos**. 2013. Disponível em: <<http://tecmundo.com.br/mercado/38519-brasil-um-dos-maiores-consumidores-de-eletronicos.htm>>. Acesso em: 09 set. 2014.
- (8) DORO, Marcos Marinovic. **Sistemática para implantação da garantia da qualidade em empresas montadoras de placas de circuito impresso**. 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- (9) EDACAFÉ (Usa). **World PCB Market Grew 1.7 Percent in 2012 According to IPC World PCB Production Report**. 2013. Disponível em: <<http://www10.edacafe.com/nbc/articles/1/1219434/World-PCB->

Market-Grew-1.7-Percent-2012-According-IPC-World-PCB-Production-Report>. Acesso em: 16 outubro 2014.

- (10) LABELECTRON (Santa Catarina) (Ed.). **Montagem manual com eficiência qualidade e ergonomia**. 2011. Disponível em: <<http://labelectron.org.br/certifique-se-eletronica/maio-2011/montagem-manual-com-eficiencia-qualidade-e-ergonomia.html>>. Acesso em: 23 maio 2014.
- (11) MICROSOFT CORPORATION. **Suporte do office**. 2014. Disponível em: <<http://office.microsoft.com/pt-br/excel-help>>. Acesso em: 07 ago. 2014.
- (12) WALKENBECH, John. **Programando Excel 2007 VBA para leigos**. [s.l.]: Alta Books, 2010. 384 p.

