

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA – DAELT
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

CARLOS ALBERTO SIEVERS
ISRAEL LINHARES DA SILVA

**ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE REFUSÃO DE
SOLDA E DE INSPEÇÃO ÓPTICA AUTOMÁTICA COM MODELAGEM
E SIMULAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

CARLOS ALBERTO SIEVERS
ISRAEL LINHARES DA SILVA

**ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE REFUSÃO DE
SOLDA E DE INSPEÇÃO ÓPTICA AUTOMÁTICA COM MODELAGEM
E SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Professor Orientador: Gilberto Wolff, Dr. Eng.

CURITIBA
2015

CARLOS ALBERTO SIEVERS
ISRAEL LINHARES DA SILVA

ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DOS PROCESSOS DE REFUSÃO DE SOLDA E DE INSPEÇÃO ÓPTICA AUTOMÁTICA COM MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Este Trabalho de Diplomação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de **Tecnólogo em Automação Industrial**, do **Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial** da **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**.

Curitiba, 01 de abril de 2015.

Prof. José da Silva Maia, M.Eng.
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

Prof. Rafael Fontes Souto, M.Sc.
Responsável pelo Trabalho de Diplomação da Tecnologia
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Henrique Mariano, Dr.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Gilberto Wolff, Dr.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Walter Denis Cruz Sanchez, Dr.Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

A simulation is the imitation of the operation of a real-world process or system over time. Whether done by hand or on a computer, simulation involves the generation of an artificial history of a system, and the observation of that artificial history to draw inferences concerning the operating characteristics of the real system.

(BANKS, Jerry, 1984)

Simulação é a imitação de um processo do mundo real ou de um sistema ao longo do tempo. Seja feito à mão ou com auxílio de um computador, a simulação envolve a criação de uma história artificial de um sistema, e a partir da observação desta história artificial retira-se conclusões a respeito das características de operação do sistema real.

(BANKS, Jerry, 1984)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos o corpo docente que nos proporcionou o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Agradecemos ao professor Dr. Gilberto Wolff, que teve a paciência e conhecimentos necessários para nos orientar neste estudo.

Agradecemos aos nossos pais e mães, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Obrigado aos nossos colegas de caminhada.

Obrigado a todos que de alguma forma estiveram em nosso caminho e apoiaram nosso estudo e dedicação.

Agradecemos a Deus por nos ter dado saúde e força para superar as dificuldades.

RESUMO

SIEVERS, Carlos A.; SILVA, Israel L. **Integração do processo de refusão de solda com o processo de inspeção óptica automática.** Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Curitiba, 2015. 96p.

O estudo aqui apresentado visa elaborar uma proposta de melhoria do leiaute de uma linha de montagem existente do tipo "*Surface Mounted Technology*" (SMT) na linha de produção de uma empresa de placas eletrônica no município de Almirante Tamandaré, no Paraná. Propõe-se neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) a implantação de métodos de estudo e ferramentas do *Lean Manufacturing*, buscando, por meio deles, encontrar e/ou confirmar processos que estejam agregando tempo ao processamento do produto na linha de montagem. O método utilizado no estudo classifica-se como de abordagem exploratória quantitativa, caracterizada pelo emprego de instrumentos estatísticos, utilizando-se recursos do próprio software Arena. Objetiva-se através da aplicação de ferramentas de qualidade e também de modelagem e simulação, por meio do software Arena, determinar qual é a melhor proposta técnico/financeira para se atingir uma adequada distribuição do tempo ao longo da linha de produção, aumentando, desta forma, a produtividade e também reduzindo, quando possível, o trabalho manual existente na linha SMT. Para evitar que qualquer mudança física no leiaute atual traga problemas no funcionamento da linha SMT, buscou-se fazer da modelagem e simulação uma alternativa viável econômica para o estudo. Tomadas de tempo de produção de alguns produtos que hoje utilizam a linha SMT em estudo foram utilizadas como dados na modelagem e simulação, assim como os dados técnicos dos equipamentos utilizados. Estes dados serviram de base para encontrar e/ou confirmar os processos que estão causando problemas na linha. Após a coleta de dados e da modelagem da linha hoje existente, simulações com alternativas para a otimização da linha SMT da empresa em estudo foram feitas. Os dados coletados foram testados e a estatística foi utilizada para verificar a validade das amostras que posteriormente foram inseridas no Input Analyzer do software Arena e as curvas verificadas deram origem às funções que posteriormente foram inseridas no próprio Arena para parametrização da linha de produção em estudo. Este procedimento demonstrou que a implementação desejada é viável tecnicamente.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, Automação, Modelagem, Simulação, *Surface Mounted Technology*.

ABSTRACT

SIEVERS, Carlos A.; SILVA, Israel L. **Integration of reflow soldering process with the automatic optical inspection process.** Completion of Course Work – UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, Curitiba, 2015. 96p.

The study presented here aims to develop a proposal for improvement on an existing assembly line of the "Surface Mounted Technology" (SMT) on the production line of an electronics company in the city of Almirante Tamandaré, Paraná. It is proposed in this Work Course Conclusion (TCC) an implementation of study methods and Lean Manufacturing of tools, searching through them find and / or confirm processes that are adding time to processing of the product on the assembly line. The method used in this study is classified as quantitative, characterized by the use of statistical tools, using resources of their own Arena software. It is intended to achieve through the application of quality tools as well as modeling and simulation, through the Arena software, determine which is the best technical / financial proposal to achieve an appropriate distribution of time along the production line, increasing this form, productivity and also reducing, where possible, the existing manual work in SMT line. To prevent that any physical change in the current layout will bring problems in the functioning of the SMT line, modeling and simulation were applied like a viable economic alternative for this study. This modeling and simulation used the time spent by current production in their studies, as well as the technical data of the equipment used. These data provided the basis to find and / or confirm the processes that are causing problems on the line. After collecting the data of the current line of productions, simulations with alternatives to the SMT line optimization of the company under study were made. The collected data were checked with statistics methods and then were entered in the Input Analyzer software Arena and curves checked led to functions that were later inserted in the Arena itself for setting the production line under study. This procedure demonstrated that the desired implementation is technically feasible.

Keywords: Lean Manufacturing, Automation, Modeling, Simulation, Surface Mounted Technology.

LISTA DE ACRÔNIMOS

5S	-	Cinco Esses (ferramenta da qualidade direcionada para a organização e limpeza do ambiente de trabalho)
AOI	-	<i>Automated optical inspection</i> (Inspeção óptica automática)
CFM	-	<i>Continuous flow manufacturing</i> (Manufatura de fluxo contínuo)
ESD	-	<i>Electrostatic discharge</i> (descarga eletrostática)
FIFO	-	<i>First In, First Out</i> (Primeiro a entrar, primeiro a sair)
JIT	-	<i>Just in time</i> (No tempo certo)
MPT	-	Manutenção produtiva total
OSP	-	<i>Organic surface protection</i> (Proteção orgânica de superfície)
PCI	-	Placa de circuito impresso
PY	-	<i>Poka Yoke</i> (Dispositivo a prova de falhas)
SMC	-	<i>Surface mounted components</i> (Componentes de montagem em superfície)
SMD	-	<i>Surface mounted device</i> (Dispositivo montado em superfície)
SMED	-	<i>Single minute exchange of die</i> (Troca rápida de ferramenta)
SMT	-	<i>Surface mounted technology</i> (Tecnologia de montagem em superfície)
SW	-	<i>Standardized work</i> (Trabalho padronizado)
TCC	-	Trabalho de Conclusão de Curso
THT	-	<i>Through hole technology</i> (Tecnologia de montagem através de furos)
TPM	-	<i>Total productive maintenance</i> (Manutenção produtiva total)
STP	-	Sistema Toyota de produção
TRF	-	Troca rápida de ferramenta
UTFPR	-	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE TERMOS

<i>Buffer</i>	- Retentor (local de armazenagem).
<i>Chip Shooter</i>	- Inseridora de componentes de alta velocidade.
<i>Conveyor</i>	- Esteira transportadora.
Cronoanálise	- Método para aquisição de tempos de montagem.
Estêncil	- Dispositivo usado como base para aplicação de pasta de solda.
Filosofia <i>Lean</i>	- Filosofia enxuta.
<i>Jidoka</i>	- Automação com um toque humano.
<i>Just-in-Time</i>	- No tempo certo.
<i>Kaizen</i>	- Mudança para melhor.
Leiaute	- Arranjo físico de um determinado local
<i>Lean Manufacturing</i>	- Manufatura enxuta.
<i>Pick and Place</i>	- Inseridora de componentes eletrônicos.
<i>Printer</i>	- Máquina que aplica pasta de solda na placa de circuito impresso.
<i>Setup</i>	- Tempo para configuração de equipamento.
Software	- Programa de computador.
<i>Trolley</i>	- Ferramenta para trocas rápidas de programa em máquinas com tecnologia SMT.
<i>Websites</i>	- Sites virtuais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Linha de montagem SMT	16
Figura 02 - <i>Buffer</i> de painéis formado após processo de refusão da solda	17
Figura 03 - <i>Buffer</i> de painéis montados aguardando a inspeção óptica.....	18
Figura 04 - Fluxograma de processo da linha de montagem SMT.....	21
Figura 05 - Etapas de modelagem e simulação	33
Figura 05 - Ferramentas da Manufatura Enxuta.....	37
Figura 06 - Distribuição Binomial.....	40
Figura 07 - Distribuição Poisson.....	40
Figura 08 - Distribuição Beta.....	41
Figura 09 - Distribuição Erlang	42
Figura 10 - Distribuição Exponencial.....	43
Figura 11 - Distribuição Gama.....	44
Figura 12 - Distribuição Lognormal	45
Figura 13 - Distribuição Normal.....	45
Figura 14 - Distribuição Uniforme.....	46
Figura 15 - Distribuição Weibull.....	47
Figura 16 - Microcomputador Sharp MZ-700 com tecnologia SMT (1982)	49
Figura 17 - Capacitor monolítico de cerâmica (0.25 mm x 0.125 mm)	49
Figura 18 - Sequência de montagem SMT.....	50
Figura 19 - Aplicação da pasta de solda	51
Figura 20 - Máquina <i>Pick and Place</i>	52
Figura 21 - Curva de aquecimento.....	53
Figura 22 - Forno de refusão.....	54
Figura 23 - Máquina de inspeção automática.....	55
Figura 24 - <i>Buffer</i> , antecessor a máquina de inspeção automática.....	56
Figura 25 - Diagrama de <i>Ishikawa</i> referente à linha de montagem analisada.....	58
Figura 26 - Painel de Placas da família 1	59
Figura 27 - Painel de Placas da família 2.....	60
Figura 28 - Leiaute da célula de montagem	61
Figura 29 - Curvas características.....	67
Figura 30 - Modelo Arena – Leiaute da célula de montagem	70
Figura 31 - Configuração do bloco <i>Create</i>	71

Figura 32 - Postos de trabalho	72
Figura 33 - Configuração do bloco <i>Process</i>	73
Figura 34 - Blocos que compõem o forno de refusão.....	74
Figura 35 - Configuração módulo <i>Conveyor</i>	74
Figura 36 - Blocos que compõem o <i>buffer</i>	74
Figura 37 - Estação <i>CONVEYOUR2</i> seguida do bloco <i>Hold</i>	75
Figura 38 - Conjunto de processos	76
Figura 39 - Modelo de animação da linha SMT.....	76
Figura 40 - Modelo da linha de montagem SMT 1	77
Figura 41 - Janela de erro do software Arena	79
Figura 42 - Acúmulo de peças no <i>buffer</i>	80
Figura 43 - Leiaute sugerido para a célula de montagem SMT.....	85
Figura 44 - Magazine	86
Figura 45 – Basic Process	93
Figura 46 - <i>Advanced Transfer and Advanced Process</i>	94
Figura 47 - <i>Navigate</i>	95
Figura 48 - <i>Reports</i>	96
Figura 49 - Ambiente de trabalho Arena	96
Figura 50 - Bloco <i>Create</i>	97
Figura 51 - Bloco <i>Assign</i>	98
Figura 52 - Bloco <i>Process</i>	98
Figura 53 - Bloco <i>Decide</i>	99
Figura 54 - Bloco <i>Record</i>	100
Figura 55 - Bloco <i>Batch</i>	101
Figura 56 - Bloco <i>Dispose</i>	101
Figura 57 - Bloco <i>Hold</i>	102
Figura 58 - Bloco <i>Station</i>	103
Figura 59 - Bloco <i>Leave</i>	103
Figura 60 - Bloco <i>Access</i>	104
Figura 61 - Bloco <i>Convey</i>	105
Figura 62 - Bloco <i>Exit</i>	105
Figura 63 - Modelo auxiliar	108
Figura 64 - Relatório Arena – Apêndice B.....	110
Figura 65 - Modelo da linha de montagem SMT	111

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Dimensionamento da amostra	38
Equação 02 - Função Densidade Binomial	39
Equação 03 - Função Densidade Poisson	40
Equação 04 - Função Densidade Beta.....	41
Equação 05 - Função Densidade Erlang.....	42
Equação 06 - Função Densidade Exponencial.....	42
Equação 07 - Função Densidade Gama	43
Equação 08 - Função Densidade Lognormal	44
Equação 09 - Função Densidade Normal	45
Equação 10 - Função Densidade Uniforme	46
Equação 11 - Função Densidade Weibull	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Histórico de demanda anual das famílias 1 e 2.....	63
Tabela 02 - Tomada de tempo Família 1	64
Tabela 03 - Tomada de tempo Família 2	65
Tabela 04 - Informações Família 1	65
Tabela 05 - Informações Família 2.....	66
Tabela 06 - Valores críticos.....	66
Tabela 07 - Informações - Famílias 1 e 2.....	67
Tabela 08 - Tempos	70
Tabela 09 - Validação do modelo Apêndice B para família 1	79
Tabela 10 - Validação do modelo Apêndice B para família 2.....	79
Tabela 11 - Tempos de processo.....	81
Tabela 12 - Tempo de permanência na fila.....	81
Tabela 13 - Utilização de recursos.....	82
Tabela 14 - Demonstrativo de tempos simulados para a família 1	84
Tabela 15 - Demonstrativo de tempos simulados para a família 2.....	84
Tabela 16 - Sugestão de novos equipamentos	85

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	ii
AGRADECIMENTOS	iii
EPÍGRAFE	iv
RESUMO	v
RESUMO LÍNGUA ESTRANGEIRA	vi
LISTA DE ACRÔNIMOS	vii
LISTA DE TERMOS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE EQUAÇÕES	xi
LISTA DE TABELAS	xii
SUMÁRIO	xiii
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA	19
1.1.1 Delimitação do tema.....	22
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	22
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo Geral	24
1.3.2 Objetivos Específicos	24
1.4 JUSTIFICATIVA	25
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	29
2 REVISÃO DE LITERATURA	30
2.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA.....	30
2.1.1 Simulação.....	30
2.1.2 Características de Simulação.....	30
2.1.3 Modelos de Simulação Computacional	31
2.1.4 Métodos de Simulação.....	31
2.1.5 Terminologia Básica Utilizada em Simulação.....	33
2.2 MODELAGEM DOS DADOS.....	34
2.2.1 Análise e tratamento de Dados	35
2.2.2 Processo de Amostragem e Coleta de Dados.....	35
2.2.3 Tratamento dos Dados.....	36
2.2.3.1 Dimensionamento da amostra.....	38

2.2.4 Distribuições Estatísticas.....	39
2.3 MANUFATURA SMT	48
2.3.1 Composição da linha de montagem SMT.....	49
2.3.1.1 Impressão serigráfica	50
2.3.1.2 Composição dos componentes	51
2.3.1.3 Refusão da pasta de solda.....	52
2.3.1.4 Inspeção e liberação	54
2.3.1.5 Transportadores	56
3 DESENVOLVIMENTO	57
3.1 CONCEPÇÃO	57
3.1.1 Formulação do problema.....	57
3.1.2 Modelo Conceitual.....	59
3.1.2.1 Definição dos produtos.....	59
3.1.2.2 Descrição do processo produtivo	60
3.1.2.3 Identificação e coleta de dados	62
3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	70
3.2.1 Verificação e validação.....	78
3.3 TESTES COM MODELO PROPOSTO	79
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
4.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	87
REFERÊNCIAS.....	88
APÊNDICES	91
Apêndice A	92
Apêndice B	108
Apêndice C	111

1 INTRODUÇÃO

Após o fim da segunda guerra mundial (1945) o Japão estava com a situação econômica desfavorável e o sistema produtivo estava ineficiente, pois era necessário que vários trabalhadores japoneses para se produzir o que somente um trabalhador americano produzia (OHNO, 1997). Para a época este foi um dos fatores que impulsionaram os empresários japoneses a buscarem melhores resultados dentro de suas indústrias visando à manutenção do lucro, que naquele contexto estava reduzido.

Após a crise do petróleo (1973) notou-se uma evolução no processo de melhoria contínua e, com a Toyota encontrando resultados promissores, deu-se visibilidade ao sistema Toyota de produção (STP), que por sua vez, foi disseminado por toda a indústria japonesa neste período (OHNO, 1997). Isto acelerou o ressurgimento econômico do Japão no mercado mundial. Essa evolução foi percebida por países europeus e norte-americanos, pois houve uma grande entrada de bens de consumo como eletrônicos e automóveis em seus mercados internos.

A busca por melhores resultados na área industrial levou a uma disseminação do sistema de produção criado pela Toyota por todo o território japonês. Logo após esta divulgação o mesmo começou a sofrer alterações para se tornar um sistema melhor. Na atualidade o mesmo pode ser intitulado de *Lean Manufacturing* (WOMACK, JONES, ROOS, 2004a), o qual visa à redução do tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto, por meio da redução e/ou eliminação dos desperdícios no meio produtivo.

Esta motivação do *Lean Manufacturing* em buscar a redução do tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto levou ao surgimento de alguns métodos/ferramentas de ação para auxiliar a aplicação do sistema no meio produtivo. Os métodos/ferramentas mais comuns aplicados no sistema produtivo são: Cinco esses (5S), *Just in time* (JIT), Manufatura de fluxo contínuo (CFM), Trabalho padrão (SW), Troca rápida de ferramenta (SMED) e Manutenção produtiva total (TPM) (WOMACK, JONES, ROOS, 2004a; OHNO, 1997; SHINGO, 1996a; SHINGO, 2000).

A manufatura de fluxo contínuo busca a organização física do fluxo de valor para que o material possa ser movimentado de um processo que agrega valor a

outro em fluxo contínuo, ou seja, sem desperdício de tempo de transferência e, sem formação de estoques entre processos (LIKER, 2003).

Nesta perspectiva de aplicação das características do *Lean Manufacturing*, propõe-se neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), a elaboração de uma proposta de melhoria de processo na linha de montagem “*Surface Mounted Technology*” (SMT), utilizando-se o software Arena como ferramenta para simular as etapas de processo na linha de produção. Esta proposta tem o objetivo de coletar os dados de chão de fábrica e transferi-los para o software para a modelagem e simulação do processo atual e, posteriormente elaborar uma proposta para melhorar o fluxo de processos na linha de montagem SMT. Esta simulação do processo via software tem como objetivo detectar ou confirmar, qual o processo que está gerando o acúmulo de produtos na linha de montagem SMT.

Na linha de montagem em estudo (Figura 01) as máquinas estão dispostas de forma linear e, estão na seguinte sequência: *destacker, printer, conveyor, pick and place, pick and place, conveyor, forno de refusão de solda e, conveyor*.



Figura 01 - Linha de montagem SMT

Fonte: Quantum (2014).

Segundo a Juki 2013, quanto à velocidade de assentamento dos componentes, existem diversos modelos de máquinas disponíveis para compor a linha de montagem SMT. Contudo pode-se observar as seguintes configurações: máquinas de alta velocidade com menor precisão (*chip shooter*); máquinas de alta precisão com menor velocidade (multifuncional). A linha de montagem em estudo está composta por duas máquinas de assentar componentes (*pick and place*) em série, com cabeçotes de alta precisão e, menor velocidade, com uma capacidade máxima de assentamento de trinta e sete mil e quinhentos (37.500) componentes eletrônicos por hora.

Após o assentamento e soldagem dos componentes eletrônicos nas placas de circuito impresso (PCI), as mesmas aguardam a inspeção óptica automática em um *buffer* (Figura 02), para então após a inspeção serem liberadas para as montagens subsequentes.

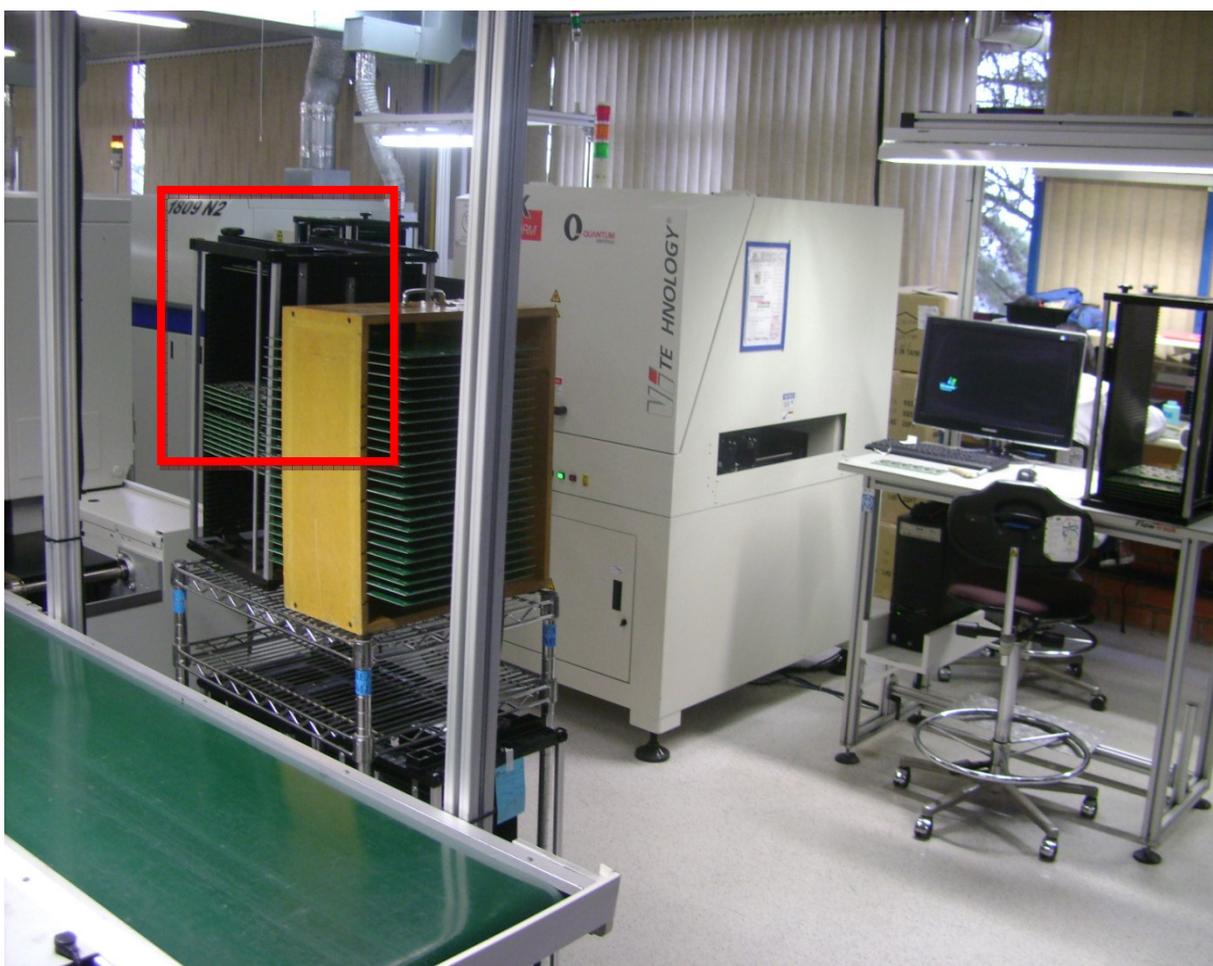


Figura 02 - Buffer de painéis formado após processo de refusão da solda

Fonte: Quantum Eletrônica (2014).

Em uma análise inicial foi identificado que a quebra do fluxo de montagem acontece logo após o processo de soldagem dos componentes na placa, contudo este ponto da linha de montagem não é o final do processo SMT. Após a soldagem inicia-se o estoque intermediário de PCI's prontas aguardando a inspeção óptica automática (Figura 3). Essa parada no fluxo de montagem não agrega valor ao produto, mas aumenta consideravelmente o tempo de processamento do produto. Neste contexto surgiu a motivação para automatizar esta parte da linha de montagem SMT.



Figura 03 - Buffer de painéis montados aguardando a inspeção óptica

Fonte: Quantum Eletrônica (2014).

Ao utilizar o software Arena no modo simulação, é possível quantificar as perdas de processo e, identificar o método de correção que melhor se adaptará a linha de montagem SMT. Neste estudo serão aplicados os conhecimentos teóricos e

práticos adquiridos no curso de graduação para desenvolver o projeto desta automatização da linha de montagem SMT, sugerindo as possíveis soluções considerando-se a realidade econômica da empresa estudada.

1.1 PROBLEMA

No fluxo de processo atual na empresa em estudo, as PCI's são montadas e soldadas no forno de refusão e, em seguida estocadas para o processamento da operação de inspeção óptica automática, para então serem liberadas para a célula de montagem subsequente. Com a utilização deste fluxo de produção (estocados/parados) há uma perda significativa de qualidade na camada do verniz chamada Organic Surface Protection (OSP) e, um acréscimo nos tempos de processo. Ohno (1997) e Shingo (1996a) classificam os diferentes tipos de perdas em sete categorias: perdas por superprodução, perdas por transporte, perdas no processamento, perdas por fabricação de produtos defeituosos, perdas por estoques, perdas por movimentação e perdas por espera. No processo em estudo ocorrem as perdas por estoques e por espera.

Para corrigir os problemas identificados na célula de montagem SMT, o uso da automação é imprescindível, pois para fazer a interligação entre a operação de refusão de solda e da operação de inspeção óptica automática, será necessário um conjunto de equipamentos para que o estoque intermediário seja absorvido com a mesma velocidade com que a linha de montagem produz as PCI's.

Atualmente nas empresas de montagem eletrônica tais como a Positivo Informática e a Siemens, o método mais utilizado é o *buffer* de PCI's instalado logo após o forno de refusão. Desta forma o *buffer* é capaz de absorver a produção total do forno, caso haja uma parada de linha na operação de inspeção automática. Atualmente há vários modelos de *buffer* e, de diversos fabricantes para atender esta necessidade. Esta variada oferta de diferentes tipos de *buffer* dificulta a determinação de qual modelo de equipamento melhor se adaptará ao processo de montagem atual. Buscando encontrar o equipamento *buffer* adequado à linha SMT, sem interferir no seu funcionamento, empregar-se-á a modelagem de sistemas em ambiente de Software.

A Figura 04 na próxima página apresenta o fluxograma do processo atual da linha de montagem SMT implantado na empresa em estudo e, o mesmo será usado como base para o início do desenvolvimento da modelagem do sistema.

Tendo em vista que em grande parte das pequenas e médias empresas a aquisição de máquinas é parcial ou limitada somente à etapa de transformação, ou seja, não é considerada à relação com a etapa seguinte do processo de montagem. A readequação do processo de montagem SMT visando à melhora do fluxo se faz necessária, pois o sistema de produção adotado pela empresa em estudo aumenta o tempo de processamento do produto e também afeta a sua qualidade final.

Desta forma busca-se por meio deste estudo a integração das máquinas adquiridas individualmente para a linha de montagem SMT e, a definição de quais os equipamentos mais eficientes para a integração das máquinas de refusão de solda e, a de inspeção óptica automática.

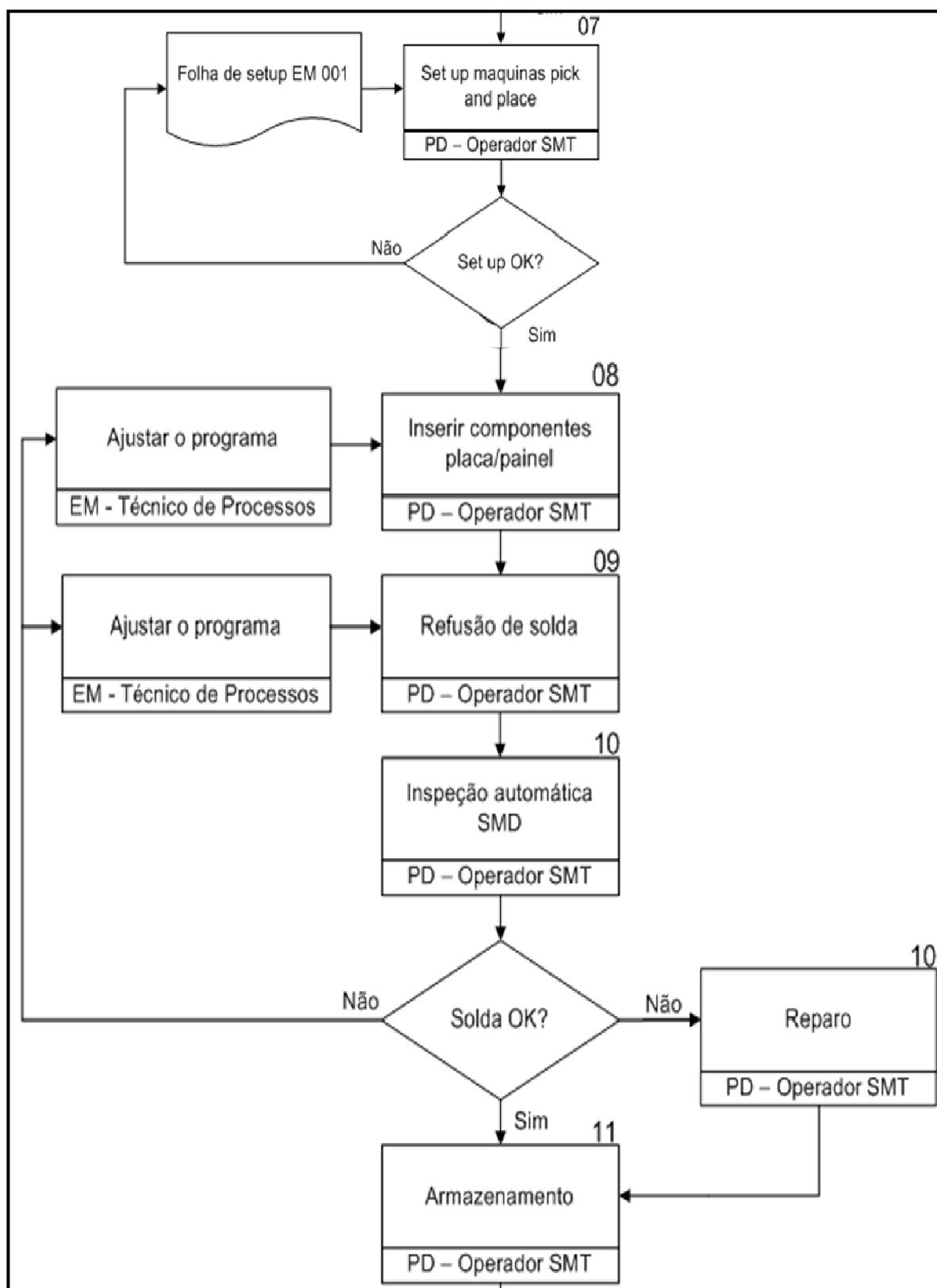


Figura 04 - Fluxograma de processo da linha de montagem SMT

Fonte: Quantum Eletrônica (2014).

1.1.1 Delimitação do Tema

Entende-se por processo de montagem SMT a etapa em que os componentes (tais como: capacitores, resistores, indutores, diodos e, circuitos integrados) de tecnologia de montagem em superfície são posicionados, fixados na placa de circuito impresso por meio de refusão de pasta de solda e, após esta etapa a placa de circuito impresso é inspecionada automaticamente. Em grandes empresas da área de montagem eletrônica como a Siemens, o processo de montagem SMT tem um fluxo contínuo sem interrupções, pois se elimina estoques intermediários de dentro da célula de montagem.

Na linha de montagem SMT da empresa em estudo há duas células de montagem, elas são designadas Linha Um e Linha Dois. Destas, a primeira é a principal e é a que tem o maior volume de produção, absorvendo cerca de oitenta por cento (80%) da produção total e, mesmo sendo a linha de maior volume, esta não está integrada com o posto de inspeção ótica automática, que neste caso, é a etapa final do processo SMT.

A simulação do processo permite que se faça uma análise do sistema em questão sem a necessidade de interferir no mesmo. Deste modo as mudanças e consequências, por mais profundas que sejam, ocorrerão apenas com o modelo computacional e, não com o sistema real.

A simulação é uma ferramenta de análise disponível para os responsáveis por projetos e operação de sistemas complexos de manufatura. Com o aumento da concorrência no mercado à simulação tornou-se uma ferramenta poderosa para o planejamento, projeto e controle de sistemas. Atualmente ela não é considerada o último recurso e sim um método para a solução de problemas para engenheiros, projetistas e gerentes (PEGDEN; SHANNON; SADOWSKI, 1995).

1.2 PROBLEMAS E PREMISAS

A etapa de montagem das placas de circuito impresso inicia-se com o *setup* da linha de montagem SMT (Linha Um). Nesta etapa os operadores de máquina carregam o programa com o perfil de temperatura do produto a ser soldado no forno de refusão. Em seguida carregam o programa do produto a ser montado nas duas máquinas *pick and place* e alimentam os *trolley* com os rolos e/ou barretes de componentes, respeitando a sequência correta de montagem de cada máquina.

Posteriormente efetua-se a conferência e registro do *setup* dos *trolley* com o *setup* das máquinas. Após estes procedimentos o operador de máquina faz o *setup* dos *conveyor* e, por último da máquina Printer. Esta máquina tem a função de depositar a pasta de solda no painel. Este deve ser o último passo do processo de *setup*, pois, a pasta de solda tem uma composição volátil e, perde a sua eficiência ao ficar muito tempo esperando processamento (estoque).

Com o *setup* pronto e conferido, inicia-se a produção do lote (cerca de cinco mil peças em média). Primeiro é montado um painel para inspeção e a devida liberação da linha de montagem. Esta ação é necessária para corrigir o *setup* de alguma máquina para evitar montagem de peças com defeito. Após a liberação do lote de produção é dado o “*start*” e, o lote é produzido sequencialmente. Para o produto usado como exemplo, em média é montado uma PCI a cada dezesseis segundos (16”).

Os problemas nesta etapa de manufatura consistem em:

- a) Aumento da carga de mão de obra alocada. São necessários dois operadores, um fixo para retirar as PCI's do *conveyor* instalado após o forno de refusão e armazena-los no magazine e, outro para operar e abastecer a linha.
- b) Formação de estoque (fila de PCI's) dentro da célula de montagem. Este estoque pode ser considerado também como um problema de qualidade, pois o FIFO (*First In First Out*) não é respeitado e, normalmente as PCI's acabam permanecendo muito tempo aguardando processamento. Este tempo em que as PCI's ficam paradas causa a deterioração da camada de verniz OSP, causando problemas de solda fria nos processos posteriores devido à oxidação dos *pads* de solda.
- c) Posicionar as PCI's no *conveyor* da máquina de inspeção óptica para efetuar a inspeção. Esta etapa demanda mão de obra adicional de mais um colaborador para auxiliar o operador de máquina no abastecimento do *conveyor* da máquina. Após o teste o operador deve colocar novamente as peças no magazine.
- d) No modelo de manufatura adotado pela empresa em estudo o leiaute não está linear, a máquina de inspeção óptica não está posicionada no final da

Linha Um e, às vezes ocorre das PCI's saírem da célula de montagem sem passar pelo processo de inspeção óptica automática.

Neste modelo de manufatura adotado pela empresa em estudo frequentemente ocorre um atraso em cascata para os processos subsequentes. Este atraso pode chegar a impactar no prazo de entrega do produto, pois, após o processo de soldagem, as PCI's ficam armazenadas nos magazines aguardando de um a dois dias a disponibilidade de horário de máquina para o processo de inspeção óptica automática, para então, serem liberadas para o processo seguinte.

Nesta etapa a linha de montagem SMT se torna um gargalo, mesmo tendo disponíveis máquinas que possuem uma capacidade de assentar dezenas de milhares de componentes por hora, a linha acaba atrasando as entregas para a etapa seguinte.

Considerando-se o exposto acima, elaborou-se o seguinte problema a ser solucionado pelo presente estudo de pesquisa:

- **Desenvolver um estudo de Simulação computacional buscando a integração do processo de refusão da pasta de solda com o processo de inspeção óptica automática?**

Uma alternativa para esta questão é a utilização da modelagem e simulação de sistemas com o software Arena, pois, com a utilização do mesmo pode-se efetuar as simulações necessárias para elaborar o projeto de automação da linha SMT.

1.3 OBJETIVOS

De maneira geral, os procedimentos a serem adotados neste trabalho de conclusão de curso serão listados na forma de objetivos geral e específicos, como seguem.

1.3.1 Objetivo Geral

Simular a interligação dos processos refusão da pasta de solda e de inspeção óptica automática.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar ferramentas de modelagem de sistemas de manufatura;
- Elaborar um modelo do sistema de manufatura SMT atual utilizando ferramentas de simulação;
- Elaborar estudo de tempos de processo da linha de montagem SMT, com objetivo de coletar dados para a simulação;
- Elaborar um estudo estatístico sobre os dados coletados, verificando a sua validade;
- Pesquisar sobre o número de amostras para validação da simulação;
- Pesquisar as etapas que formam o estoque intermediário na linha de montagem SMT através de simulação;
- Elaborar um modelo do sistema de manufatura SMT com as propostas de melhoria;
- Documentar a pesquisa, e;
- Elaborar o texto do Trabalho de Conclusão de Curso – TCC.

1.4 JUSTIFICATIVA

Em linhas de montagem SMT há vários níveis de automação possíveis para montar os componentes eletrônicos na placa de circuito impresso. Estes níveis de automação crescem praticamente junto com o poder econômico da empresa, devido ao custo dos equipamentos (ALTRADE, 2014). Porém, a filosofia de aquisição de equipamentos à medida que a empresa cresce gera problemas de quebra de fluxo, deixando o processo de montagem SMT misto, com partes automatizadas e outras partes manuais.

O projeto de automação da linha SMT, objeto deste TCC, fará parte de um processo automático mais amplo, para a célula de manufatura SMT.

A simulação do processo SMT em ambiente controlado visa facilitar o entendimento das etapas do processo de montagem SMT e, definir qual método será mais eficaz para a automação entre os postos de refusão de solda e o de inspeção automática.

Para o desenvolvimento deste projeto de automação do processo de montagem serão empregados métodos de cronoanálise e de modelagem. Com o emprego destes métodos o projeto terá fundamento para garantir que o resultado das simulações seja condizente com a realidade do processo instalado.

A vantagem da utilização de modelagem e simulação do processo de montagem SMT via software é que, o sistema real pode ser estudado, adequado e há diversas soluções (ferramental), que neste momento ainda não foram adquiridas pela empresa. Neste caso a empresa pode ganhar tempo de *setup*, pois ao simular todas as possíveis soluções o sistema poderá ser adquirido e implantado. Este método tem a função de minimizar as falhas de projeto.

A redução nos custos com pessoal ocorrerá dentro do processo de montagem proposto, pois ao final deste estudo haverá somente a necessidade de dois operadores de máquina para chegar com o produto ao final do processo de montagem SMT. No processo atual são necessários quatro operadores de máquina para que o produto chegue ao final do processo SMT. Outra vantagem para esta automação é a eliminação do estoque de PCI's semiprocessadas, formado entre estas duas etapas da montagem e, a diminuição do tempo de montagem da linha de montagem SMT.

Por outro lado, o emprego de máquinas e dispositivos automáticos em postos de trabalho manuais gera uma preocupação com os custos de investimento. Contudo sistemas de manufatura SMT automatizados proporcionam ganhos significativos de produtividade e, de qualidade dos produtos montados, justificando assim o projeto de automação da linha de montagem SMT.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme Gil (2002) para atingir os objetivos pretendidos com a investigação, são necessários alguns passos: formulação do problema; definição das hipóteses; definição do tipo de pesquisa; coleta de dados; análise dos resultados; revisão final e redação.

Para alcançar os objetivos pretendidos com a investigação, é necessário classificar a pesquisa de acordo com as abordagens quantitativa ou qualitativa.

Segundo Silva e Menezes (2005) a pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas (percentagem, média, moda, mediana, desvio-padrão, coeficiente de correlação, análise de regressão, etc.).

A pesquisa qualitativa considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. É descritiva. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem (SILVA e MENEZES 2005)

Para Yin (2001) existem quatro propósitos básicos para a investigação e que estes podem nortear a escolha do método de pesquisa a ser utilizado:

- Exploratório, visa investigar fenômenos pouco compreendidos;
- Descritivo, tem objetivo de documentar um fenômeno de interesse;
- Explanatório, visa explicar as forças que causam o fenômeno; e,
- Preditivo, visa prever os eventos e comportamentos resultantes de um fenômeno.

Desta forma pode-se afirmar que a pesquisa que será elaborada dentro da empresa em estudo terá uma abordagem exploratória quantitativa, caracterizada pelo emprego de instrumentos estatísticos, utilizando recursos do próprio software Arena, na aquisição e no tratamento dos dados obtidos na cronoanálise.

O método a ser empregado no desenvolvimento da pesquisa pode ser dividido em duas etapas, teórica e prática.

Na etapa teórica, serão realizadas pesquisas sobre modelagem de sistemas em literatura técnica específica e, websites relacionados com a eletrônica, focando a área de montagem SMT, e estatística, focado no dimensionamento de amostras e sua validação. Ainda como aspecto teórico será pesquisado a modelagem de sistemas de produção focando as linhas de montagem SMT. A etapa prática consiste em coletar os tempos de montagem dos produtos considerados críticos dentro do sistema de manufatura atual e, na elaboração do sistema de manufatura dentro do ambiente do software Arena.

As etapas do desenvolvimento têm o objetivo de fundamentar o trabalho nos conceitos de Modelagem e Simulação de Sistemas Discretos, apresentar o estado

da arte do tema proposto para o TCC, registrar o comportamento da linha de montagem SMT nas situações do cotidiano e, descrever as técnicas utilizadas na simulação em software. As etapas a serem seguidas são:

- a) Realizar a tomada de tempo (cronoanálise) dos postos de montagem para adquirir dados de entrada para o software de simulação;
- b) Analisar estatisticamente os dados coletados;
- c) Realizar a modelagem do sistema dentro do software de simulação Arena;
- d) Realizar pesquisa junto aos fornecedores de equipamentos para mensurar os custos envolvidos e, quais soluções podem ser empregadas;
- e) No ambiente do software Arena, definir o modelo do processo de montagem proposto, contendo os equipamentos da proposta;
- f) Comparar os resultados da linha de montagem atual e da linha de montagem com os processos de refusão de solda e inspeção integrados; e,
- g) Documentar o projeto.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Prevê-se a seguinte estrutura para a elaboração dessa pesquisa:

- Capítulo 1: Introdução, tema, delimitação do tema, problema, premissas, objetivos (geral e específicos), justificativa, procedimentos metodológicos;
- Capítulo 2: Revisão de literatura: pesquisas, estado da arte, conceitos e definições;
- Capítulo 3: Cronoanálise dos tempos da linha de montagem SMT; Modelagem e simulação do sistema de manufatura SMT, simulação e testes do modelo virtual;
- Capítulo 4: Considerações finais;
- Referências; e,
- Apêndices:
 - ✓ Apêndice A: Apresenta-se o Modelo auxiliar, elaborado conforme leiaute existente na empresa Quantum;
 - ✓ Apêndice B: Apresenta-se o Modelo de simulação realizado no software Arena com proposta de inclusão das novas máquinas.
 - ✓ Apêndice C: Apresenta-se o Modelo elaborado conforme a proposta de leiaute do processo SMT na empresa Quantum, empregando novas máquinas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE MANUFATURA

2.1.1 Simulação

Segundo Pegden (1991 *apud* Freitas Filho, 2008, p. 22), “simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. Este conceito mostra a necessidade de utilização de um computador e um programa computacional para análise dos dados existentes em um sistema real visando o seu completo entendimento e, a construção de modelos que possam oferecer novos meios de operação.

2.1.2 Características de Simulação

Após a criação de um modelo de simulação e sua posterior interpretação dos dados obtidos, duas coisas podem ser observadas. Primeiramente, a coerência das informações em comparação ao sistema real utilizado como referência e/ou a coerência das informações com sistemas passíveis de serem realizados. Em segundo plano, a incoerência destas informações com o modelo proposto. Estes extremos apresentam respectivamente as vantagens e desvantagens da simulação.

Inicialmente, considerando-se a coerência dos dados, serão analisadas as vantagens da simulação. Segundo Freitas Filho (2008) um modelo de simulação pode apresentar de forma eficaz o comportamento de um sistema real mesmo utilizando um modelo simplificado deste sistema. Além disso, enquanto um sistema analítico, que demandaria grande conhecimento matemático além de um dispendioso trabalho de simplificação para torná-lo tratável, um modelo de simulação simples pode substituir este esforço de forma eficaz. Um modelo de simulação complexo pode ser detalhado e simulado oferecendo uma resposta superior a um modelo analítico, visto a utilização de programação computacional para encontrar uma resposta que, desde que o modelo tenha sido corretamente utilizado, deve oferecer menor possibilidade de erro. A identificação de gargalos, assim como a compreensão das variáveis, é outra grande vantagem da simulação.

Freitas Filho (2008) cita algumas desvantagens da simulação. A experiência do profissional na construção do modelo é importante, já que agrega conhecimento em modelagem e também no sistema real. No caso em que um profissional não conheça o sistema a ser modelado e que construa um sistema com muitas variáveis, a interpretação dos resultados obtidos pode ter difícil interpretação, sendo outra desvantagem apontada. Esta incoerência nos dados pode levar a empresa a ter uma concepção equivocada do sistema.

2.1.3 Modelos de Simulação Computacional

Chwif e Medina (2007) classificam a simulação computacional em três categorias básicas: simulação de “Monte Carlo”, simulação contínua e, simulação de eventos discretos. Eles descrevem a simulação de Monte Carlo como uma simulação que se utiliza de números aleatórios não considerando o tempo como uma variável.

Considerando o tempo como uma variável do sistema, as simulações contínuas e a eventos discretos levam em consideração a mudança de estado. Sendo a primeira uma simulação que, como o próprio nome diz, modifica o estado do objeto continuamente no tempo, e o segundo com o objeto modificando seu estado em momentos discretos no tempo, de acordo com os eventos do sistema modelado (CHWIF e MEDINA, 2007).

A modelagem utilizada neste trabalho é a modelagem a eventos discretos. Modelo este que segundo Banks (1998) deve representar os componentes de um sistema e suas interações de tal forma que os objetivos do estudo sejam atendidos. Para tanto, deve-se observar os momentos em que o estado do modelo representado sofre alteração. Em outras palavras, o sistema é modelado como uma série de eventos no tempo (ROBINSON, 2004).

2.1.4 Métodos de Simulação

Existindo um problema, deseja-se resolvê-lo de forma rápida, eficaz e menos onerosa possível. A simulação pode trazer os benefícios já apresentados acima para atender estes requisitos, mas deve-se ter cuidado para que não se encontrem dados incoerentes como uma resposta do sistema modelado. Com o intuito de minimizar a

possibilidade de que seja encontrado um resultado não satisfatório, ou pior, um resultado que aparentemente esteja correto e que leve a implementação de um sistema ineficaz e que traga prejuízos financeiro e/ou de tempo para os envolvidos com o problema, deve-se planejar todo o processo de modelagem do sistema.

Chwif e Medina (2007) segmentam o processo de desenvolvimento de um modelo de simulação em três etapas. A primeira é denominada Concepção ou formulação do modelo. Nesta etapa, o conhecimento do problema, assim como o resultado almejado deve ser conhecido. A partir deste ponto, devem-se decidir as hipóteses e o nível de detalhamento a ser adotado, bem como quais dados são relevantes para a correta construção do modelo e, de como será efetuada esta coleta. Um cuidado especial deve ser tomado para que o modelo conceitual possa ser entendível a todos os envolvidos no processo. Neste trabalho problema é **“Desenvolver um estudo de Simulação computacional buscando a integração do processo de refusão da pasta de solda com o processo de inspeção óptica automática?”** e o resultado almejado é, dentre outros, uma linha simulada sem filas de espera.

A segunda etapa transforma o modelo conceitual em um modelo computacional. Esta transformação deve levar em consideração todas as características e dados existentes no modelo e também, as possibilidades das linguagens de programação. Até a década de oitenta (80), linguagens de programação como a linguagem C era utilizada para este fim, mas a necessidade de implementação por linhas de código de todas as rotinas estatísticas agregavam tempo e esforço por parte do programador que, passava mais tempo implementando estas rotinas do que efetivamente simulando o sistema. Com a chegada de softwares de simulação este tempo desperdiçado com estas rotinas deram ao programador maior liberdade para simular ambientes diversos e rodar o programa mais vezes e, chegar a conclusões mais acertadas do que se ele tivesse implementado as rotinas, já que a programação delas poderia desconsiderar pontos importantes da simulação. Este trabalho utilizará o Software Arena para construção dos modelos de linha atual e o planejado para a correção dos problemas citados.

Na terceira etapa, Análise dos resultados do modelo, os dados encontrados na simulação são confrontados com os dados reais ou valores desejados afim da aprovação ou não do modelo. Nesta etapa, verifica-se a aprovação do modelo ou a

necessidade de que o modelo rode mais algumas vezes no simulador, com ou sem alterações significativas, para corroborar o sistema adotado.

A Figura 5, apresentada na página 33, representa graficamente as etapas anteriormente citadas.

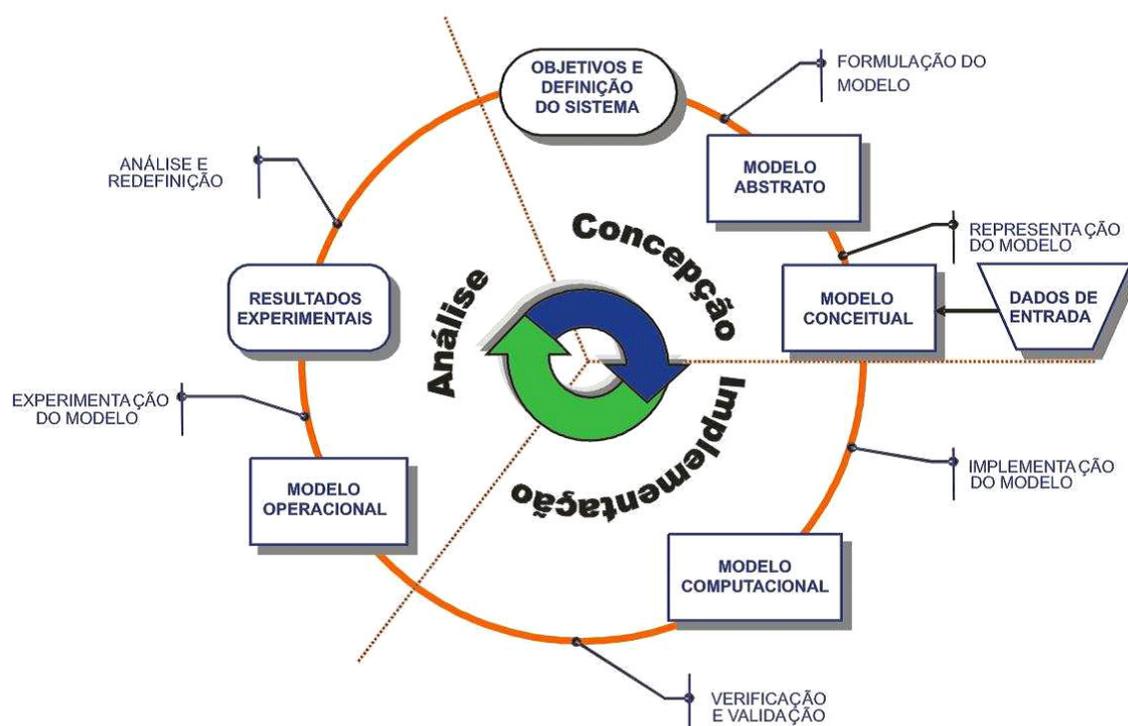


Figura 5 – Etapas de Modelagem e Simulação

Fonte: Chwif e Medina (2007).

2.1.5 Terminologia Básica Utilizada em Modelagem e Simulação

Freitas Filho (2008) segmenta a terminologia básica utilizada em modelagem e simulação em sete partes: Variáveis de Estado, Eventos, Entidades e Atributos, Recursos e Filas de Recursos, Atividades e Períodos de Espera.

As variáveis de estado descrevem o estado de um sistema ou de um dos seus componentes, quer no início de um determinado período de tempo, quer no seu término, ou ainda durante o decorrer de certo período.

Outro ponto relevante a considerar em simulação é a ordem de ocorrência dos eventos. Considera-se como evento (mudança de estado) qualquer

acontecimento que interfere no sistema. Como a simulação trata do comportamento de sistemas, ou seja, a ordem em que os eventos acontecem, é essencial que uma variável de tempo seja contabilizada. O tempo em que cada evento ocorre é estudado para avaliar se este evento deveria ocorrer naquele instante, antes ou depois. Ou seja, na existência de um evento, existe uma alteração em pelo menos uma variável de estado.

Segundo Freitas Filho (2008), em modelagem e simulação, “uma entidade representa um objeto que necessita de uma clara e explícita definição”, ou seja, ela é um objeto real ou abstrato que possui existência independente. A entidade pode ser estática, por exemplo um robô, ou dinâmica, como exemplo uma peça. Quando as entidades possuem características próprias, são denominados atributos.

Sendo a entidade estática provedora de serviços a entidades dinâmicas, dá-se o nome de recurso. Este recurso pode oferecer serviços a uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo. Quando uma entidade dinâmica puder cuidar de apenas um recurso por vez, na possibilidade da chegada de vários recursos, cria-se então uma fila denominada fila de recursos. O tratamento mais comum em filas de recursos é o FIFO (FREITAS FILHO, 2008). Um recurso pode ter vários estados definidos, tais como bloqueado, falhado, indisponível. Neste trabalho os estados são: ocupado e livre.

Ainda segundo Freitas Filho (2008), quando um serviço, no caso de uma simulação, for iniciado e o tempo de processamento for determinado, chama-se de atividade. Quando o tempo não puder ser estimado, caso de variáveis aleatórias, chama-se períodos de espera.

2.2 MODELAGEM DOS DADOS

A primeira etapa do desenvolvimento de um modelo de simulação, necessita que dados do sistema sejam adequadamente escolhidos para uma correta simulação. Para garantir isto, o estudo de modelagem dos dados deve levar em consideração não somente a coleta dos dados, onde uma amostra representa o comportamento de uma população no estudo estatístico, mas também o tratamento dos dados, buscando o entendimento do seu comportamento e, da inferência dos dados, quando a amostra representa efetivamente o comportamento da população e é incorporado ao modelo simulado (CHWIF E MEDINA, 2007).

2.2.1 Análise e Tratamento de Dados

Como um modelo que representa um sistema deve se comportar de forma semelhante ao sistema real, permitindo a experimentação e facilitando a interpretação de dados, os modelos voltados à simulação se utilizam de distribuições de probabilidade como forma de representar a multiplicidade de ocorrências de eventos aleatórios.

Uma distribuição teórica de probabilidades deve se aproximar do comportamento aleatório de uma variável do sistema. Para garantir isso, o processo de amostragem e coleta dos dados devem ser verificados, assim como o tratamento dos dados, a identificação da distribuição de probabilidade, a estimação dos parâmetros da distribuição deve ser identificada e, os testes de aderência devem ser realizados.

2.2.2 Processo de Amostragem e Coleta dos Dados

O processo de amostragem e coleta dos dados normalmente é o passo inicial no processo de simulação de um sistema. Nesta etapa um cuidado especial deve ser destinado para a análise de que dados são relevantes para o sistema, de como serão coletados e, se estão disponíveis. Como a simulação é uma ferramenta de avaliação, as informações de saída do sistema simulado serão coerentes com o sistema estudado apenas se a metodologia aplicada na coleta for condizente com as necessidades do modelo proposto.

A coleta dos dados pode ser de fácil ou de difícil determinação, já que nem sempre o sistema a ser modelado possui processos bem definidos ou sequer o sistema exista fisicamente. Deve-se tomar cuidado especial para não confundir dados de entrada com dados de saída do sistema, onde o primeiro se refere aos dados implementados no modelo de simulação e o segundo é a sua resposta. Os dados de entrada podem sofrer em um experimento planejado, variações propositalmente para que se observe os dados da saída do sistema a ser modelado (MONTGOMERY, 2009).

De acordo com levantamento de Pegden (1991 *apud* Freitas Filho, 2008, p.157), as fontes de dados podem ser:

- Arquivos históricos do sistema;

- Provenientes de observações do sistema em estudo;
- Oriundos de sistemas similares;
- Determinados com base em estimativas de operadores;
- Obtidos com base em afirmações de vendedores de máquinas, equipamentos, etc.;
- Estimativas de projetistas de sistemas; e,
- Considerações teóricas sobre o sistema.

Neste estudo optou-se por utilizar arquivos históricos da linha de montagem SMT, os mesmos têm a função de elucidar os volumes de produção semanal dos produtos em estudo. Quanto aos tempos de montagem das máquinas, foi utilizado o método de observação, adotando planilhas para coletas dos tempos. Nesta etapa os tempos das máquinas foram coletados de forma a não prejudicar o funcionamento da linha de montagem, ou seja, foram coletados no cotidiano do setor SMT.

Para a elaboração do projeto no simulador, foram utilizadas informações de fornecedores de máquinas e equipamentos relacionados com a linha de montagem SMT, para determinar os tempos de processo de novos equipamentos se necessário.

Os tempos de transportes manuais e retrabalhos foram determinados com base em estimativas dos operadores.

2.2.3 Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados busca através de ferramentas estatísticas mostrar informações a respeito dos dados coletados. O software Arena, assim como outros softwares de simulação, utiliza ferramentas estatísticas para facilitar a aquisição destas informações. Podem-se conhecer valores como média, mediana, moda, variância, dentre outras medidas com este software.

Segundo Montgomery (2009) a apresentação dos dados é essencial ao bom julgamento estatístico, pois permite o correto enfoque sobre o modelo do sistema. Quatro modelos de representação de dados são comuns em estatística, são eles:

Diagramas de Ramo e Folhas; Distribuições de Frequência e Histogramas; Diagrama de Caixa; Gráficos Sequenciais de Tempo.

O Diagrama de Caixa é uma boa representação para pequenas amostras como, por exemplo, vinte observações, se tornando pouco prático para amostras maiores (MONTGOMERY, 2009).

Uma Distribuição de Frequência possui vantagens na organização dos dados em relação ao Diagrama de Caixa quando o número de amostras se torna elevado. Esta distribuição é um sumário compacto, construído a partir da divisão da faixa de dados em intervalos, chamados intervalos de classe e, devem preferencialmente ter a mesma largura, buscando aumentar a comunicação visual na distribuição de frequências. Segundo Montgomery (2009), o número de observações, assim como a dispersão dos dados devem ser levados em conta para a definição do número de intervalos de classe, sendo que na prática o número de intervalos de classe utilizado é aproximadamente o valor da raiz quadrada do número de amostras.

A utilização da distribuição de frequência na forma gráfica é chamada Histograma, sendo estes mais fáceis de interpretar quando os intervalos possuem a mesma largura. Segundo Montgomery (2009), esta forma de representação gráfica fornece uma impressão visual da forma da distribuição das medidas e da dispersão dos dados quando o número de amostras é o adequado. A distribuição de Frequências e Histogramas serão utilizados na presente modelagem.

O Diagrama de Caixa apresenta simultaneamente várias características importantes de um conjunto de dados, tais como centro, dispersão, desvio da simetria. Apresenta também um conjunto de valores que não possuem uma ligação direta com a maioria dos dados encontrados, sendo resultado de um erro de apuração ou de algum problema no sistema que não foi considerado no momento da coleta de dados. Estes valores são chamados “*Outliers*” (Montgomery, 2009).

Os Gráficos Sequenciais de Tempo são gráficos que apresentam os dados conforme são realizadas as observações das amostras.

Como os tamanhos das amostras dos tempos da linha de montagem não foram dimensionados previamente, visto que não se pôde interferir no funcionamento da linha, testes foram realizados para verificar se as amostras possuíam o tamanho suficiente.

Segundo Fonseca (1996) limitações de tempo e de custo são justificativas para a utilização de amostras ao invés de se utilizar todos os elementos da

população. A representatividade da amostra depende também do tamanho da amostra, ou seja, quanto maior melhor (FONSECA, 1996). Por esta razão optou-se por colher o máximo possível de dados da linha durante montagem dos painéis e posteriormente verificar a suficiência ou não das amostras coletadas.

Dois pontos são importantes na teoria de amostragem, o dimensionamento da amostra e a composição da amostra.

2.2.3.1 Dimensionamento da amostra

Depois de definidos os objetivos e a metodologia é necessário dimensionar, em nosso estudo verificar, o tamanho da amostra. O tamanho da amostra é chamado de n e o tamanho da população de N .

Para o correto dimensionamento deve-se verificar se a população é infinita, finita sem reposição (FONSECA, 1996). Como nosso estudo é em uma linha em que os painéis produzidos não serão inseridos no início do processo novamente e a produção do número de painéis é previamente conhecido, a população utilizada é finita e sem reposição.

Nesse caso a determinação do número de amostras necessárias se dará pela utilização da equação a seguir:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad (1)$$

Onde:

- Z : Abcissa da curva normal padrão, fixado em um nível de confiança de 90%, 95% e 99%;
- σ : Desvio padrão da população (ou amostra), expresso na unidade variável;
- N : Tamanho da população;
- d : Erro amostral, expresso na unidade da variável. O erro amostral é a máxima diferença que o investigador admite suportar entre a média da população e a média da amostra.

Segundo Levine (2013), o erro amostral não é desejado, já que ele preferencialmente não deve existir. Porém, quando uma amostra de uma população

é retirada, ele existe e deve ser o menor possível para que não ocorram mudanças significativas no objeto em estudo.

Desta forma, nesse trabalho o erro considerado admissível será de 2 segundos para mais e para menos em relação à média aritmética dos tempos nas famílias 1 e 2, e de 0,1 segundo para as máquinas.

Os três itens relevantes para o levantamento do número de amostras em um estudo são o nível de confiança desejado, o erro de amostragem aceitável e o desvio padrão (LEVINE, 2013).

2.2.4 Distribuições Estatísticas

Após a criação do histograma conforme descrito anteriormente, verifica-se se ele possui características comuns a alguma distribuição estatística já conhecida. Nesse ponto deve-se buscar qual distribuição se adequa ao modelo, ou eventualmente quais distribuições se adequam ao modelo e, definir seus parâmetros. Algumas distribuições são comuns em modelagem e simulação, tais como: Binomial, Poisson, Beta, Erlang, Exponencial, Gama, Lognormal, Normal, Uniforme, Triangular e Weibull (CHWIF E MEDINA, 2007).

A distribuição Binomial (eq. 2) modela o número de sucessos em um conjunto de n tentativas, por exemplo: o número de itens dentro de uma ordem de serviço, o número de defeitos em um lote. Na distribuição Binomial o parâmetro p é a probabilidade de sucesso e n é o número de tentativas. O domínio desta distribuição discreta é $x=0, 1, 2, 3, \dots, n$. A função probabilidade é dada por:

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad (2)$$

Para $0 < x \leq n$.

A média é dada por: $\mu = n * p$

A Variância é dada por: $\sigma^2 = n * p(1 - p)$

A Figura 6 apresenta uma distribuição discreta Binomial.

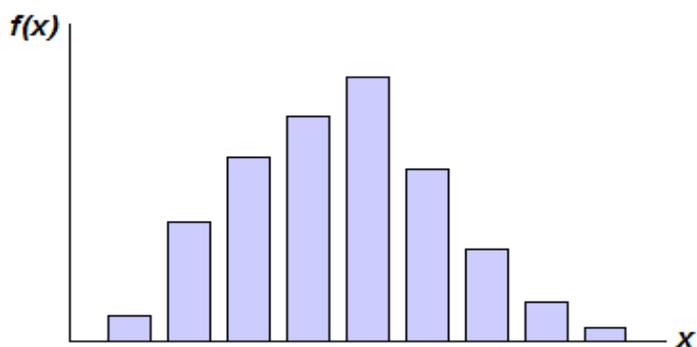


Figura 6 – Distribuição Binomial

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição de Poisson (eq. 3) modela o número de eventos independentes que ocorrem em um intervalo de tempo fixo, por exemplo, o número de gols que ocorre em uma partida de futebol. Se o número de eventos que ocorrem em um intervalo de tempo fixo é um processo de Poisson, então o tempo entre ocorrências sucessivas destes eventos é exponencialmente distribuído. O fator λ representa a média dos números positivos reais.

A função probabilidade é dada por:

$$f(x) = e^{-\lambda} \lambda^x / x! , \text{ para } x \geq 0, \quad (3)$$

A média é dada por: $\mu = \lambda$

A Variância é dada por: $\sigma^2 = \lambda$

O gráfico da Figura 7 apresenta um exemplo de uma distribuição discreta de Poisson.

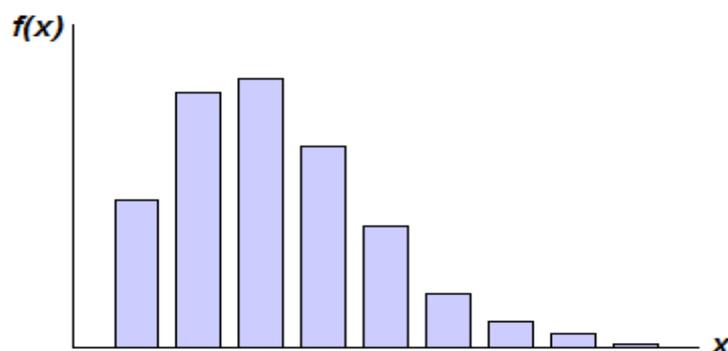


Figura 7 – Distribuição Poisson

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Beta (eq. 4) modela os tempos de conclusão de atividades em redes de planejamento. Devido à sua flexibilidade, é muito utilizada quando não se dispõem de dados reais coletados. Os parâmetros são de forma β e α .

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = (x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1})/(B(\beta,\alpha)) \quad (4)$$

Para $0 < x < 1$, onde B é a função beta e:

$$f(x) = 0, \text{ para } x \geq 1$$

A média é dada por:

$$\beta / (\alpha + \beta)$$

A Variância é dada por:

$$\alpha\beta / ((\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta + 1))$$

O gráfico da Figura 8 apresenta um exemplo de distribuição Beta.

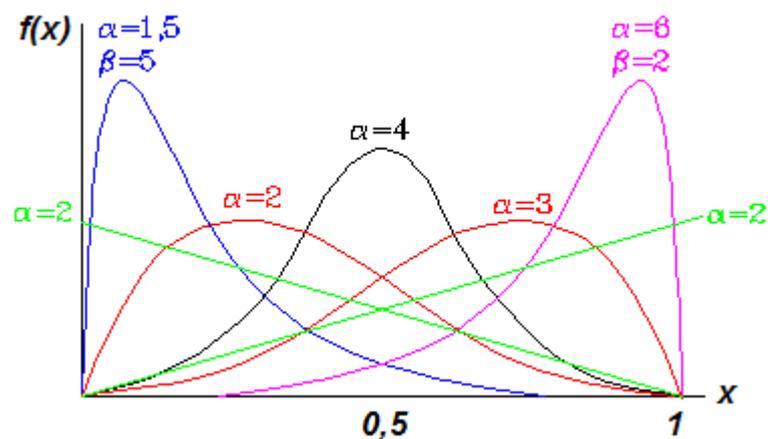


Figura 8 – Distribuição Beta

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Erlang (eq. 5) modela processos compostos por fases sucessivas nas quais cada fase tem uma distribuição exponencial. Teoria das Filas. Os parâmetros são λ (taxa de ocorrências) e k (parâmetro de forma).

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = [\lambda(\lambda x)^{k-1}e^{-\lambda x}]/(k-1)! \quad (5)$$

Para $x \geq 0$, e:

$$f(x) = 0, \text{ caso contrário.}$$

A média é dada por: k/λ

A Variância é dada por: k/λ^2

O gráfico da Figura 9 apresenta um exemplo de distribuição Erlang.

A distribuição Exponencial (eq. 6) modela os tempos entre ocorrências sucessivas de eventos ou a duração do evento, por exemplo: chegadas sucessivas de clientes em um banco, tempo entre gols sucessivos em uma partida de futebol. Se o tempo entre ocorrências sucessivas de um evento é exponencialmente distribuído, então o número de eventos que ocorrem em um certo intervalo de tempo é um processo de Poisson. O parâmetro λ é a taxa de ocorrências nesta distribuição.

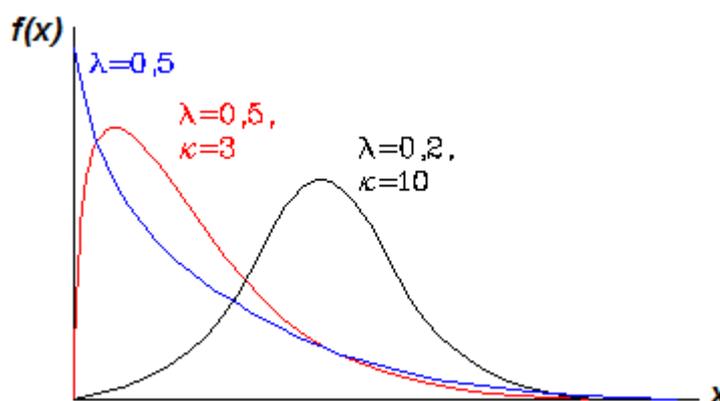


Figura 9 – Distribuição Erlang

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = e^{-\lambda x} \quad (6)$$

Para $x \geq 0$, e:

$f(x) = 0$, caso contrário.

A média é dada por: $1/\lambda$

A Variância é dada por: $1/\lambda^2$

O gráfico da Figura 10 apresenta um exemplo de distribuição Exponencial.

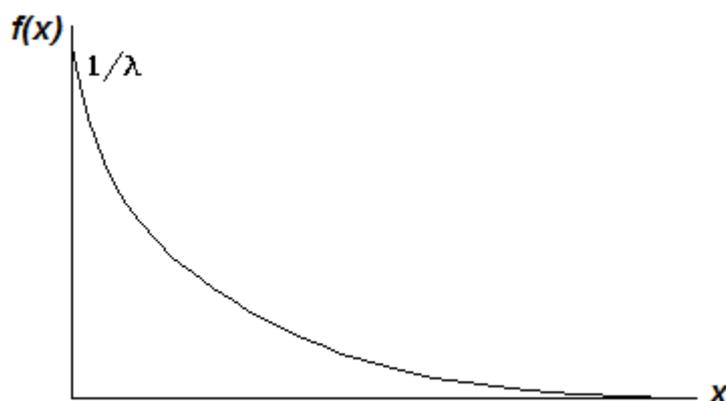


Figura 10 – Distribuição Exponencial

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Gama (eq. 7), devido à sua flexibilidade, modela os tempos entre ocorrências sucessivas de eventos, duração de eventos, tempo entre falhas sucessivas. O parâmetro de forma é representado por α e o parâmetro de escala é representado por β .

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = [\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}] / \Gamma(\alpha) \quad (7)$$

Para $x > 0$, e:

$f(x) = 0$, caso contrário.

A média é dada por: $1/\lambda$

A Variância é dada por: $1/\lambda^2$

Onde $\Gamma(\alpha)$ é a função gama completa: $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$

O gráfico da Figura 11 apresenta um exemplo de distribuição Gama.



Figura 11 – Distribuição Gama

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Lognormal (eq. 8) modela situações em que a distribuição do processo envolvido pode ser considerada como a multiplicação de um conjunto de processos componentes. Se uma variável aleatória X tem distribuição lognormal com parâmetros μ (parâmetro de escala ou posição) e desvio padrão σ (parâmetro de forma ou de dispersão), então $\ln(X)$ tem uma distribuição normal com média μ e desvio padrão σ . Note que μ e σ não são a média e o desvio padrão de X , mas a média e o desvio padrão de $\ln(X)$. O domínio da distribuição é $0 \leq x < \infty$.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\alpha x (2\pi)^{\frac{1}{2}}} \right\} e^{-\frac{(\ln(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

Para $x > 0$, e $f(x) = 0$, caso contrário.

A média é dada por: $e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$

A Variância é dada por: $e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$

O gráfico da Figura 12 apresenta um exemplo de distribuição Lognormal.

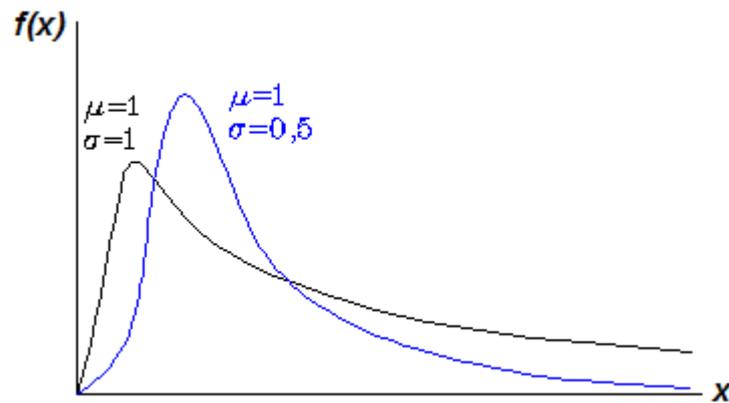


Figura 12 – Distribuição Lognormal

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Normal (eq. 9) modela situações em que a distribuição do processo envolvido pode ser considerada como a soma de um conjunto de processos componentes, por exemplo, o tempo de execução de uma operação que é a soma dos tempos de execução de etapas da operação. Os parâmetros desta distribuição são σ^2 (variância) e μ (média). O domínio da distribuição é $0 \leq x < \infty$. A Figura 13 apresenta um exemplo de distribuição normal.

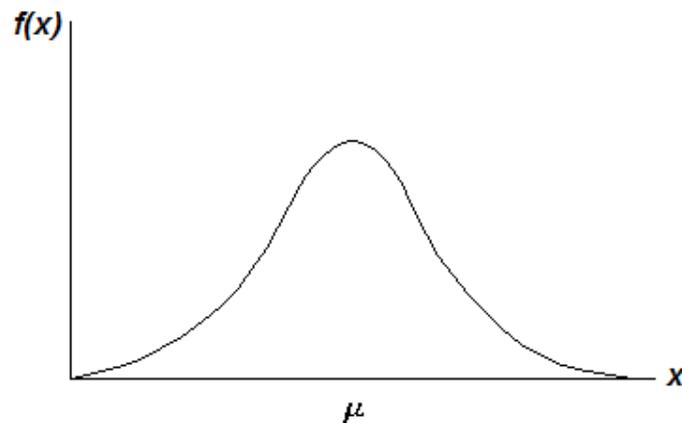


Figura 13 – Distribuição Normal

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right\} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

Para $x \in R$;

A média é dada por: μ

A Variância é dada por: σ^2

A distribuição Uniforme (eq. 10) modela processos em que todos os valores em um intervalo $[a,b]$ são igualmente prováveis de ocorrer. Utilizada em situações em não se conhece a distribuição que governa o processo. Elas têm em relação à distribuição triangular, uma variância maior. O parâmetro a indica o menor valor e o parâmetro b indica o maior valor, sendo ambos os números reais, tais que $a < b$. O domínio da função é dado por $a \leq x \leq b$. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = 1/(b - a) \quad (10)$$

Para $a \leq x \leq b$; e $f(x) = 0$, caso contrário.

A média é dada por: $(a + b)/2$

A Variância é dada por: $[(b - a)^2]/12$

A Figura 14 a seguir mostra um exemplo de distribuição Uniforme.

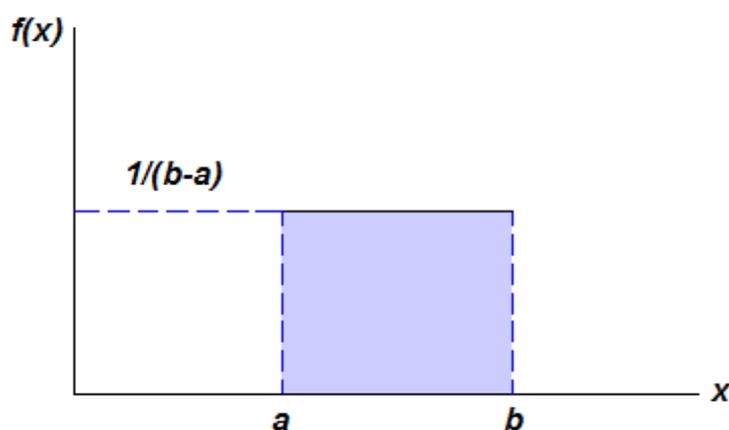


Figura 14 – Distribuição Uniforme

Fonte: Chwif e Medina (2007).

A distribuição Weibull (eq. 11) modela os tempos de vida ou falha de equipamentos. A distribuição exponencial é um caso particular da distribuição de Weibull. Onde α é o parâmetro de forma e β é o parâmetro de escala. O domínio da função é dado por $0 \leq x < \infty$.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} \quad (11)$$

Para $x > 0$; e $f(x) = 0$, caso contrário.

A média é dada por: $\beta/\alpha \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$ onde $\Gamma(\alpha)$ é a função gama completa;

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^1 t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

A Variância é dada por: $\beta^2/\alpha(2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - 1/\alpha\left(\frac{1}{\alpha}\right)^2)$

A Figura 15 mostra um exemplo de distribuição Weibull.

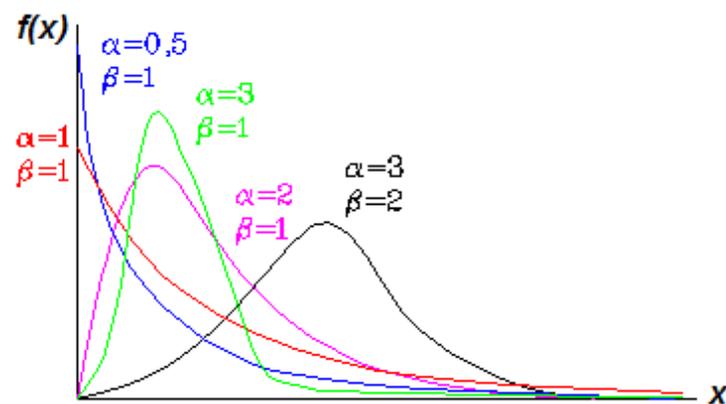


Figura 15 – Distribuição Weibull

Fonte: Chwif e Medina (2007).

2.3 MANUFATURA SMT

A sigla SMT são as iniciais em inglês das palavras “*Surface Mount Technology*”. Este termo está relacionado com a tecnologia de fabricação (máquinas e dispositivos). Pode-se ainda encontrar outras siglas tais como, SMD (*Surface Mount Device*) e SMC (*Surface Mount Component*), ambos relacionados com a forma do componente e suas aplicações respectivamente. Todos os termos abordados tem alguns pontos comuns e relacionados com a montagem de componentes em superfície (MUTCOM, 2014).

A tecnologia SMD é um dos mais significantes eventos na eletrônica desde o advento do circuito integrado. O SMD é definido como o posicionamento e fixação (soldagem) de componentes eletricamente passivos ou ativos na superfície de uma placa de circuito impresso, doravante chamada PCI ou ainda em um substrato cerâmico (SMD, 2014).

Segundo a SMD (2014) as indústrias foram pressionadas a produzir PCI's mais populosas, de tamanho reduzido (miniaturizado) e com componentes fisicamente menores, pois os projetos de manufatura de produtos eletroeletrônicos constantemente necessitam de maior eficiência, seja esta em tamanho físico ou em consumo elétrico. Condição que levou ao desenvolvimento de produtos menores.

A utilização da tecnologia SMT vem aumentando e, se tornado essencial para atender a necessidade de mercado. No início de 1970 o uso da tecnologia SMT ainda era algo inviável, devido ao alto custo das matérias primas e do maquinário envolvido na montagem.

Segundo a SMD (2014) entre 1975 e 1980, o processo de redução dos componentes começou a se difundir devido à necessidade de componentes menores com um número maior de funções. A partir deste período, a tecnologia SMT se desenvolveu e os processos de controle de ESD (*Electrostatic discharge*) surgiram, de forma a facilitar o manuseio dos componentes e materiais.

Desde a década 1980 houve um crescimento exponencial na tecnologia SMT (Figura 16), a qual ainda tem muito a ser explorada e melhorada.

Em 1984, o consumo de componentes eletrônicos era de 190 bilhões de unidades, no qual 50 bilhões eram SMD. No início da década de 90, já era entre 70 - 80%, o total produzido em SMD (SMD, 2014).



**Figura 16 – Microcomputador Sharp MZ-700 com tecnologia SMT (1982)
Fonte : Sharpmz (2014).**

Atualmente há uma gama grande de componentes SMD, dos quais podem ser citados os circuitos integrados, semicondutores discretos e componentes passivos. Com a grande disponibilidade de componentes a tecnologia se tornou um atrativo para a substituição dos componentes convencionais (THT), outro diferencial, é que devido à evolução da miniaturização de alguns componentes (Figura 17), os mesmos são somente encontrados em modelos SMD, desta forma as empresas foram forçadas a migrar para esta tecnologia (SMD, 2014).



**Figura 17 - Capacitor monolítico de cerâmica (0,25 mm x 0,125 mm)
Fonte: Murata (2014).**

2.3.1 Composição da linha de montagem SMT

Para efetuar a montagem dos componentes SMD é necessário um conjunto de máquinas, que devem ser capazes de integrar todos os processos de manufatura de uma linha de montagem SMT. Para se entender o processo da empresa em

estudo, os processos principais (Figura 18) serão apresentados em tópicos a seguir, conforme a disposição das máquinas instaladas no chão de fábrica.

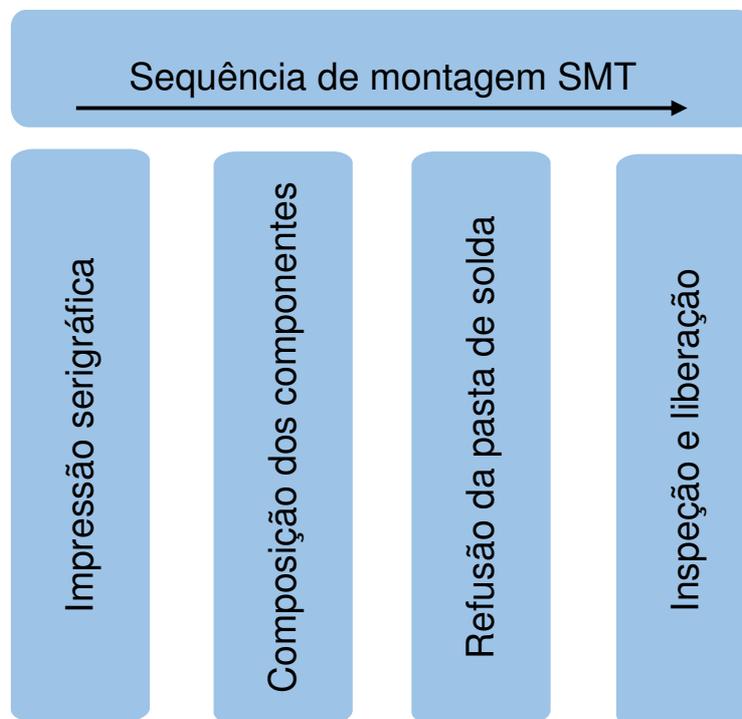


Figura 18 - Sequência de Montagem SMT

Fonte: Quantum (2014).

2.3.1.1 Impressão serigráfica

A impressão serigráfica encontra-se no início da linha de montagem SMT e, tem a função de aplicar a pasta de solda nas ilhas de solda das placas de circuitos impressos.

A aplicação é realizada através da passagem do rodo (Figura 19) pelo estêncil, aplicando pressão no mesmo, para que assim a solda passe pelas suas aberturas e fique depositada na superfície da PCI.

A pasta de solda depois de aplicada terá a função de garantir que o componente assentado no processo seguinte fique preso até a refusão da pasta de solda no forno.



Figura 19 - Aplicação da pasta de solda

Fonte: Quantum (2014).

2.3.1.2 Composição dos componentes

A aplicação dos componentes na PCI é feita de forma automática, utilizando máquinas *pick and place* (Figura 09), que por sua vez retiram os componentes das embalagens para então depositá-los na sua respectiva posição na PCI.

Devido à grande utilização de componentes passivos e a presença de componentes SMD com passo entre os terminais extremamente reduzido, a montagem manual não é viável, pois se fosse utilizada traria uma falta de confiabilidade na operação. A montagem manual deve ser utilizada preferencial na montagem de protótipos em laboratório ou em retrabalhos na linha de montagem (SMD, 2014).

No processo de manufatura SMT pode-se destacar que as máquinas de assentamento de componentes (Figura 20) são responsáveis pelo ritmo e velocidade da montagem e, seu custo para um volume médio de produção pode chegar a mais de cinquenta por cento do valor total da célula de montagem.



Figura 20 - Máquina *Pick and Place*

Fonte: Juki (2013).

Como nenhuma das máquinas *pick and place* são apontadas como ideais para todas as aplicações, é necessário que a escolha do equipamento com seus alimentadores desempenhe a função com a melhor eficiência possível (SMD, 2014).

2.3.1.3 Refusão da pasta de solda

O processo de refusão da pasta de solda consiste em transferir calor para a PCI, onde estão depositados os componentes e a pasta de solda, até a temperatura atingir a fusão da pasta para efetuar a ligação intermetálica, proporcionando desta forma a conexão eletromecânica entre os terminais dos componentes e as ilhas de contato da PCI (SMD, 2014).

Os métodos mais utilizados no processo de refusão de pasta de solda são: infravermelho, infravermelho auxiliado por convecção e convecção forçada dominante. A seguir será apresentado o método de convecção forçada dominante.

Segundo a SMD (2014) o método de transferência de calor por convecção forçada dominante é uniforme pela superfície da PCI e, seu controle é mais preciso. Para efetuar a solda corretamente é necessário seguir a curva de aquecimento

descrita no manual da pasta de solda. Desta maneira cada produto tem uma curva de aquecimento configurada no forno de refusão, pois devido ao formato distinto de cada painel de PCI's é necessária uma configuração de temperaturas nas zonas de aquecimento.

A curva de aquecimento dos componentes assentados e da pasta de solda (Figura 21) compreende o processo de soldagem da PCI. O aquecimento é iniciado com uma zona de pré-aquecimento Z1, seguida das zonas de ativação do fluxo Z2 e Z3, refusão da pasta de solda zona Z4 e, finalmente o resfriamento da PCI. As curvas demonstradas no gráfico da Figura 11 são os parâmetros configurados no forno de refusão, e podem ser descritas como:

- Azul: curva de aquecimento sugerida pelo fabricante da pasta de solda
- Amarelo: curvas de aquecimento inseridas nas zonas de temperatura do forno de refusão.
- Vermelho: Curva de aquecimento aferidas na PCI, através de equipamentos de aferição.

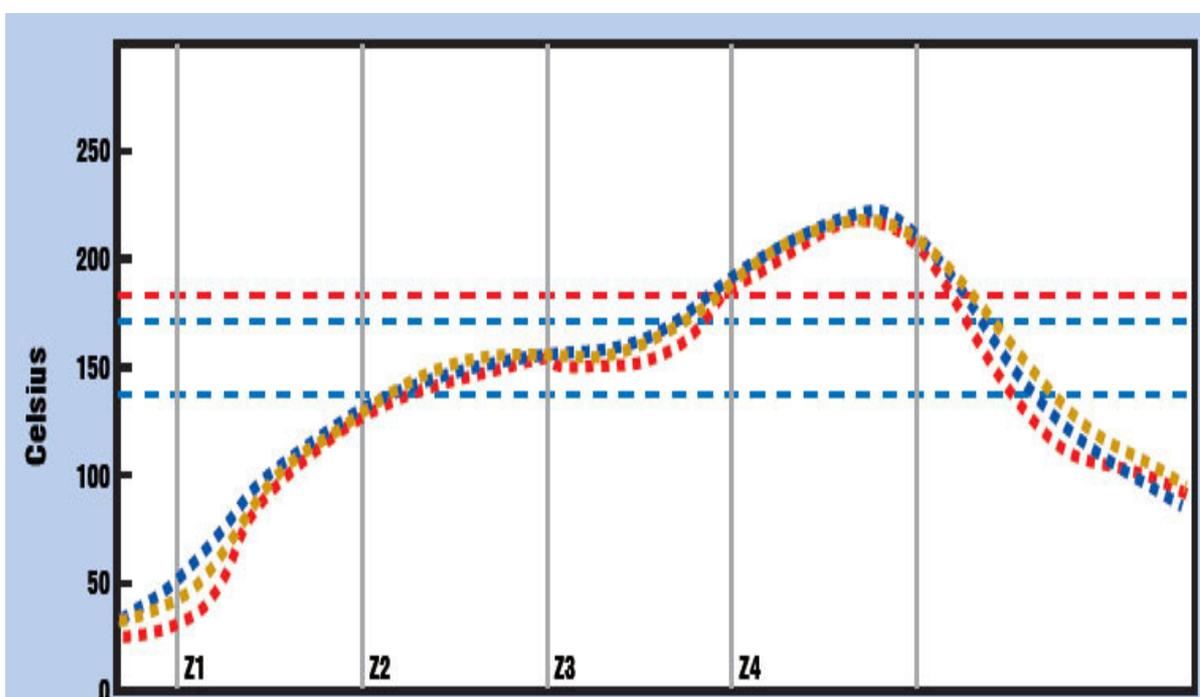


Figura 21 - Curva de aquecimento

Fonte: Quantum (2014).

A condição ideal de soldagem é quando a curva de aferição se aproxima da curva recomendada pelo fabricante do produto.

No interior do forno de refusão (Figura 22), o ar é substituído por outro gás, neste caso o nitrogênio, que tem a função de:

- Diminuir os defeitos de soldagem, tais como, pontos abertos, bolas de solda, curtos entre terminais e, desalinhamentos; e,
- Reduzir o tempo de molhagem, realizando a união intermetálica em até trinta e dois por cento mais rápidos.

Após o processo de refusão efetuado, as uniões de solda da PCI devem ser resfriadas na zona de resfriamento antes da saída do forno de refusão.



Figura 22 – Forno de refusão

Fonte: Quantum (2014).

2.3.1.4 Inspeção e liberação

Após o processo de soldagem, as PCI's devem seguir para o posto de inspeção, onde serão averiguados os critérios de qualidade. Este processo pode ser automático tipo AOI ou manual.

O processo automático consiste em inspecionar a PCI e comparar os resultados com os padrões pré-definidos na base de dados. A máquina captura

imagens dos componentes da PCI e compara com a biblioteca criada para esta família de produtos.

A máquina AOI (Figura 23) encontra erros de montagem tais como: ausência do componente, desalinhamento, curto entre os terminais, polaridade invertida e ausência de solda nas ilhas.

A inspeção manual é necessária somente quando o equipamento AOI não está disponível na célula de manufatura, ou mesmo quando existe a impossibilidade de inspeção pela máquina devido à forma geométrica do componente.

Após o processo de inspeção o produto deve ser liberado para a linha THT, para assim ser finalizada a montagem.



Figura 23 - Máquina de inspeção automática

Fonte: Quantum (2014).

2.3.1.5 Transportadores

Para que todas as etapas do processo permaneçam em sincronismo, o emprego de equipamentos auxiliares é de grande importância, pois, cada equipamento tem um ciclo definido pela operação a ser executada em seu interior. Geralmente os tempos de montagem das máquinas não coincidem, levando ao emprego de alguns dispositivos, tais como os *buffers* (Figura 24) e as esteiras transportadoras.

O correto funcionamento destes equipamentos contribui para que a PCI inicie o processo de fabricação na impressão serigráfica, passe para a aplicação dos componentes, entre no processo de soldagem e cheguem até o equipamento de inspeção sem que o operador tenha que interferir manualmente.



Figura 24 - *Buffer*, antecessor a máquina de inspeção automática
Fonte: Quantum (2014).

3 DESENVOLVIMENTO

A empresa em estudo é uma montadora de placas eletrônicas, com diversos nichos de negócios, atuando desde a elaboração do projeto até a conclusão do produto final.

O sistema de produção implantado na empresa é complexo, com diversos roteiros possíveis dependendo do produto a ser montado. A manufatura da empresa contempla os processos de montagem SMT, THT, testes elétricos, reparos, montagens mecânicas e embalagem.

A partir da metodologia apresentada por Chwif e Medina (2007) no item 2.1.4 foi desenvolvida a simulação do presente estudo.

O desenvolvimento da modelagem está dividido em três etapas:

- Concepção;
- Implementação; e,
- Análise.

3.1 CONCEPÇÃO

Segundo Chwif e Medina (2007) a concepção pode ser entendida também como a formulação do modelo. Nesta etapa o conhecimento do problema, assim como o resultado almejado deve ser conhecido. A partir deste ponto, devem-se decidir as hipóteses e o nível de detalhamento a ser adotado, bem como quais dados são relevantes para a correta construção do modelo e, de como será efetuada esta coleta.

3.1.1 Formulação do problema

Conforme abordado no capítulo 1 (introdução) a produção de placas eletrônicas apresenta grande complexidade, devido ao grande número de processos envolvidos, da demanda de mercado e dos volumes de produção.

Para identificar os problemas na linha de montagem da empresa foi elaborado um diagrama de *Ishikawa*. O diagrama permite identificar as causas e efeitos para um determinado problema, visando à sua eliminação.

Através do levantamento e indicação dos principais problemas na linha SMT elaborou-se o digrama (Figura 25). Através da indicação dos principais problemas pode-se observar que os problemas convergem para o problema de criação de um buffer na entrada da maquina AOI.

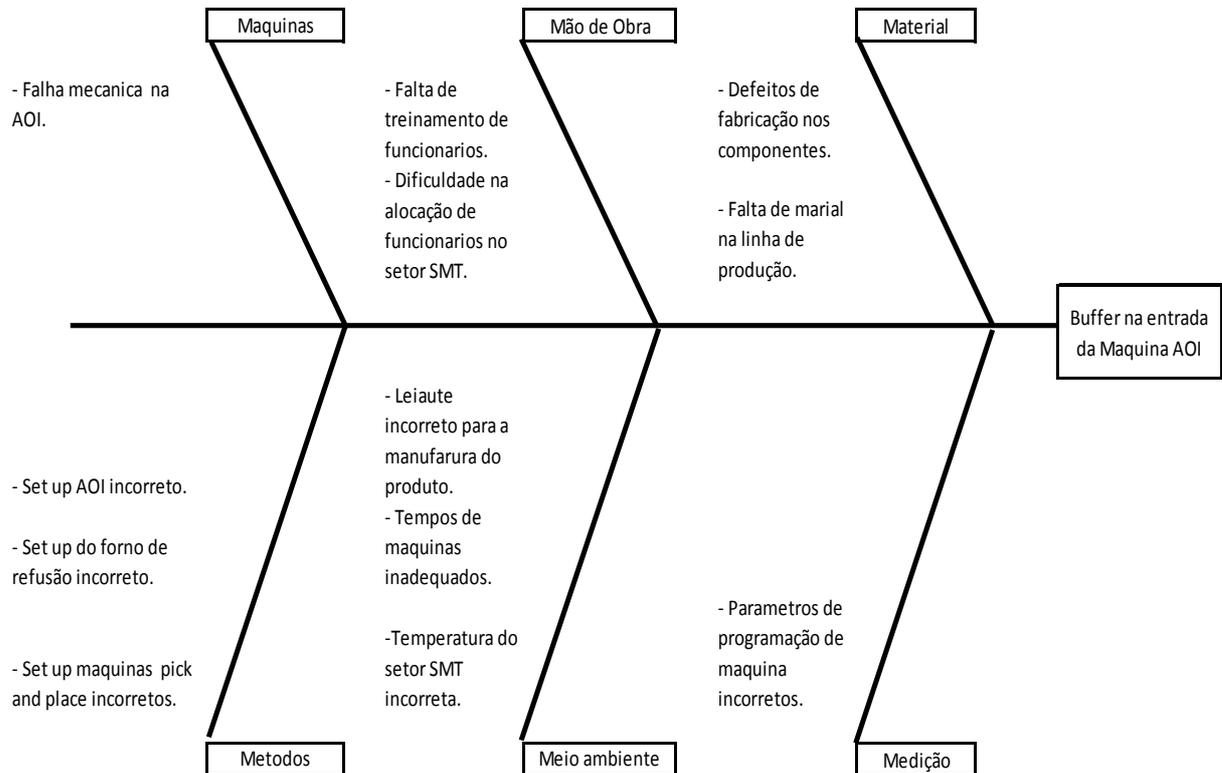


Figura 25 – Diagrama de *Ishikawa* referente à linha de montagem analisada

Pode-se notar que na Figura %% as causas encontradas na manufatura SMT coincide com o texto abordado no capitulo 1 e destacado anteriormente. O problema a ser estudado refere-se à análise do comportamento atual da linha de montagem e modelagem de um cenário que vise melhorias na produtividade e/ou eficiência da linha de montagem. Para tanto, o seguinte aspecto apresentado no diagrama de *Ishikawa* foi estudado: meio ambiente.

Desta forma em acordo com os objetivos do estudo citados no capítulo 1 (Introdução), a simulação computacional será utilizada como ferramenta de apoio a tomada de decisão, a fim de estudar o processo produtivo atual, visando configurar e balancear a linha de montagem para atender a demanda de produtos implantada.

3.1.2 Modelo conceitual

O modelo conceitual desenvolvido para a modelagem proposta e formado com as seguintes etapas de processamento: definição do produto, descrição processo produtivo dos produtos, identificação e coleta dos dados de entrada e elaboração do modelo.

3.1.2.1 Definição dos produtos

Os produtos em estudo são os que se tornariam gargalo devido a ter um alto volume e, um baixo tempo de composição dos componentes. Dentre estes estão os produtos da família 1 e os produtos da família 2. O mix de produção é um produto da família 1 para dois produtos da família 2.

Os produtos da família 1 (Figura 26) são compostos de painéis com quatro peças e tem um volume semanal de cinco mil peças.

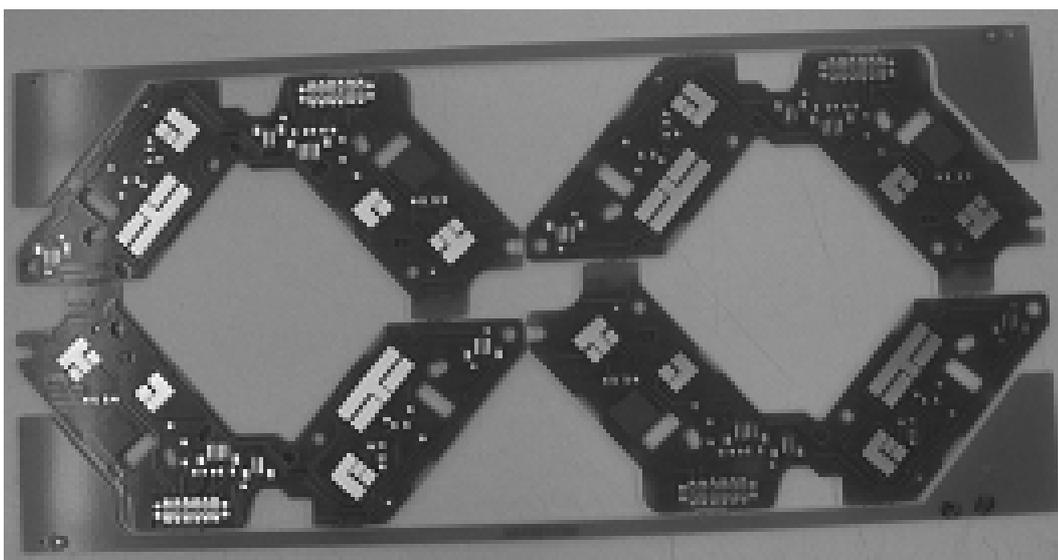


Figura 26 - Painel de placas da família 1

Os produtos da família 2 (Figura 27) são compostos de painéis com vinte peças e tem um volume semanal de dez mil peças, assim formando o mix de produção.

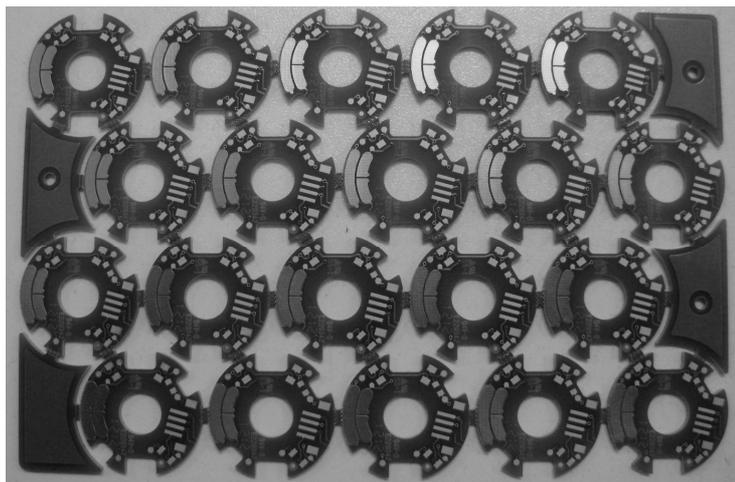


Figura 27 - Pannel de placas da família 2

3.1.2.2 Descrição do processo produtivo

Conforme citado no capítulo 1, o estudo está concentrado no setor SMT, onde se encontra a linha SMT 1. No capítulo 2 são apresentadas as tecnologias de manufatura básicas para o processo de montagem, para a fabricação dos produtos escolhidos a empresa em estudo emprega tecnologia SMT no setor produtivo.

O processo SMT é composto por uma serie de maquinas e cada uma delas têm uma função especifica para a manufatura, no leiaute atual da fabrica (Figura 28) as maquinas da linha SMT 1 estão dispostas da seguinte maneira:

- Loader – Abastecedor da linha de montagem;
- Printer – Aplicação da pasta de solda na PCI;
- Conveyor 1 – Transporte entre maquinas;
- Juki FX1 – Inersora de componentes SMD;
- Juki 2060 – Inersora de componentes SMD;
- Conveyor 2 – Transporte entre maquinas;
- Forno de refusão – soldagem dos componentes na PCI; e,
- Maquina inspeção AOI – aferição de parâmetros de qualidade.

Conforme o leiaute (figura 44) é possível visualizar a maquina AOI ao lado da linha SMT1, logo após a linha SMT 2, caracterizando a quebra do fluxo de montagem.

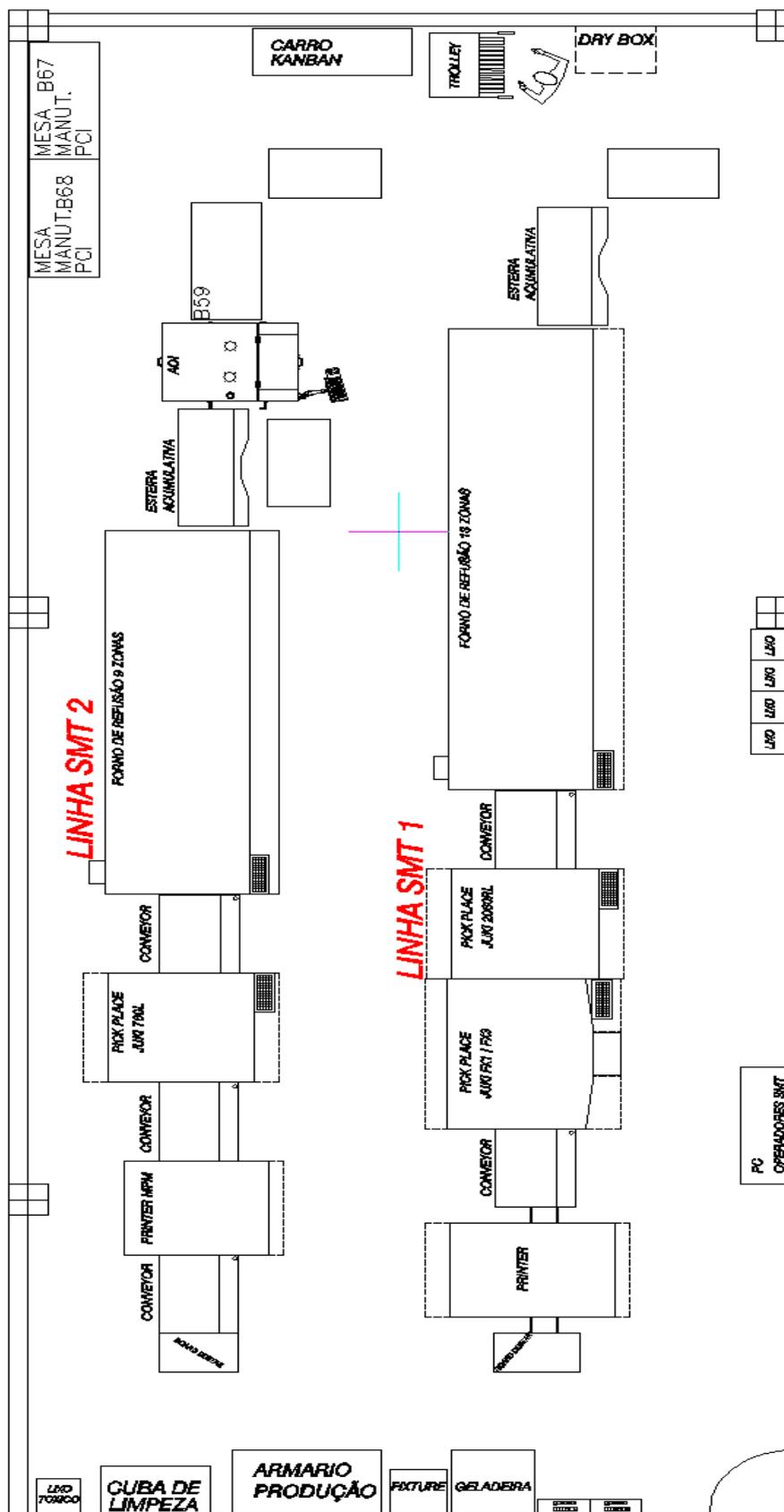


Figura 28 – Leiaute da Célula de Montagem
Fonte: Quantum (2014).

3.1.2.3 Identificação e coleta de dados

Os dados de entrada para o modelo foram identificados a partir da ligação entre problema e objetivo da simulação. A coleta de dados foi realizada a partir de visitas ao chão de fábrica da empresa. Os dados coletados referem-se aos seguintes elementos:

- Tipos de recursos por estação;
- Número de máquinas da linha SMT 1;
- Tempo de produção diária e por turnos de trabalho;
- Relação de família de produtos;
- Ordens de produção de cada tipo de placa;
- Histórico da demanda;
- Porcentagem histórica de rejeição na inspeção AOI;
- Roteiro de produção por tipo de placa; e,
- Relação de tempos em todos os processos.

A partir da coleta de dados referente ao histórico da demanda no período de um ano pode ser dimensionado o volume mensal.

A demanda mensal foi traçada a partir do histórico de vendas de janeiro de 2013 a janeiro de 2014. Os dados foram retirados do histórico da empresa e podem ser visualizados na tabela 01.

Tabela 01 - Histórico de demanda anual das famílias 1 e 2

Produto	Total produzido	Volume médio mensal
Família 1	280633	23386
Família 2	528396	44033

O histórico da demanda revelou que a demanda do cliente analisado ultrapassou o valor de oitocentas mil placas por ano. Percebesse assim o grande volume de produção da planta em questão.

Na cronometragem foram considerados os tempos de máquinas inerentes ao processo de montagem SMT. Para que os tempos representassem a realidade, as tomadas de tempos foram realizadas em lotes de peças diferenciados.

A célula de montagem SMT opera cinco dias por semana, com turnos de nove horas e quarenta minutos. Os operadores têm as escalas entrecruzadas para manter a linha de produção em funcionamento.

A definição do tempo de chegada dos painéis foi realizada observando o intervalo de tempo necessário para a composição dos componentes, a partir do primeiro painel produzido, ou seja, foi contabilizado o tempo entre os painéis do lote de produção. O local escolhido para a cronometragem foi a saída do forno de refusão. As tomadas de tempo foram realizadas durante a passagem dos lotes de produção das famílias 1 e 2 na linha SMT 1. O tamanho da amostra para cada família ficou limitado à disponibilidade para a coleta durante a passagem do lote.

As máquinas envolvidas no processo de montagem e inspeção são as apresentadas a seguir: *Loader, Printer, Conveyor 01, Juki FX-1, Juki 2060, Conveyor 02, Forno de refusão e, Máquina AOI.*

Os tempos da *Loader, Printer, Conveyor 01, Juki FX-1, Juki 2060 e Conveyor 02* foram tomados para as duas famílias e são apresentadas nas Tabelas 02 e 03.

Tabela 02 – Tomada de tempo Família 1 (segundos)

LOADER	PRINTER	CONVEYOR 01	Juki FX1	Juki 2060	CONVEYOR 02
7,50	16,00	4,90	16,51	15,50	4,35
8,20	16,00	4,10	16,74	15,20	4,53
8,40	16,00	4,90	16,58	14,40	4,69
8,00	16,70	4,70	16,08	15,00	4,65
8,30	16,90	4,90	14,18	15,30	4,63
8,80	16,89	5,00	14,50	15,80	4,74
8,70	17,40	5,10	16,41	15,70	4,50
8,40	17,40	5,00	15,37	15,40	4,56
8,60	16,00	5,00	14,51	14,60	4,28
8,30	16,60	4,50	15,37	15,30	4,76
8,60	16,50	4,90	15,26	15,60	4,42
7,90	17,33	4,70	16,74	15,90	5,00
8,90	16,61	4,50	14,75	14,90	4,92
8,40	16,77	5,20	15,27	14,40	4,79
7,70	17,53	5,20	14,78	15,70	4,60
9,30	16,61	5,80	14,36	14,30	4,55
8,50	17,61	5,40	14,79	14,50	4,70
8,20	16,42	4,95	15,28	15,20	4,55
8,20	16,71	4,75	15,15	14,20	4,80
8,40	16,68	5,20	15,00	14,40	4,84

Tabela 03 – Tomada de tempo Família 2 (segundos)

LOADER	PRINTER	CONVEYOR 01	Juki FX1	Juki 2060	CONVEYOR 02
7,50	24,02	4,90	24,45	23,97	4,35
8,20	25,33	4,10	24,59	23,51	4,53
8,40	29,57	4,90	29,58	24,8	4,69
8,00	24,63	4,70	23,87	27,71	4,65
8,30	24,11	4,90	23,81	25,01	4,63
8,80	24,44	5,00	23,19	23,21	4,74
8,70	24,27	5,10	23,71	23,1	4,50
8,40	24,47	5,00	23,36	23,54	4,56
8,60	24,89	5,00	23,03	20,35	4,28
8,30	31,85	4,50	23,15	17,39	4,76
8,60	25,15	4,90	24,48	22,66	4,42
7,90	24,21	4,70	24,55	24,07	5,00
8,90	24,46	4,50	29,48	23,85	4,92
8,40	24,27	5,20	23,77	23,61	4,79
7,70	25,43	5,20	23,71	24,75	4,60
9,30	29,57	5,80	23,29	27,61	4,55
8,50	24,31	5,40	23,61	25,15	4,70
8,20	24,45	4,95	23,46	23,3	4,55
8,20	24,27	4,75	23,33	23,2	4,80
8,40	25,53	5,20	23,25	23,45	4,84

A partir destes dados, encontrou-se os valores de média, desvio padrão, variância, número de amostras a serem utilizados com os graus de confiança correspondentes para cada uma das máquinas para as famílias 1 e 2 com N igual a 20. Conforme Tabela 04 e Tabela 05.

Tabela 04 – Informações Família 1 (segundos)

	LOADER	PRINTER	CONVEYOR 01	Juki FX1	Juki 2060	CONVEYOR 02
Média	8,37	16,73	4,94	15,38	15,07	4,64
Desvio Padrão	0,412023249	0,515967155	0,358395547	0,837215152	0,562208989	0,184193834
Variância	0,169763158	0,266222105	0,128447368	0,700929211	0,316078947	0,033927368
Mínimo	7,50	16,00	4,10	14,18	14,20	4,28
Máximo	9,30	17,61	5,80	16,74	15,90	5,00
Amplitude	1,80	1,61	1,70	2,56	1,70	0,72
n90%	14,1483	15,8260	12,9313	18,1790	16,3647	6,5157
n95%	15,4878	16,8665	14,4399	18,6818	17,2939	8,1374
n99%	17,1117	18,0565	16,3521	19,2145	18,3376	10,8425

Tabela 05 – Informações Família 2 (segundos)

	LOADER	PRINTER	CONVEYOR 01	Juki FX1	Juki 2060	CONVEYOR 02
Média	8,37	25,4615	4,94	24,2835	23,712	4,64
Desvio Padrão	0,412023249	2,186307329	0,358395547	1,858200247	2,188382243	0,184193834
Variância	0,169763158	4,779939737	0,128447368	3,452908158	4,789016842	0,033927368
Mínimo	7,50	24,02	4,10	23,03	17,39	4,28
Máximo	9,30	31,85	5,80	29,58	27,71	5,00
Amplitude	1,80	7,83	1,70	6,55	10,32	0,72
n90%	14,1483	19,7105	12,9313	19,6014	19,7110	6,5157
n95%	15,4878	19,7952	14,4399	19,7176	19,7956	8,1374
n99%	17,1117	19,8808	16,3521	19,8354	19,8810	10,8425

Conforme pode ser observado nas Tabelas 03 e 04, mesmo com grau de confiança de 99% o número de amostras coletadas das famílias foi suficiente, pois mesmo no pior dos casos, a máquina Juki 2060 com grau de confiança 99%, o valor 19,881 arredondado para cima se enquadra no número de amostras das famílias. Os valores para o número de amostras a serem verificadas foram calculados de acordo com a equação (1), abaixo, previamente explicada no item 2.4.3.1 (Dimensionamento da amostra):

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad (1)$$

Os graus de confiança e seus pontos críticos (valores para 90%, 95% e 99%) estão listados na Tabela 06 abaixo.

Tabela 06 – Valores Críticos (Z)

	Z (valor crítico)
90%	1,645
95%	1,96
99%	2,575

A Tabela 07 a seguir mostra os valores calculados para média, desvio padrão, variância, número de amostras a serem utilizadas e população para as famílias 1 e 2 no processo de inspeção AOI. Pode-se observar nesta tabela que o cálculo foi feito com e sem a utilização de *outliers*.

Tabela 07 – Informações - Famílias 1 e 2 (segundos)

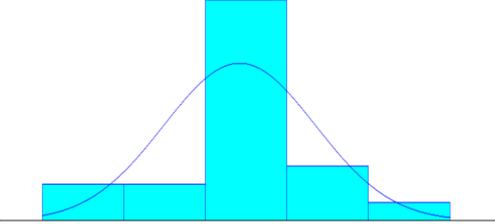
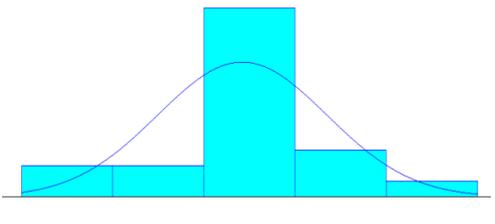
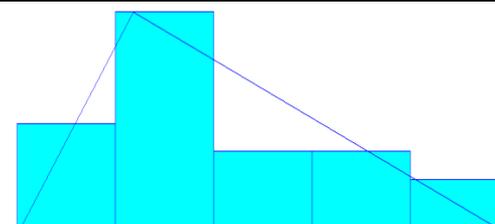
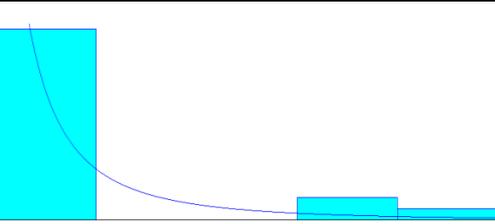
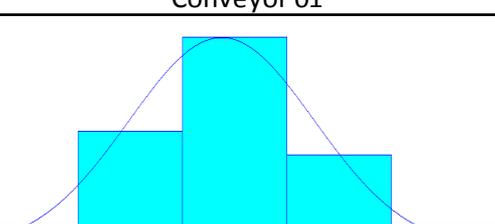
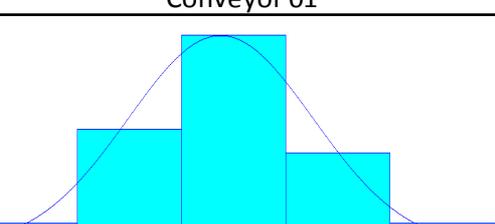
Família 1	Com outlier	Sem outlier	Família 2	Com outlier	Sem outlier
Média	23,57	19,66	Média	36,11	27,28
Desvio Padrão	32,32	7,89	Desvio Padrão	78,47	8,489
Variância	1044,85	62,24	Variância	6156,96	72,068
Mínimo	14,51	14,51	Mínimo	12,16	12,16
Máximo	364,34	72,85	Máximo	906,4	78,04
Amplitude	349,83	58,34	Amplitude	894,24	65,92
n	142	139	n	170	166
N	1250	1250	N	250	250
n90%	452	41	n90%	236	41
n95%	557	58	n95%	239	55
n99%	727	96	n99%	245	82

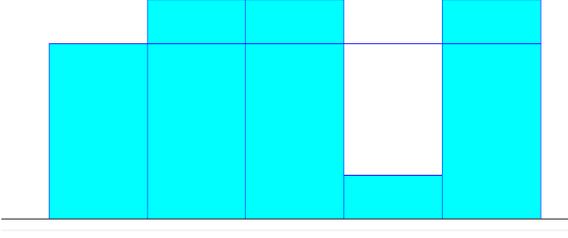
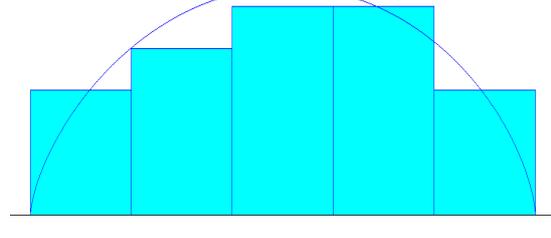
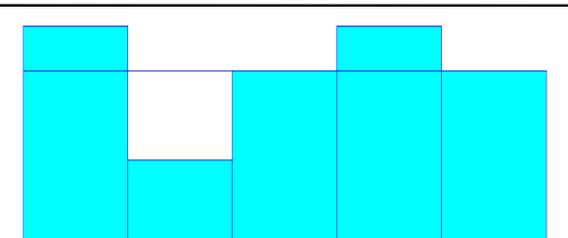
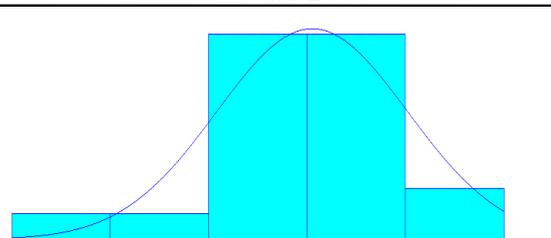
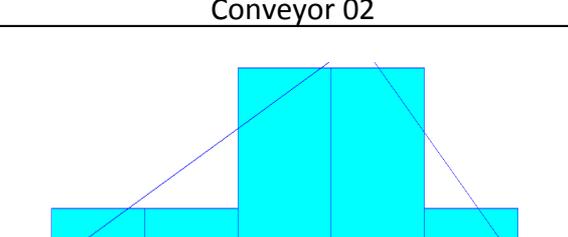
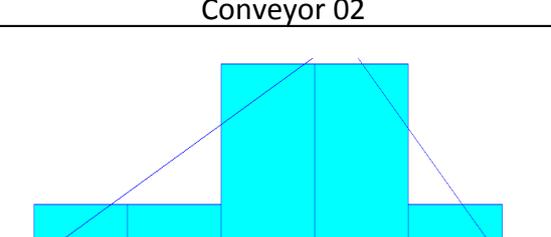
Conforme pode ser verificado na Tabela 06, o número de amostras necessárias, tanto para a família 1 quanto para a família 2, com grau de confiança de 90%, 95% e 99% sem os *outliers* são inferiores aos números de amostras coletados na linha em estudo.

Como exemplo, no caso da família 1, o número de amostras necessários com grau de confiança de 99% e sem *outliers* é de 96 amostras, sendo que o número coletado neste caso foi de 139 amostras válidas. Se os *outliers* fossem mantidos, o número necessário seria de 727 amostras com o mesmo grau de confiança.

O tratamento dos dados da cronometragem foi realizado com os tempos dos processos de montagem de cada máquina inserido na ferramenta *Input Analyser* do software ARENA (Apêndice A).

Com a ferramenta *Input Analyser* foi possível as curvas características dos tempos de processamento de cada máquina, como mostra a Figura 29. As famílias de produtos 1 e 2, estão descritas com seus respectivos processos de montagem: *Loader*, *Printer*, *Conveyor 01*, *Juki FX-1*, *Juki 2060*, *Conveyor 02*, *Forno de refusão* e, *Máquina AOI*.

Processos Familia A	Processos Familia B
Loader	Loader
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Normal Expression: NORM(8.37, 0.402) Square Error: 0.070224</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 3.03 Corresponding p-value < 0.005</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Normal Expression: NORM(8.37, 0.402) Square Error: 0.070224</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 3.03 Corresponding p-value < 0.005</p>
Printer	Printer
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Triangular Expression: TRIA(16, 16.4, 17.8) Square Error: 0.017443</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 1.37 Corresponding p-value < 0.005</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Lognormal Expression: 24 + LOGN(1.57, 3.69) Square Error: 0.035238</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 1 Degrees of freedom = -2 Test Statistic = 0.274 Corresponding p-value < 0.005</p>
Conveyor 01	Conveyor 01
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Normal Expression: NORM(4.94, 0.349) Square Error: 0.001826</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = -1 Test Statistic = 0.145 Corresponding p-value < 0.005</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Normal Expression: NORM(4.94, 0.349) Square Error: 0.001826</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = -1 Test Statistic = 0.145 Corresponding p-value < 0.005</p>

Juki FX1-R	Juki FX1-R
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Uniform Expression: UNIF(14, 17) Square Error: 0.030000</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 0.708 Corresponding p-value = 0.427</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Beta Expression: $23 + 0.96 * \text{BETA}(1.66, 1.64)$ Square Error: 0.002697</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 3 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 0.0725 Corresponding p-value < 0.005</p>
Juki 2060	Juki 2060
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Uniform Expression: UNIF(14, 16) Square Error: 0.015000</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = 1 Test Statistic = 0.333 Corresponding p-value = 0.586</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Normal Expression: NORM(23.7, 2.13) Square Error: 0.013500</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = -1 Test Statistic = 0.123 Corresponding p-value < 0.005</p>
Conveyor 02	Conveyor 02
	
<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Triangular Expression: TRIA(4.2, 4.73, 5) Square Error: 0.010932</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 0.012 Corresponding p-value < 0.005</p>	<p style="text-align: center;">Distribution Summary</p> <p>Distribution: Triangular Expression: TRIA(4.2, 4.73, 5) Square Error: 0.010932</p> <p>Chi Square Test Number of intervals = 2 Degrees of freedom = 0 Test Statistic = 0.012 Corresponding p-value < 0.005</p>

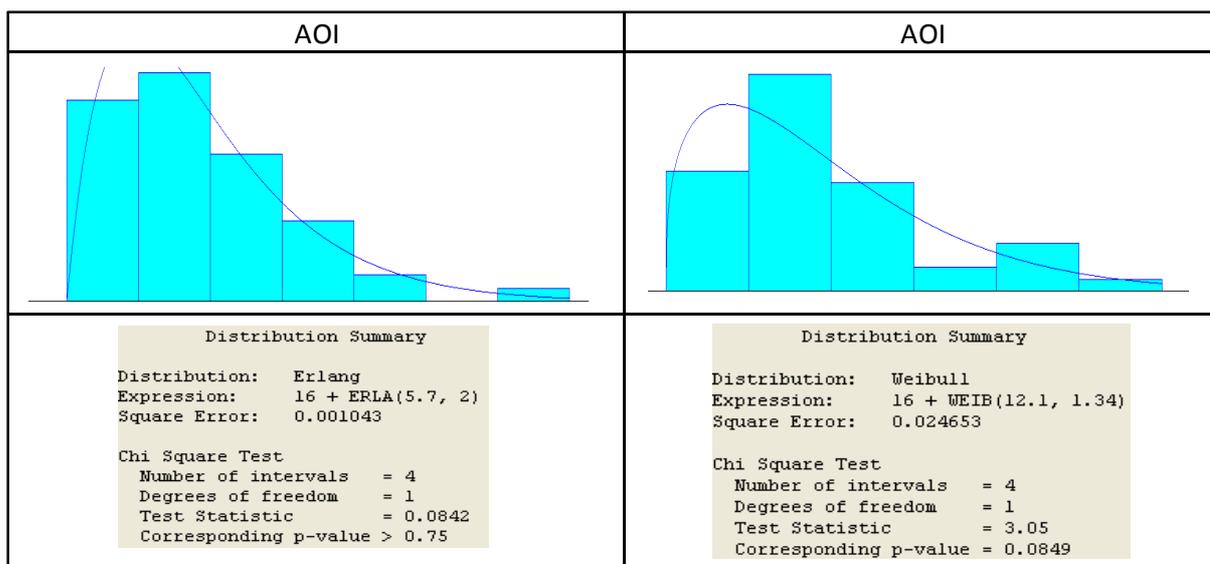


Figura 29 - Curvas Características

As curvas características dos equipamentos traçadas com o *input analyser* e foram utilizadas como entradas nos blocos funcionais do software ARENA, durante a elaboração do modelo.

De acordo com levantamento de Pegden (1991 *apud* Freitas Filho, 2008, p.157), os tempos podem ser coletados de catálogos e de estimativas dos operadores envolvidos no processo analisado. Desta forma, alguns dos tempos utilizados no modelo, tais como, transportes manuais, esteiras transportadoras e, equipamentos necessários para a implementação do estudo na linha de montagem SMT foram coletados de catálogos e de estimativa dos operadores.

Tabela 08 - Tempos

Atividade / Máquina	Unidade medida
Forno de refusão	0,07382 pés/s
Ciclo de Operação do <i>Buffer</i> AOI	15 s
Retrabalhos	60 s
L_SAIDA POSTO RETRABALHO ENTRADA <i>BUFFER</i>	15 s
L_SAIDA <i>REJECT CONVEY</i> ENTRADA POSTO RETRABALHO	10 s
P_UNLOADER PCB	10 s

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo elaborado para representar o sistema de manufatura em estudo foi concebido dentro do setor SMT, contemplando as etapas de aplicação de pasta de solda, composição de componentes SMD, refusão da pasta de solda e, inspeção AOI. A seguir é descrito a concepção do modelo proposto e exposto no Apêndice C.

O modelo desenvolvido dentro do ambiente do software Arena é direcionado para a integração do processo de refusão de solda com o processo de inspeção AOI, desta forma, optou-se por abordar os modelos de produtos que têm tempos de montagem menores, visando aferir o desempenho da nova sistemática de montagem.

O modelo do processo de montagem está dimensionado para efetuar a simulação por lotes de produção, sendo usado o mesmo modelo para as duas famílias de produtos (1 e 2).

A construção do modelo foi elaborada no ambiente de trabalho do software ARENA (Figura 30). As estações de trabalho foram criadas e nomeadas a partir do leiaute da célula de montagem SMT.

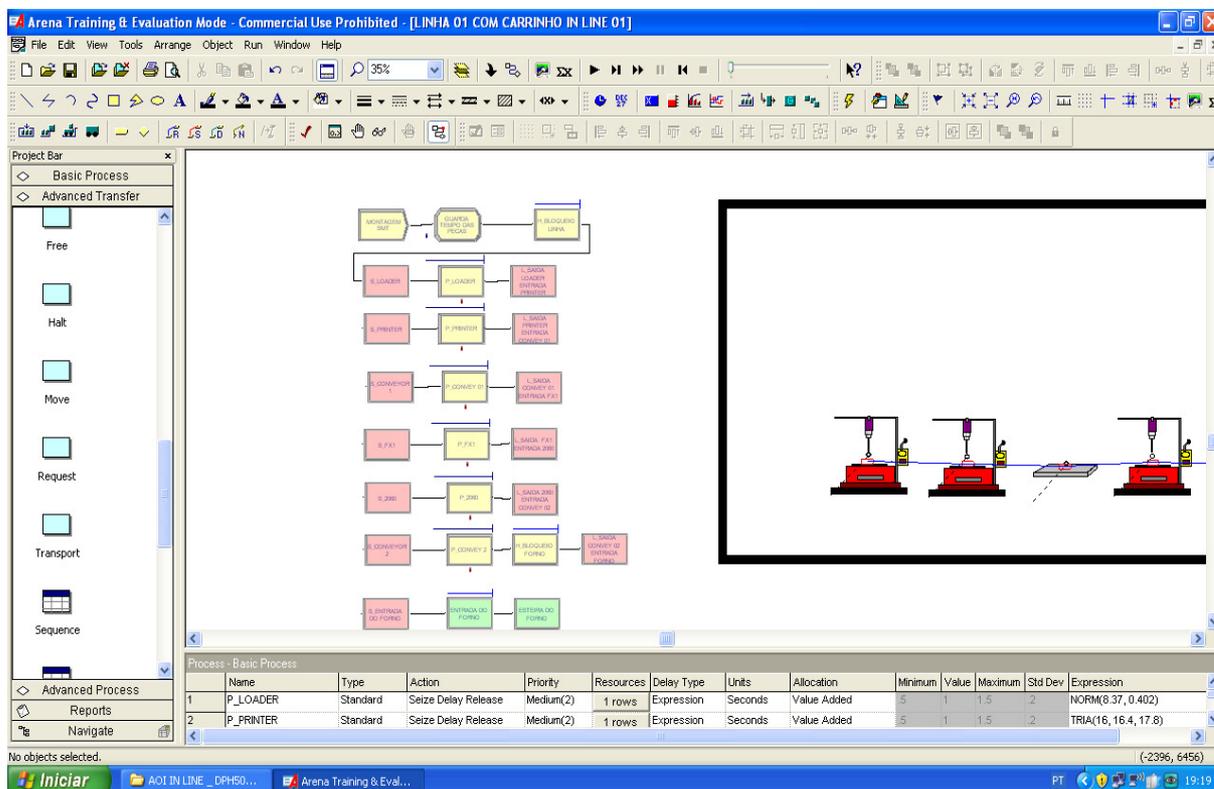


Figura 30 – Modelo Arena - Leiaute célula de montagem

Para iniciar a simulação é necessário um bloco *Create* (figura 31), este tem a função de gerar as entidades e inseri-las no simulador e, dar ritmo ao processo de montagem.

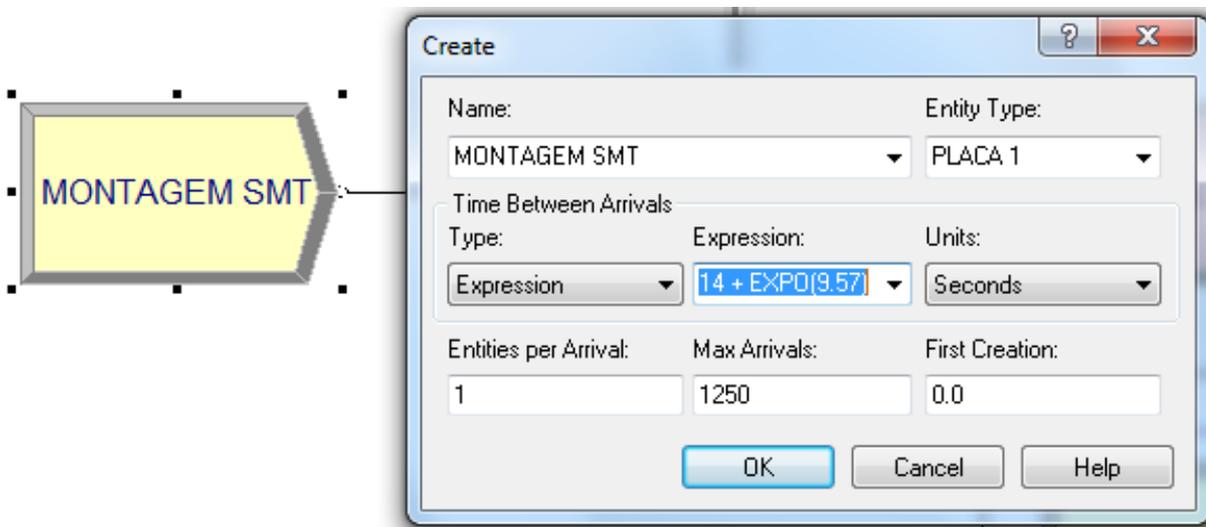


Figura 31 - Configuração do bloco *Create*

A configuração foi elaborada após análise das curvas geradas pelo *Input Analyser*, baseadas nas cronoanálises realizadas e, esta configuração determina o tempo de criação entre as entidades para a linha de montagem SMT. Desta maneira o bloco *Create* pode ser configurado para os produtos da família 1 e 2.

Os postos de trabalho *Loader*, *Printer*, *Convey 01*, *FX1*, *2060* e *Convey 02* (Figura 32) foram elaborados com conjuntos de blocos, descritos a seguir:

- Bloco *Station*, encarregado de alocar um local para as entidades durante a animação do modelo;
- Bloco *Process*, encarregado de alocar o tempo necessário para efetuar o processamento da entidade; e,
- Bloco *Leave*, encarregado de transportar a entidade ao próximo posto de trabalho.

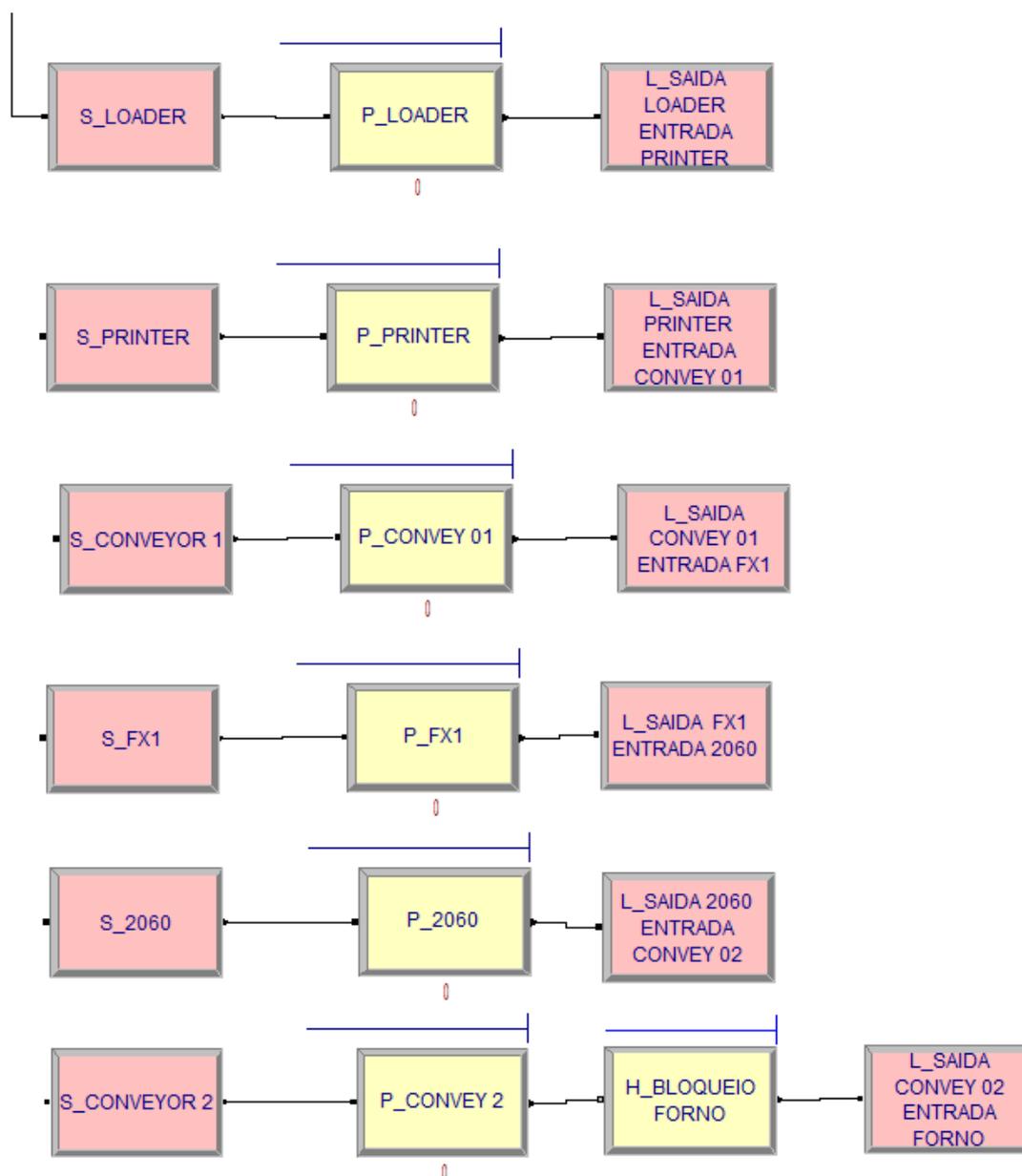


Figura 32 – Postos de Trabalho

O bloco *Process* (Figura 33) tem além da função de consumir tempo de processamento e a função de ocupar um recurso e que neste caso é a máquina que efetua a atividade. Esta configuração faz com que os postos de trabalho processem apenas uma entidade por vez.

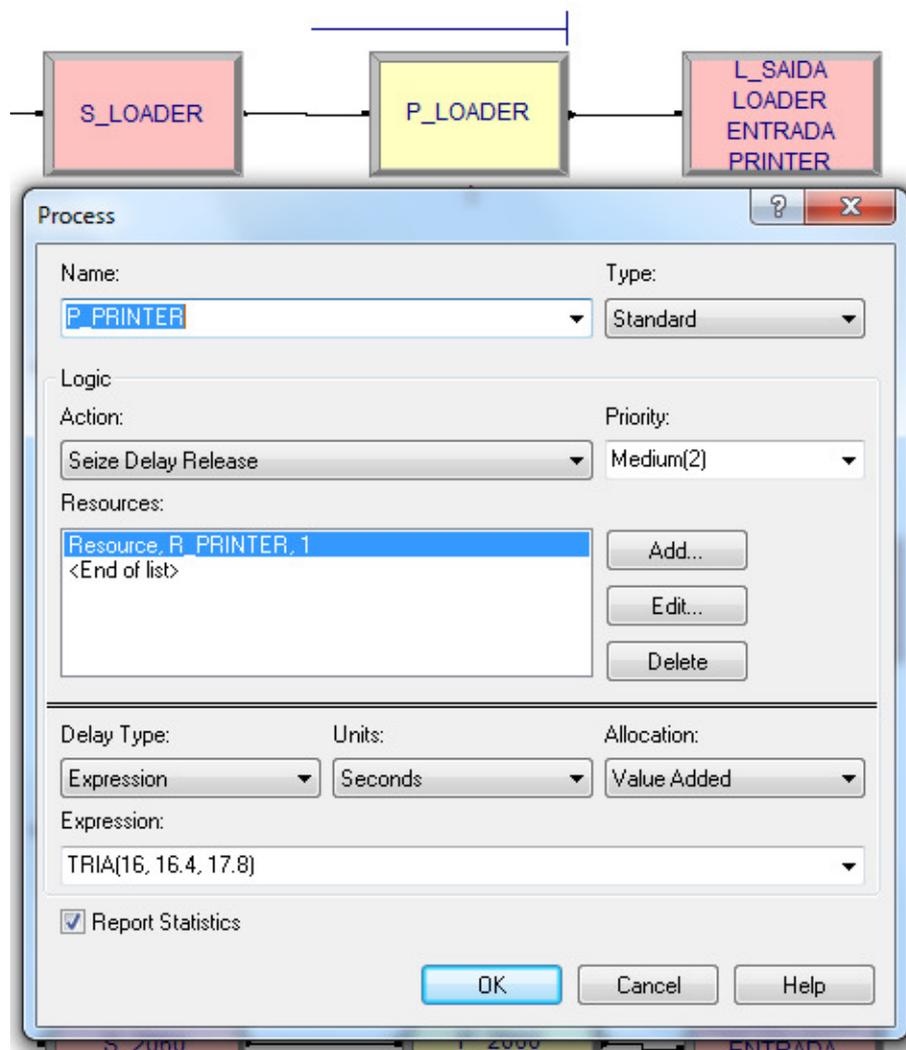


Figura 33 – Configuração do bloco *Process*

O processo de refusão de solda tem comportamento diferenciado dos demais postos de trabalho. O mesmo pode ser tratado como um *conveyor*, pois os painéis entram no forno através de uma esteira transportadora. Após ser iniciado o processo de refusão, o mesmo não é parado por outros postos de trabalho, pois, o painel é fixado na esteira até o final do processo de refusão.

Para o modelo atender este comportamento foi elaborado um *conveyor* não acumulativo (Figura 34), cujo funcionamento é similar ao do forno de refusão.

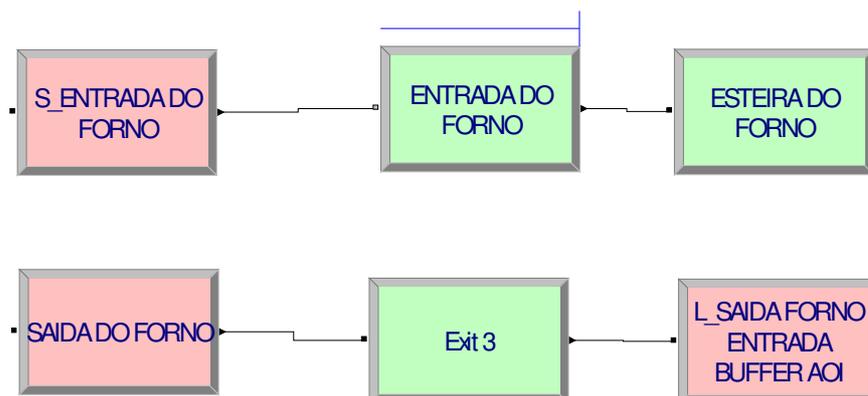


Figura 34 – Blocos que compõem o forno de refusão

A configuração da esteira do forno de refusão é realizada em duas etapas, a primeira tem a função de alocar um local para o início da esteira, solicitar o acesso à entrada da esteira e, configurar o número de entidades na fila da esteira.

Nesta etapa é necessário configurar o módulo *conveyor* da aba *advanced transfer* (Figura 35). A configuração consiste em alocar velocidade do *conveyor* e classificá-lo quanto ser acumulativo ou não.

Conveyor - Advanced Transfer									
	Name	Segment Name	Type	Velocity	Units	Cell Size	Max Cells Occupied	Initial Status	Report Statistics
1	Conveyor 1	Conveyor 1.Segment	Non-Accumulating	0.07382	Per Second	1	1	Active	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure 35 - Configuração módulo Conveyor

A segunda etapa tem a função de alocar um local de saída para a esteira e informar que a entidade saiu do *conveyor*, deixando uma posição livre na entrada.

Logo após o forno de refusão está o foco do estudo. É o local onde será dimensionado o *buffer* (Figura 36), o qual recolhera os painéis que estão em processo dentro do forno de refusão e, fará a interface de alimentação da máquina de inspeção ótica.

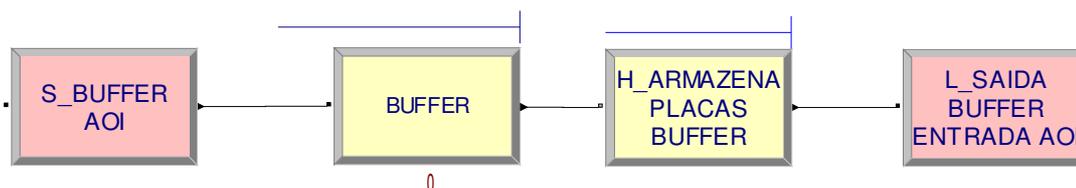


Figura 36 – Blocos que compõem o buffer

Nesta etapa a lógica de controle abrange outros pontos da linha de montagem, pois, o *buffer* tem a capacidade limitada. Desta forma, assim que a fila no próximo posto de montagem for igual ou maior a quarenta painéis, o *buffer* emite um sinal de bloqueio para que não seja inserido um novo painel no forno, ou seja, a partir desta contagem o *buffer* terá somente a capacidade de absorver o que está em processo no forno de refusão.

Para este controle ser efetivo foi inserido no modelo blocos *Hold* que terão a função de bloqueio do forno e, das etapas anteriores ao forno de refusão. O bloco irá atuar como uma fila condicional que irá monitorar as condições do modelo e, liberará os painéis conforme a fila no *buffer* seja reduzida (Figura 37).

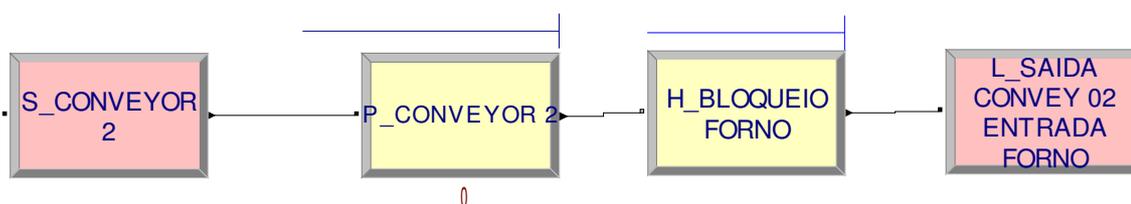


Figura 37 – Estação CONVEYOR 2, seguida do bloco Hold

O processo de inspeção AOI, terá um equipamento chamado *REJECT CONVEY*, que tem a função de segregar as peças que necessitam de análise ou retrabalho e, liberar as peças aprovadas.

Após a liberação dos painéis pelo *REJECT CONVEY*, os mesmos seguem para o equipamento *UN LOADER*, que monta os magazines com cinquenta painéis.

Os painéis que foram segregados são enviados para o processo de retrabalho e, após o retrabalho retornam ao *buffer* para serem inspecionados novamente.

O conjunto que representa o processo de inspeção, retrabalho e estocagem, pode ser visto na Figura 38.

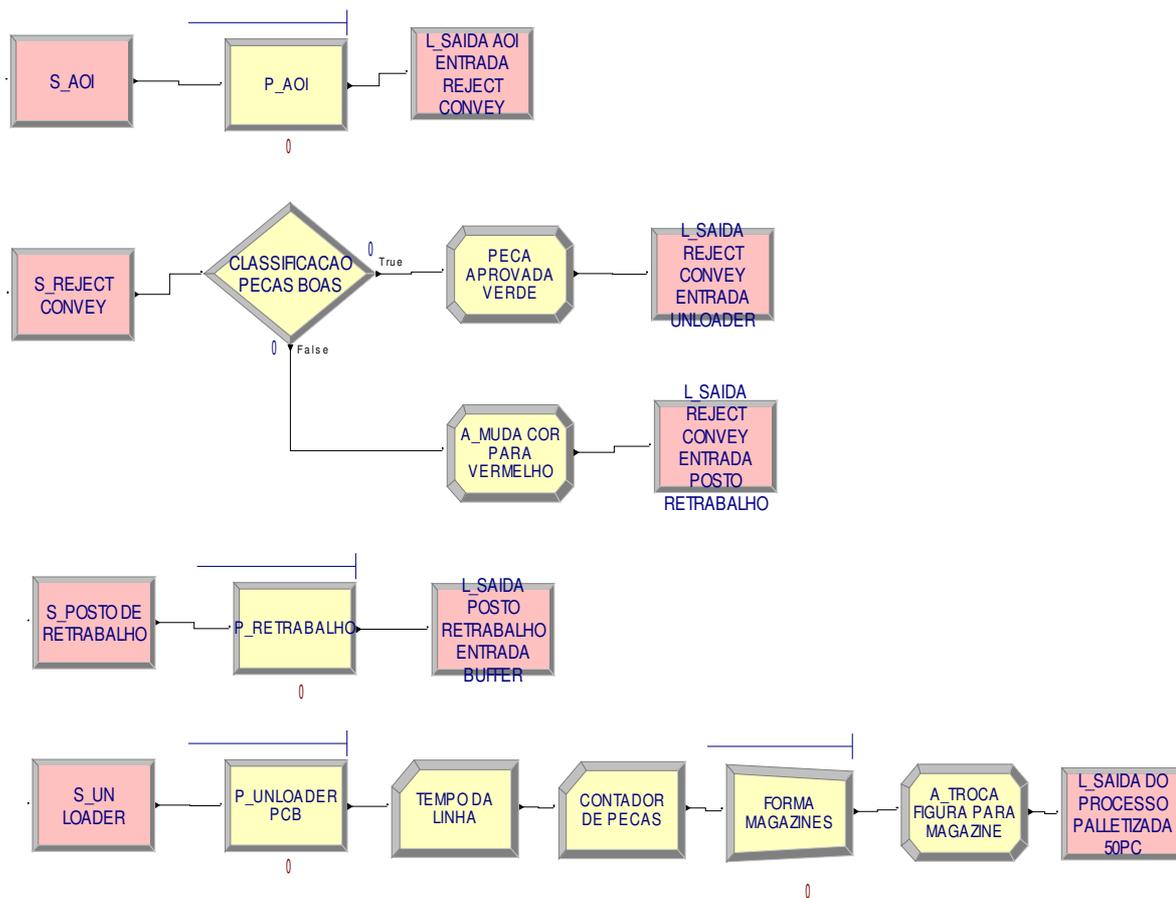


Figura 38 – Conjunto de processos

Visando facilitar a visão do processo de montagem SMT, foi elaborado um modelo simples de animação, Figura 39.

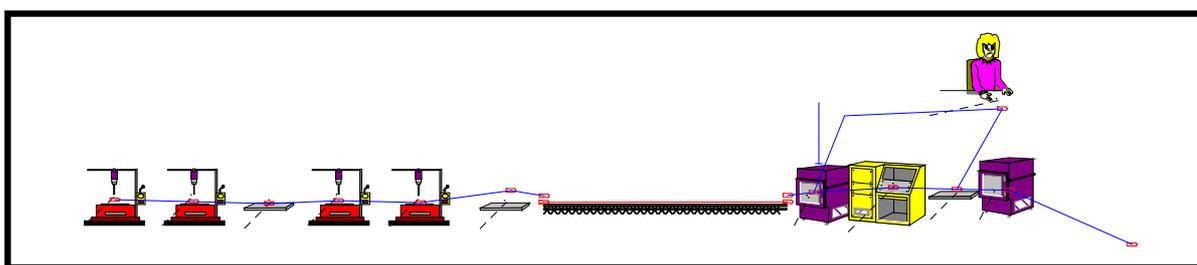


Figura 39 – Modelo de animação da linha SMT

O modelo elaborado para representar a linha de montagem SMT está disposto na Figura 40, a seguir, o mesmo também pode ser observado no Apêndice B, juntamente com os resultados dos testes realizados na linha de montagem.

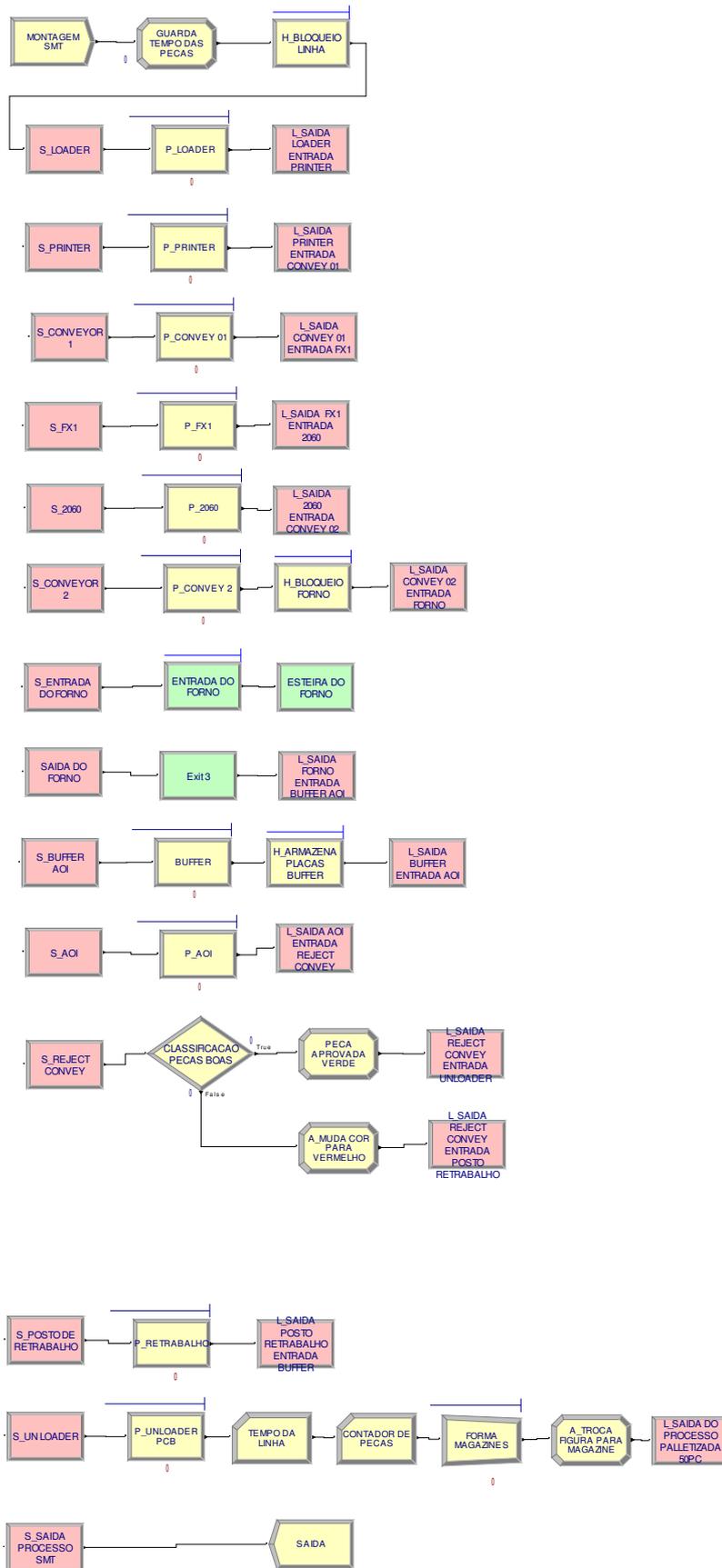


Figura 40 – Modelo da linha de montagem SMT 1

3.2.1 Verificação e validação

Para ser possível a comparação do modelo projetado (Apêndice C) com o sistema real, um segundo modelo (Apêndice B) foi elaborado, este com as etapas atuais do processo de montagem SMT. Neste modelo a célula de montagem se manteve original sem nenhuma alteração quanto ao leiaute, equipamentos e transportes.

Nas tabela 09 e 10 mostram a confrontação de tempos de processo do modelo atual com os tempos coletados na linha de montagem para as família 1 e 2.

Tabela 09 - Validação do modelo Apêndice B para família 1

FAMÍLIA 1	MÉDIA LINHA EXISTENTE	MÉDIA SIMULADA	ERRO %
LOADER	8,37	8,99	7,407407407
PRINTER	16,73	16,73	0
CONVEYOUR 01	4,94	4,93	0,202839757
JUKI FX1	15,38	15,53	0,975292588
JUKI 2060	15,07	15,02	0,332889481
CONVEYOUR 02	4,64	4,64	0

Tabela 10 - Validação do modelo Apêndice B para família 2

FAMÍLIA 2	MÉDIA LINHA EXISTENTE	MÉDIA SIMULADA	ERRO %
LOADER	8,37	8,96	7,048984468
PRINTER	25,4615	25,57	0,426133574
CONVEYOUR 01	4,94	4,92	0,406504065
JUKI FX1	24,2835	23,48	3,422061329
JUKI 2060	23,712	23,62	0,389500423
CONVEYOUR 02	4,64	4,66	0,431034483

Com o objetivo de verificar se o sistema modelado está em conformidade com o sistema real, foram realizados os seguintes procedimentos para validação: confrontação dos tempos reais de processamento das máquinas com os coletados com o tempo com o modelado através do modelo (Apêndice B) com duração de um lote de produção (5000 peças) replicado seis vezes para cada família de produtos. Os resultados apresentaram uma variação aceitável aos objetivos do modelo conforme as tabelas 09 e 10.

Nesta tabela constam apenas os dados de validação referente ao tempo de processamento de maquinas por painel (entidade). Os tempos obtidos pelo modelo diferiram em média 1,75% comparado ao sistema real.

3.3 TESTES COM MODELO PROPOSTO

Após a execução da primeira simulação para um lote de produção com o modelo proposto (Apêndice C), foi possível a visualização do problema de acúmulo de peças da família 1 dentro do setor SMT, pois, o modelo relatou um erro (Figura 41), ou seja, dentro do ambiente de simulação gerou-se um excesso de entidades que ultrapassou cento e cinquenta painéis, travando a execução do modelo.

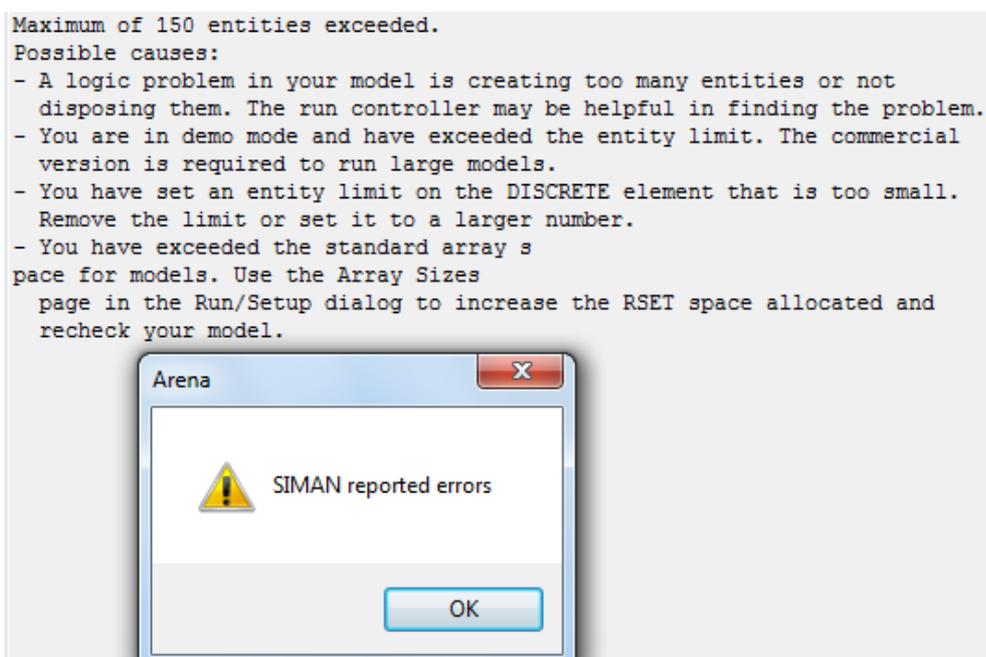


Figura 41 – Janela de erro do software Arena

Devido a utilização da versão estudantil do Arena, não foi possível simular o quanto a fila aumentaria ao final do processamento dos lotes.

Observando os tempos de montagem de todos os processos foi possível avaliar que o processo AOI estava retardando as entidades. Este acúmulo de peças pode ser observado na animação (Figura 42), onde o *buffer* ultrapassou a capacidade máxima e parou as entradas dos processos anteriores. Contudo, as entidades continuaram a ser inseridas no processo pelo bloco *CREATE*, gerando um excesso de entidades.

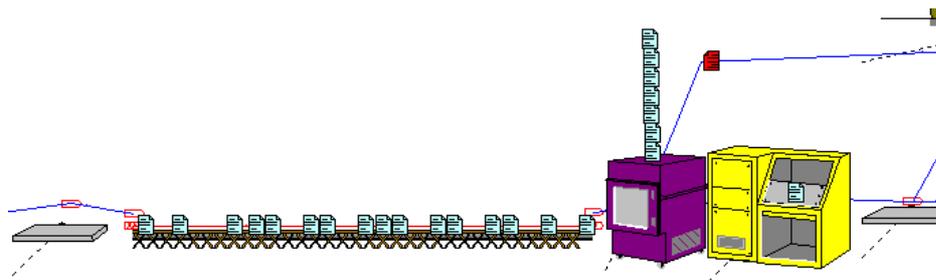


Figura 42 – Acúmulo de peças no *buffer*

Para equalizar os tempos da linha de montagem, optou-se por inserir um tempo maior no processo de criação dos painéis, visando manter o mesmo tempo de processo da máquina que gera o gargalo, no caso, a máquina AOI. Na Tabela 11 é possível visualizar a expressão de tempo atual da linha de montagem e a expressão adotada. Esta nova expressão foi inserida no bloco *CREATE* para balancear a linha de montagem.

Tabela 11 - Tempos de processo

Atividade / Máquina	Curva original	Curva corrigida
MONTAGEM SMT	14 + EXPO(9.57)	16 + ERLA(5.7, 2)

Após a adoção da nova expressão de tempo, o modelo não travou por excesso de painéis em processo e, foi possível a realização dos testes.

Tabela 12 – Tempo de permanência na fila

Processo	Tempo médio	Média de entidades (produtos) na fila
P_LOADER.Queue	23,23	0,7849
P_PRINTER.Queue	52,32	1,7687
P_CONVEY 01.Queue	0,00	0,00
P_FX1.Queue	0,03	0,00113679
P_2060.Queue	0,03	0,00088276
P_CONVEY 2.Queue	0,00	0,00
ENTRADA DO FORNO.Queue	14,41	0,4869
BUFFER.Queue	8,19	0,2922
H_ARMAZENA PLACAS BUFFER.Queue	716,90	25,6271
P_AOI.Queue	27,09	0,9687
P_RETRABALHO.Queue	2,33	0,00437025
P_UNLOADER PCB.Queue	0,00	0,00
FORMA MAGAZINES.Queue	716,26	24,2564

Desta forma o tempo de espera em filas dentro do setor SMT foi considerado um importante indicador para o processo proposto.

Na tabela 12 estão evidenciados os resultados para o tempo médio de espera em filas do modelo proposto após a simulação com seis replicações para os produtos da família 1.

O tempo de permanência no processo *BUFFER.Queue* é suficiente para a atividade de inserir a entidade no equipamento, que por sua vez, tem o tempo máximo estipulado em quinze segundos, a atividade de armazenar as entidades dentro do buffer (*H_ARMAZENA PLACAS BUFFER.Queue*) teve uma média de tempo de setecentos e dezesseis segundos e armazenou na fila em média vinte e cinco entidades, contudo esta quantidade não chegou próximo do limite estipulado para o bloqueio da linha. O bloqueio da linha de montagem só ocorre quando a fila se torna maior que quarenta entidades, ou seja, o modelo está com uma margem de segurança suficiente.

Outro indicador importante para o modelo proposto é a utilização dos recursos da linha de montagem. A utilização vai de zero a cem por cento, onde 0% indica que o equipamento está sem uso e 100% o uso máximo do mesmo. Os tempos de processo estão expostos na tabela 13.

Tabela 13– Utilização de recursos

Processo	Utilização %
LOADER	28%
PRINTER	57%
CONVEYOR 1	17%
JUKI FX1	53%
JUKI 2060	51%
CONVEYOR 2	16%
BUFFER	54%
AOI	99%
ESTACAO DE RETRABALHO	11%
UNLOADER	30%

Conforme visto na tabela 13 o processo de inspeção AOI está trabalhando no limite (99%), como se trata de um processo linear, há limitação de velocidade para os demais processos, que por sua vez ficaram com uma utilização mediana.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simulação computacional é uma ferramenta de apoio que mais se adéqua para estudos de caso onde não é possível uma mudança física no leiaute da célula de montagem, ou em sistemas de manufatura onde os equipamentos estão em estudo e ainda não foram adquiridos.

O objetivo deste estudo foi projetar no software Arena um modelo para efetuar integração do processo de refusão de solda com o processo de inspeção ótica automática. A nova sistemática é uma escolha estratégica da empresa, visando melhorar rendimento da linha de montagem SMT. Neste trabalho de conclusão de curso foi elaborada a caracterização e dimensionamento do sistema que apresenta o melhor rendimento para a empresa.

Este trabalho de conclusão de curso gerou discussões sobre o problema de balanceamento na célula de montagem SMT e apresentou uma proposta de solução para integrar o posto de refusão de solda com posto de inspeção ótica. A revisão de literatura elucidou as características da produção de placas eletrônicas e norteou o estudo sobre as possíveis causas dos estoques intermediários dentro da célula de montagem SMT.

O software ARENA foi utilizado para realizar a modelagem do sistema em estudo e realizar simulações, estas visando deixar o processo de montagem balanceado e sem estoques intermediários.

Devido à pouca disponibilidade de espaço na infraestrutura da empresa Quantum, o modelo limitou-se a novos recursos (equipamentos), desta forma este modelo foi elaborado em acordo com a empresa para atender os requisitos de automação e espaço, obtendo o melhor rendimento com os novos equipamentos.

A Tabela 14, página 84, mostra um comparativo entre os tempos de montagem da família 1 após a passagem de um lote mensal produção pelo simulador. A linha SMT atual (Apêndice B) obteve o resultado de quatro mil e duzentos painéis produzidos e uma fila de oitocentos painéis no processo AOI, estes ficando oito horas e vinte e quatro minutos, para efetuar o término do processo AOI, o tempo total de montagem foi de quarenta e duas horas e dezesseis minutos. A linha SMT projetada obteve o resultado de cinco mil painéis produzidos, não gerou fila no processo AOI e seu tempo de montagem foi de quarenta horas e cinquenta e dois minutos de montagem.

Tabela 14 – Demonstrativo de tempos simulados para a família 1

MODELOS	Nº PAINÉIS	Nº SAÍDAS	PAINÉIS EM PROCESSO X10	TEMPO DE PROCESSO	TEMPO NECESSÁRIO P/ PAINÉIS SAÍREM DO PROCESSO	TOTAL EM HORAS
Simulação linha SMT 1 Processo atual Família 1	5000	4200	80	33:52:00	8:24:00	42:16:00
Simulação linha SMT 1 Processo projetado Família 1	5000	5000	0	42:52:00	0:00:00	40:52:00

A Tabela 15, mostra um comparativo entre os tempos de montagem da família 2 após a passagem de um lote de dois mil painéis pelo simulador. A linha SMT atual (Apêndice A) obteve o resultado de dois mil painéis produzidos e não gerou fila no processo AOI, seu tempo de montagem foi de dezesseis horas e vinte e quatro minutos. A linha SMT projetada obteve o resultado de dois mil painéis produzidos e não gerou fila no processo AOI, totalizou dezesseis horas e trinta e dois minutos de montagem.

Tabela 15 – Demonstrativo de tempos simulados para a família 2

MODELOS	Nº PAINÉIS (un)	Nº SAÍDAS (un)	PAINÉIS EM PROCESSO X10	TEMPO DE PROCESSO (h)	TEMPO NECESSÁRIO P/ PAINÉIS SAÍREM DO PROCESSO	TOTAL EM (h)
Simulação linha SMT 1 Processo atual Família 2	2000	2000	0	16:24:00	0:00:00	16:24:00
Simulação linha SMT 1 Processo projetado Família 2	2000	2000	0	16:32:00	0:00:00	16:32:00

Após a análise destes resultados das tabelas 9 e 10, pode-se concluir que o processo de automação é viável, pois o sistema balanceado não terá o *buffer* intermediário responsável pelo acúmulo de peças, e manterá o ritmo de tempo da montagem atual com um ganho de dois por cento sobre o total de peças produzidas para as famílias 1 e 2.

Com base nos dados simulados no modelo computacional elaborado, para alcançar os resultados do projeto de integração do processo de refusão de solda com o processo de inspeção ótica, faz-se necessário a aquisição de novos equipamentos. A Tabela 16, lista modelos e quantidades necessárias.

Tabela 16 – Sugestão de novos equipamentos

Descrição	Máquina	Quantidade
<i>Conveyor</i>	NTM0401-L	2
<i>Reject conveyor</i>	NTM2500-L	1
<i>Automatic unloader</i>	NTM0100-L	1
<i>Vertical buffer</i>	NTM1400-L	1

Fonte: Altrade (2014).

Para adequar o projeto da linha de montagem SMT 1 da empresa Quantum Eletrônica ao leiaute do modelo, algumas alterações serão necessárias na célula de montagem SMT, pois a mesma deverá ser ajustada para contemplar as novas máquinas e o novo arranjo físico dos fornos de refusão. A Figura 43, página 85, mostra a sugestão de leiaute, incluindo as novas máquinas.

A nova sequência de montagem indicada na Figura 43, possibilita a criação de um fluxo contínuo até o final do processo de montagem. A sequência de montagem está descrita a seguir:

- *Loader* – Abastecedor da linha de montagem;
- *Printer* – Aplicação da pasta de solda na PCI;
- *Conveyor 1* – Transporte entre máquinas;
- Juki FX1 – Inseridora de componentes SMD;
- Juki 2060 – Inseridora de componentes SMD;
- *Conveyor 2* – Transporte entre máquinas;
- Forno de refusão – soldagem dos componentes na PCI;
- *Vertical buffer* – armazenagem de peças vindas do forno de refusão;
- Máquina inspeção AOI – aferição de parâmetros de qualidade;
- *Reject conveyor* – rejeição da inspeção AOI;
- *Conveyor 3* - Transporte entre máquinas; e,
- *Automatic unloader* - armazenar peças da linha de montagem.

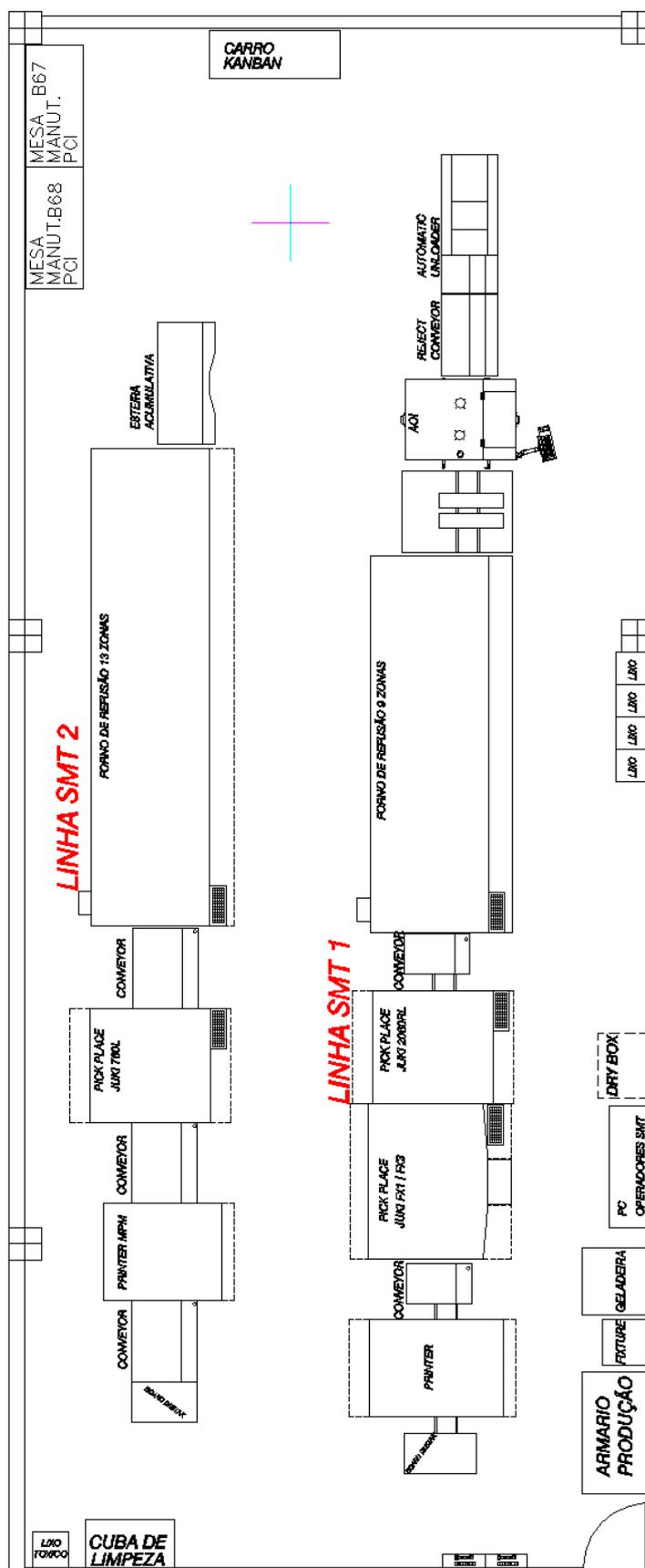


Figura 43 - Leiaute sugerido para a célula de montagem SMT

A revisão do leiaute possibilita um arranjo com todos os equipamentos necessários para o produto sair do setor SMT em magazines com cinquenta painéis (Figura 44).



Figura 44 - Magazine

Visando o correto funcionamento da linha de montagem SMT, os operadores deverão receber treinamento operacional sobre os novos equipamentos.

Diante do exposto anteriormente pode-se concluir que o modelo proposto neste TCC é uma ferramenta válida para assegurar as mudanças nos processos de montagem SMT. O modelo apresentado demonstra que é possível inserir os novos equipamentos na linha de montagem sem um grande impacto nos tempos de montagem dos produtos das famílias 1 e 2.

4.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho de conclusão de curso, muitas pesquisas podem ser desenvolvidas, todas com objetivo de agregar conhecimento, tais como:

- Desenvolver modelos para novas linhas de montagem;
- Aumentar o número de produtos dentro do simulador;
- Estudar a utilização de mão de obra na linha de montagem SMT;
- Estudar o compartilhamento dos recursos por mais clientes;
- Elaborar modelos de simulação celular para os processos THT;
- Estender o projeto de cronoanálises e simulação para a Linha SMT 2; e,
- Elaborar um modelo de simulação com os processos SMT e THT para análise de gargalos.

REFERÊNCIAS

ALTRADE Comércio e Representações Ltda. **Linha SMD**. Disponível em <<http://www.altrade.com.br>> Acesso em 20 de ago. 2014.

BANKS, J. **Handbook of simulation**: principles, methodology, advances, applications, and practice. Editora John Wiley & Sons: New Jersey, 1998.

CORRÊA, H.; GIANESI, I. **Just In Time, MRP II e OPT**: um enfoque estratégico, 2. ed. Atlas: São Paulo, 1996.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria & aplicações. Editora dos Autores, 2007.

FILHO, P.J.F. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**: com aplicações em Arena. 2. ed. Visual Books. 2008.

FONSECA, J.S. **Curso de Estatística**. 6. ed. Atlas: São Paulo, 1996.

GIL A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. Atlas: São Paulo, 2002.

JONASH, R. S.; SOMMERLATTE, T. **O valor da inovação**: como as empresas mais avançadas atingem alto desempenho e lucratividade. Campus: Rio de Janeiro, 2001.

JUKI do Brasil Comércio e Serviços de Máquinas. **Notícias**. Disponível em <<http://www.jukidobrasil.net.br/noticias.html>> Acesso em 08 de ago. 2013.

LAW, A.M. **Simulation Modeling and Analysis**. 4. ed. McGraw-Hill, 2007.

LEAN Institute Brasil. Disponível em <<http://www.lean.org.br/vocabulario.aspx>> Acesso em 05 de fev. 2014.

LEVINE, D.M.; STEPHAN, D.F.; KREHBIEL, T.C.; BERENSON, M.L. **Estatística**: teoria e aplicações. 6. ed. Editora LTC: Rio de Janeiro, 2013.

LÉXICO, Lean. **Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. Lean Institute Brasil: São Paulo, 2003.

LIKER, Jeffrey. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer**. McGraw-Hill: New York, 2003.

MONTGOMERY, Douglas C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. LTC: Rio de Janeiro, 2009.

MOURA, R. A. **KANBAN**: a simplicidade do controle de produção. Instituto de Movimentação e Montagem de Materiais. IMAM: São Paulo, 1999.

MURATA Manufacturing Co., Ltd. Disponível em <<http://www.murata.com/index.html>> Acesso em 03 fev. 2014.

MUTCOM. Disponível em <<http://www.mutcom.no.comunidades.net/index.php>> Acesso em 01 fev. 2014.

OHNO, T. **O Sistema toyota de produção**: além da produção em larga escala. Bookman: Porto Alegre, 1997.

OISHI, M. **TIPS**: Técnicas integradas de produção e serviços. Pioneira: São Paulo, 1995.

PDCA Consultoria em Qualidade S/C LTDA. Disponível em <<http://www.pdca.com.br/site/portal-tpm.html>> Acesso em 02 fev. 2014.

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using siman**. 2. ed. McGraw Hill: New York, 1995.

ROBINSON, S. **Simulation**: the practice of model development and use. John Wiley & Sons: New Jersey, 2004.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício – manual de trabalho de uma ferramenta enxuta. Lean Institute Brasil: São Paulo, 2003.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção**. 6. ed. Pioneira: São Paulo 2000.

SHARPMZ. Disponível em <<http://www.sharpmz.org/>> Acesso em 03 fev. 2014.

SHINGO, S. **Sistema toyota de produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. Bookmann: Porto Alegre, 1996a.

SHINGO, S. **Sistema de produção com estoque zero**: o sistema Shingo para melhorias contínuas. Bookman: Porto Alegre, 1996b.

SHINGO, S. **Sistema de troca rápida de ferramenta**: uma revolução nos sistemas produtivos. 2. ed. Bookman: Porto Alegre, 2000.

SILVA, E. L. D.; MENEZES, E. M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <<http://tccbiblio.paginas.ufsc.br/download/metodologia-da-pesquisa/>> Acesso em 04 jun. 2014.

SMD On Line. Disponível em <<http://smd-on-line.com/>> Acesso em 01 fev. 2014.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. 7. ed. Campus: Rio de Janeiro, 2004a.

WOMACK, J.; JONES, D. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Campus: Rio de Janeiro, 2004b.

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

Apêndices

Apêndice A

1 FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO ARENA

O ARENA é um software que contém ambiente gráfico integrado de simulação. O ambiente gráfico do ARENA permite a modelagem de processos assim como desenhos e animações, análises estatísticas e análises de resultados. O ARENA une os recursos de uma linguagem de programação à facilidade de uso de um simulador em ambiente gráfico integrado, porque todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e, visual.

Além de permitir a construção de modelos de simulação, o ARENA possui ainda ferramentas relacionadas com o modelo de simulação que facilitam a criação do modelo e, sua posterior análise de resultados. Estas ferramentas são:

- Analisador de dados de entrada (*input analyser*);
- Analisador de resultados (*output analyser*); e,
- Visualizador da simulação: *ARENA viewer*.

O software ARENA possui *templates*, ou seja, uma coleção de objetos/ferramentas de modelagem, que permitem ao utilizador descrever o comportamento do processo em análise. Todos estes processos são feitos sem recurso à programação.

1.1 *Templates* do Painel de Projeto

O software ARENA tem a capacidade da representação gráfica da programação de um modelo de simulação, o que faz com que a compreensão dos modelos de simulação criados seja mais acessível a qualquer utilizador.

Como se observa na Figura 45 a seguir, há uma barra de projetos que possui diferentes separadores com diferentes módulos, facilitando a implementação do modelo pretendido. Os separadores são respectivamente o *basic process*, *advanced transfer*, *advanced process*, *reports* e *navigate*.

O *basic process* é a categoria principal, uma vez que nesta categoria estão presentes os blocos essenciais para a criação de um projeto de simulação.

A Figura 26 mostra os diferentes módulos no painel *basic process*.

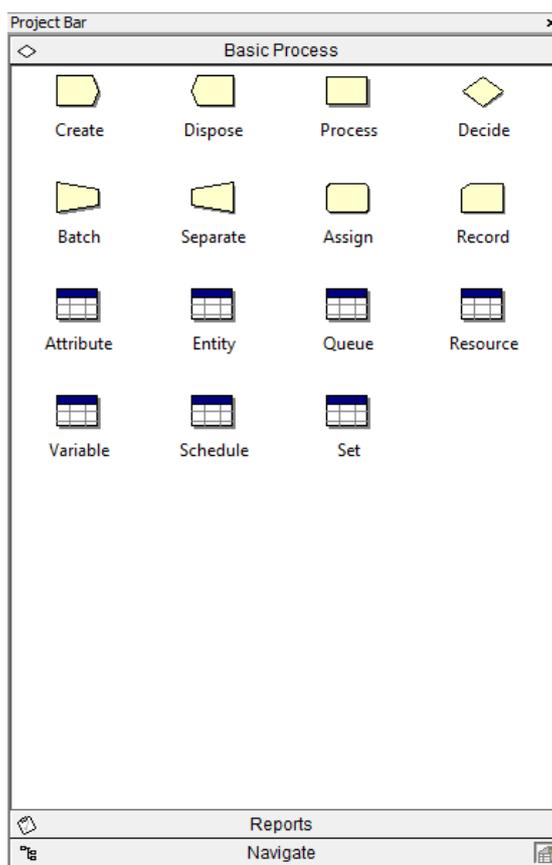


Figura 45 – Basic Process

Quanto aos módulos do *advanced transfer* a sua utilização é feita apenas para as animações de simulação, de forma a tornar o modelo menos abstrato e perceptível a qualquer utilizador. O grau de importância destes módulos é inferior ao do *basic process*, uma vez que é neste que a base do modelo é criado. A Figura 46 apresenta os módulos contidos nos painéis *advanced transfer* e *advanced process*.

O separador *navigate* permite o fácil acesso a diferentes partes dos modelos implementados, como se observa na Figura 47, na página 95.

Os relatórios mais úteis para o presente trabalho são os recursos (*resources*). Estes relatórios permitem tirar conclusões de todos os níveis: recursos utilizados, recursos inativos, tempo de execução do projeto, etc. O separador *reports* fornece uma análise estatística, através de informação registada em relatórios. Na Figura 48, na página 96, são mostrados os relatórios que o software ARENA permite criar.

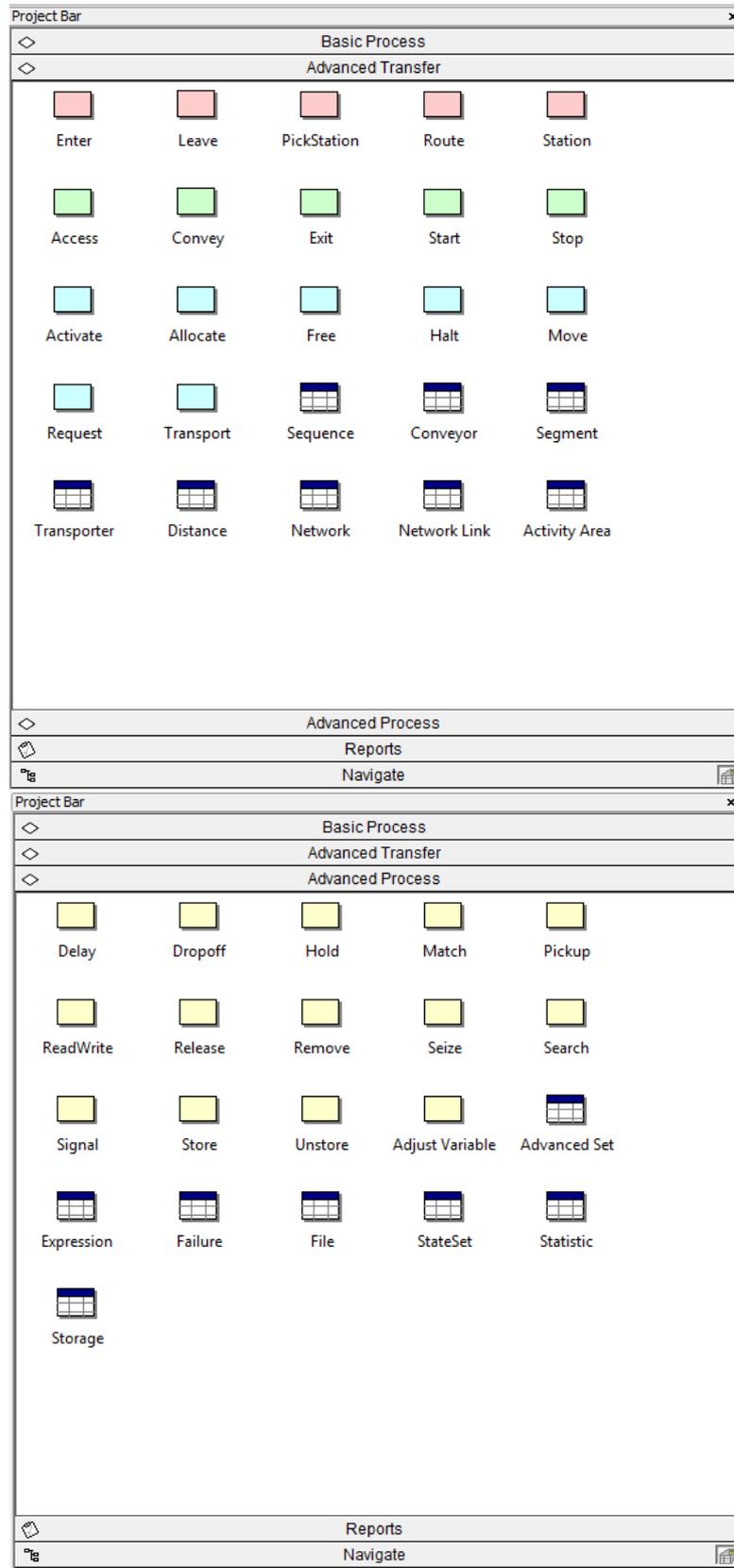


Figura 46 – Advanced Transfer and Advanced Process

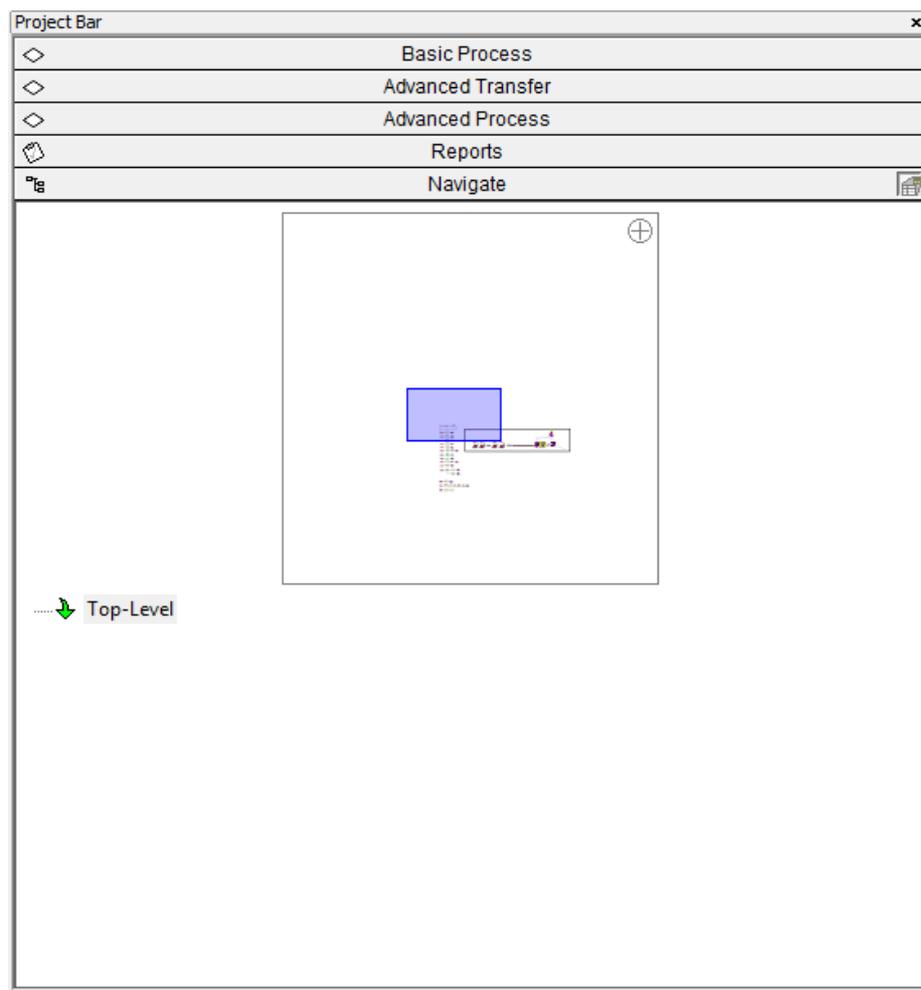


Figura 47 – Navigate

Visualizando a Figura 49, página 96, pode-se observar uma área de grande dimensão que é onde se constroem os modelos de simulação. A zona inferior a essa área é onde se podem editar dados tais como características de recursos, custos, blocos de tempos e entidades.

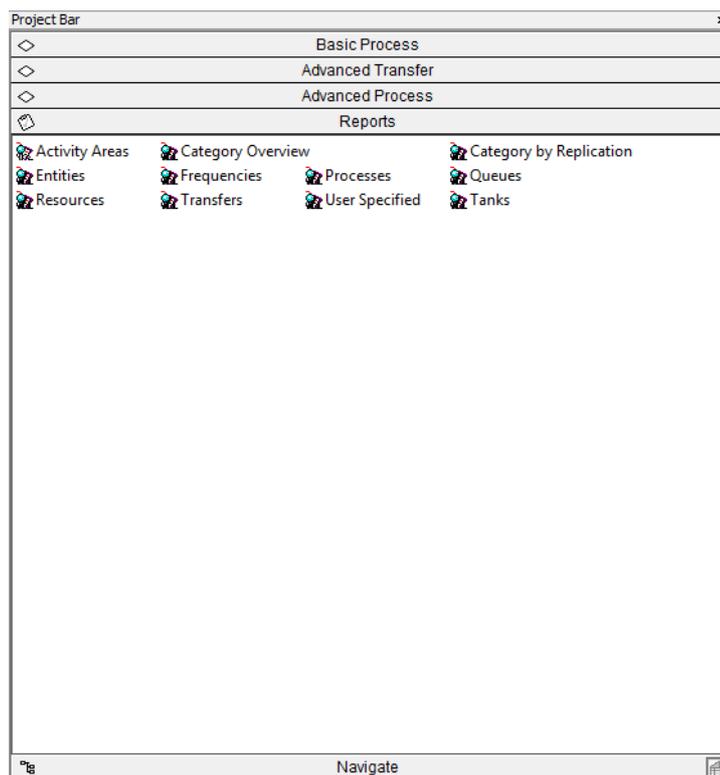


Figura 48 – Reports

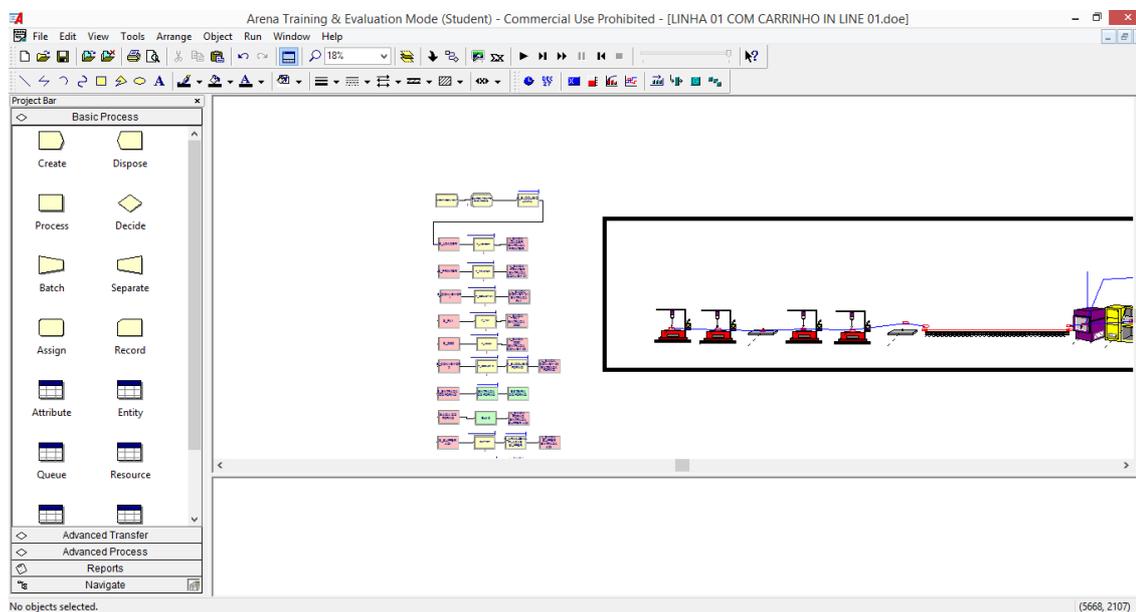


Figura 49 – Ambiente de Trabalho Arena

1.2 Blocos do Arena Utilizados – *Basic Process*

Dentro dos separadores anteriormente apresentados, estão inseridos vários blocos básicos e importantes para a resolução do projeto de simulação com que somos deparados. No texto que se segue é feita a definição dos processos mais

importantes. Junto de cada um deles está a figura que o identifica no software ARENA.

1.2.1 Bloco *Create*

O início de qualquer simulação é feito a partir deste bloco (Figura 50), visto ser neste ponto que as entidades são criadas.

As informações inseridas neste bloco são importantes para o processo de simulação, uma vez que se define o intervalo de tempo com que são criadas as entidades e, o tipo das mesmas.

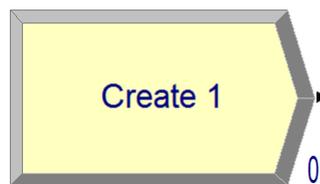


Figura 50 – Bloco *Create*

Uso típico:

- Início de uma parte ou da própria produção de uma linha de manufatura;
- A chegada de um documento em um processo administrativo ou de negócios;
- A chegada de um consumidor em um processo de serviços.

1.2.2 Bloco *Assign*

Este bloco (Figura 51) é utilizado para atribuir novos valores para as variáveis, atributos de entidades, tipos de entidades ou outras variáveis do sistema. Múltiplas tarefas podem ser feitas com um único módulo *Assign*.

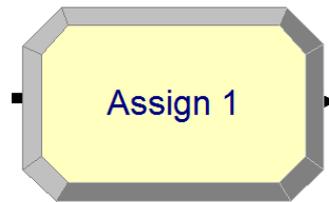


Figura 51 – Bloco *Assign*

Uso típico:

- Acumular o número de subconjuntos adicionado a uma peça;
- Alterar o tipo de uma entidade;
- Estabelecer a prioridade de um cliente sobre outros.

1.2.3 Bloco *Process*

Este bloco (Figura 52) é o principal método de processamento na simulação. Há a opção de usar um submodelo para especificar a lógica do processo definida pelo usuário. O tempo do processo é atribuído à entidade.

Uso típico:

- Usinagem de uma peça;
- Cumprimento de ordens;
- Servir um cliente.

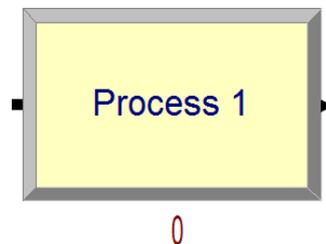


Figura 52 – Bloco *Process*

1.2.4 Bloco *Decide*

Este bloco (Figura 53) permite a tomada de decisão de um sistema. Inclui opções para efetuar decisões em duas ou mais condições pré-ajustadas. As condições podem ser tomadas por prioridade, expressões, tipos de entidades dentre outras maneiras.

Existe uma saída para cada condição pré-ajustada neste módulo. Ou seja, se o bloco *Decide* puder efetuar uma tomada de condição considerando apenas as possibilidades “verdadeiro” ou ‘falso’, duas saídas serão inclusas neste módulo para a saída da única entrada após a verificação sobre as condições determinadas pelo módulo. Se um processo lógico em que três condições existam, este módulo possuirá três saídas.

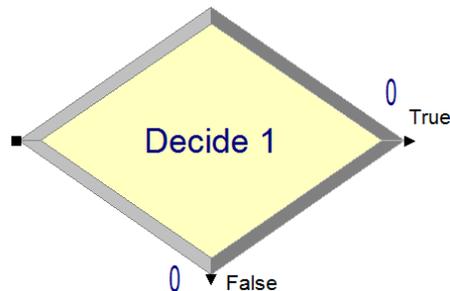


Figura 53 – Bloco *Decide*

Uso típico:

- Despachar uma peça defeituosa para retrabalho;
- Envio de clientes prioritários a um processo dedicado.

1.2.5 Bloco *Record*

Este bloco (Figura 54) é usado para coletar as estatísticas no modelo de simulação. Vários tipos observacionais de estatísticas estão disponíveis, incluindo o tempo entre as saídas através dos blocos, estatísticas como tempo ou custos, observações gerais e intervalos.



Figura 54 – Bloco *Record*

Uso típico:

- Coletar o número de serviços realizados a cada hora de simulação;
- Contar quantas ordens estão atrasadas;
- Anotar o tempo gasto por clientes prioritários na principal linha de check-out.

1.2.6 Bloco *Batch*

Este bloco (Figura 55) é concebido como o mecanismo de agrupamento dentro do modelo de simulação. Os lotes podem ser agrupados de forma permanente ou temporária. Lotes temporários devem ser mais tarde divididos usando o módulo *separate*.

Os lotes podem ser feitos com qualquer número especificado de entidades ou podem ser introduzidos combinados em conjunto com base em um atributo. Entidades que chegam ao módulo *Batch* são colocados numa fila até que o número necessário de entidades se acumule. Uma vez acumulado, uma nova entidade é criada.

Uso típico:

- Coletar um número especificado de partes antes do início do processo;
- Reagrupar um conjunto de partes previamente desagrupado;
- Reunir um paciente e seu registro antes de iniciar uma consulta.

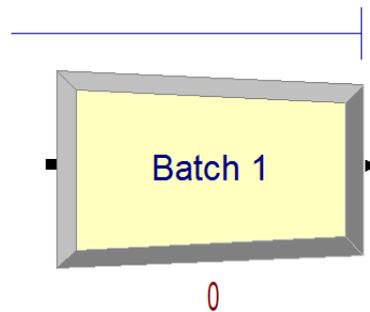


Figura 55 – Bloco *Batch*

1.2.7 Bloco *Dispose*

Este bloco (Figura 56) age como um ponto final para as entidades em um modelo de simulação. Entidades estatísticas podem ser verificados antes da entidade ser descartada.

Uso típico:

- Peças que saem do modelo de simulação;
- O término de um processo de negócios;
- Os clientes que partem da loja.

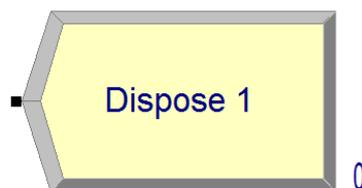


Figura 56 – Bloco *Dispose*

1.3 Blocos do Arena Utilizados – *Advanced Process*

1.3.1 Bloco *Hold*

Este Bloco (Figura 57) irá segurar uma entidade em uma fila a espera de um sinal, aguardando uma determinada condição para se tornar verdadeira, a espera pode ser realizada infinitamente até ser removida mais tarde com o módulo *Remove*.

Se a entidade está segurando para um sinal, o módulo de sinal é usado em outras partes do modelo para permitir que a entidade passe para o próximo módulo. Se a entidade está segurando para uma determinada condição verdadeira, a entidade permanecerá no módulo até que a condição se torna verdadeira. Quando a entidade está em uma espera infinita, o módulo *Remove* é usado em outras partes do modelo para permitir que a entidade continue o processamento.

Uso típico:

- À espera de um semáforo ficar verde;
- Segurando uma parte de uma autorização;
- Verificar o estado de uma máquina ou do operador para continuar um processo.

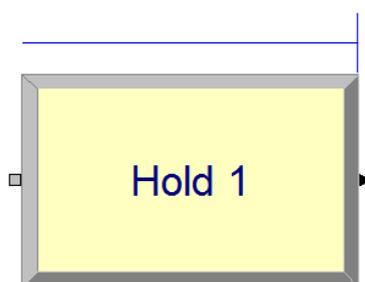


Figura 57 – Bloco Hold

1.4 Blocos do Arena Utilizados – *Advanced Transfer*

1.4.1 Bloco *Station*

Esse bloco (Figura 58) define uma estação (ou um conjunto de estações) correspondente a uma posição física ou localização lógica onde ocorre determinado processamento.

A estação (ou cada estação dentro do conjunto definido) tem uma área de atividade correspondente que é usada para relatar todos os tempos e custos acumulados pelas entidades nesta estação.



Figura 58 – Bloco *Station*

Uso típico:

- A definição de um conjunto de cabines de pedágio;
- Definindo uma área de preparação de alimentos.

1.4.2 Bloco *Leave*

O Bloco *Leave* (Figura 59) é usado para transferir uma entidade de uma estação ou bloco. Uma entidade pode ser transferida de duas formas. Ela pode ser transferida para um módulo que define uma estação ou pode ser utilizada para transferir uma entidade de outro módulo. Quando uma entidade chega a um bloco *Leave*, pode esperar para obter um dispositivo de transferência (recurso, transportador, ou transportadora). Quando o dispositivo de transferência for obtida, a entidade pode enfrentar um atraso de carregamento. Finalmente, a entidade é transferida a partir deste módulo para um módulo de destino ou à uma *Station*.

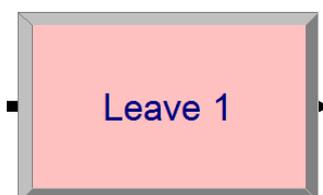


Figura 59 – Bloco *Leave*

Uso típico desse módulo é o final da produção em série de um processo em paralelo onde é necessário, por exemplo, o uso de uma empilhadeira para ser transferida para o transporte.

1.4.3 Bloco *Access*

O bloco *Access* (Figura 60) atribui uma ou mais células de um transportador para uma entidade de movimento de uma estação para outra. Logo que a entidade tenha controle das células no transportador, pode, então, ser transportado para a estação seguinte.

Quando uma entidade chega a um módulo *Access*, ela vai esperar até o número adequado de células contíguas no transportador estiver vazia e alinhada com a localização da entidade *Station*.



Figura 60 – Bloco *Access*

Uso típico:

- Peças acessando um transportador (*conveyor*) para ser enviado à uma cabine de pintura;
- Vidro acessando um transportador para ser transferido à uma estação de corte.

1.4.4 Bloco *Convey*

O bloco *Convey* (Figura 61) move uma entidade em um transportador da sua atual localização na estação para uma estação de destino especificado. O atraso de tempo para transmitir a entidade a partir de uma estação para a seguinte é baseada na velocidade do transportador (especificado no *Conveyor Module*) e a distância entre as estações (especificado no *Segment Module*).

Quando uma entidade entra num módulo *Convey*, seu atributo *Station* (*Entity.Station*), está definido para a estação de destino. A entidade é então

transportada para a estação de destino. Se o tipo de destino é especificado como *By Sequence*, a estação seguinte é determinada pela sequência da entidade.



Figura 61 – Bloco *Convey*

Uso típico:

- Transmitir malas de um local para área de bagagens;
- Transmitir partes de uma estação de carga para a estação de tratamento.

1.4.5 Bloco *Exit*

O bloco *Exit* (Figura 62) libera células da entidade sobre o transportador especificado. Se uma outra entidade está esperando na fila para o transportador, na mesma estação, quando as células são liberadas, ele então acessará o transportador.

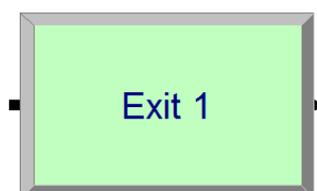


Figura 62 – Bloco *Exit*

Uso típico:

- Saída de um transportador para a embalagem;
- Eliminar peças ruins do transportador;
- Remover bagagem de esteiras.

1.5 Ferramentas do Arena

1.5.1 *Input Analyzer*

Em um modelo de simulação, são inseridos dados para que ele represente com precisão o sistema em estudo. Alguns dados têm valores bem determinados, como por exemplo, distâncias, número de máquinas disponíveis e outras.

Porém existem aqueles que são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Este valor médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas e folhas de processo. Porém, em uma situação dinâmica há a possibilidade de inserir esta variação no modelo, por meio de distribuições estatísticas.

Estas distribuições são determinadas através da coleta de dados do evento de interesse. Estes dados são agrupados por classes em um histograma e, então uma distribuição estatística é inferida a este histograma.

O ARENA possui a ferramenta Input Analyzer, que em segundos faz este processo automaticamente.

O Input Analyzer pode ser acessado a partir do grupo do ARENA ou por dentro do ARENA através do menu options. Uma vez iniciado o Input Analyzer, criar um novo arquivo pelo menu file e em seguida New. Depois usa-se o menu File com a opção Data File ==> Use Existing. Em seguida abrirá uma caixa de diálogo onde deve ser trocada a terminação do tipo de arquivo para arquivos textos (*.txt) e então indicar na árvore de diretórios onde se encontra o arquivo que foi criado para os dados em questão.

1.5.2 *Output Analyzer*

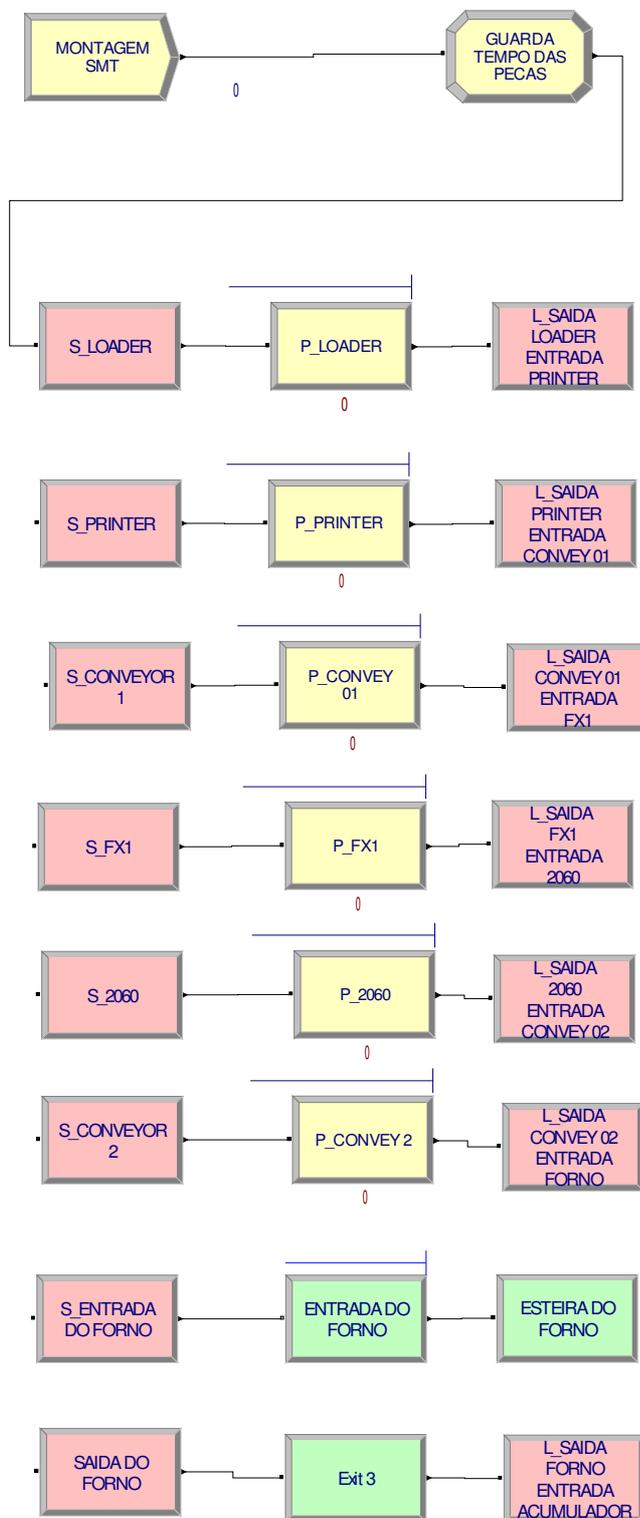
O componente *Output Analyzer* da Arena fornece uma interface fácil de usar que simplifica a análise de dados e permite visualizar e analisar os seus dados de forma rápida e fácil.

Arquivos de dados de saída são gerados por uma simulação de uma ou mais repetições. Esses arquivos são criados quando um nome de arquivo de saída é especificado para salvar observações individuais de uma estatística particular (por exemplo, usando o módulo de Estatística do painel *Advanced Process*); eles contêm cada observação de uma estatística e o momento em que ocorreu a observação. Por exemplo, se uma estatística é cobrada sobre o número de entidades em uma fila, o relatório de síntese apresentada no final de cada replicação fornece a média da amostra, o coeficiente de variação e, valores mínimos e máximos observados. Se

esta estatística também foi armazenada em um arquivo de saída, em seguida, o arquivo deve conter um registro de dados para cada mudança no comprimento da fila, proporcionando o tempo em que o comprimento da fila mudou e, o novo número na fila. Este arquivo pode ser plotado e analisado no *Output Analyzer*.

Apêndice B

Modelo auxiliar, Figura 63, elaborado conforme o leiaute do processo SMT atualmente instalado na empresa Quantum.



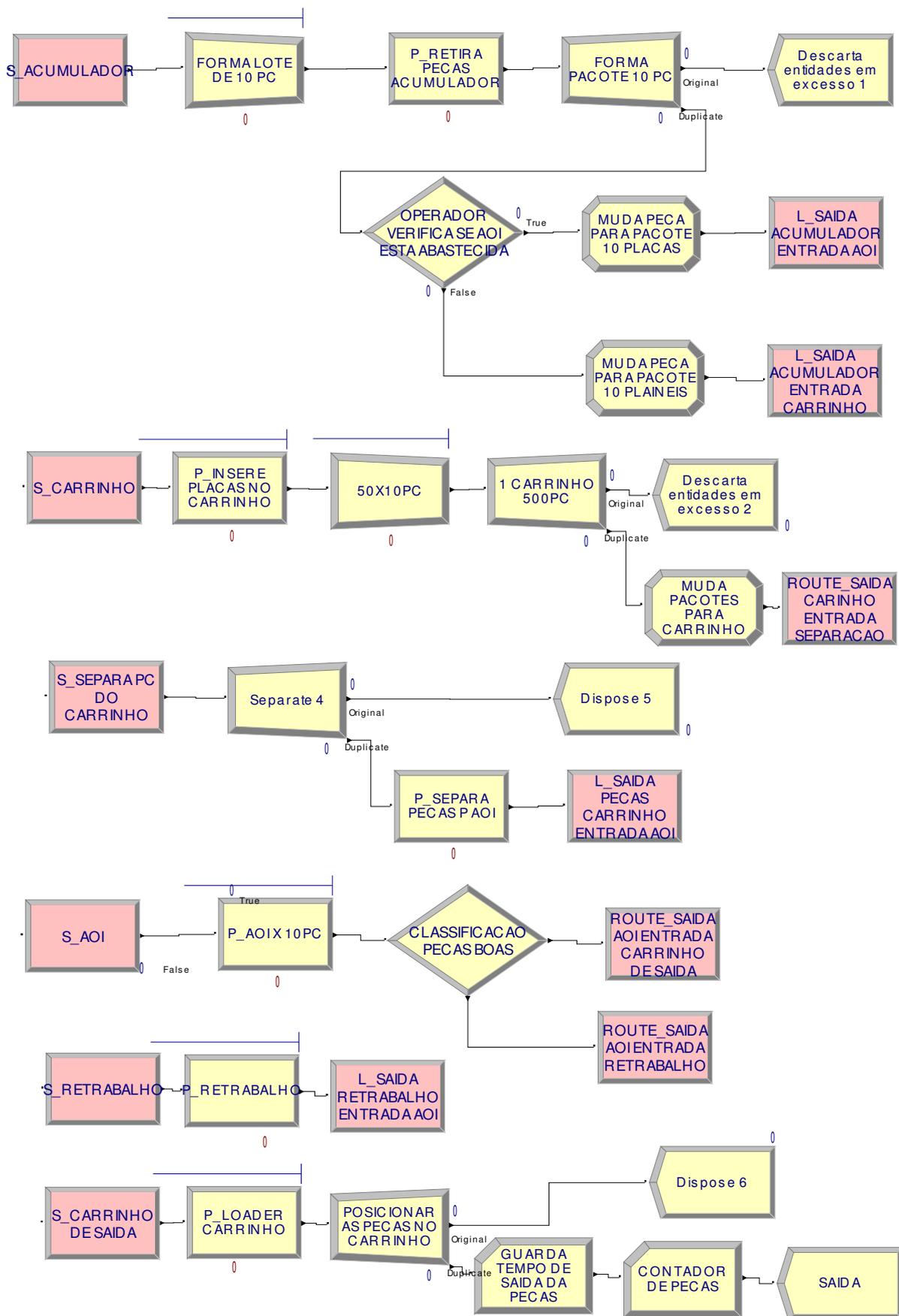


Figura 63 – Modelo auxiliar

O relatório com os resultados da simulação para o modelo auxiliar está na Figura 64, o mesmo está preenchido com dados de montagem de um lote de um mil duzentos e cinquenta painéis (1250).

Na Figura 62 é possível visualizar a tópicos *Tally*, a mesmo tem os dados de saída das entidades do sistema. A coluna *Average* corresponde ao tempo médio das saídas das entidades do sistema, a coluna *Half Width* demonstra o intervalo entre as saídas das entidades, a coluna *Minimum Value* corresponde ao valor mínimo registrado e a coluna *Maximum Value* corresponde ao valor máximo que uma entidade levou para sair do sistema.

O gráfico *Counter* (Figura 64) é um contador de entidades, o mesmo tem a função de registrar o número de saídas do sistema.

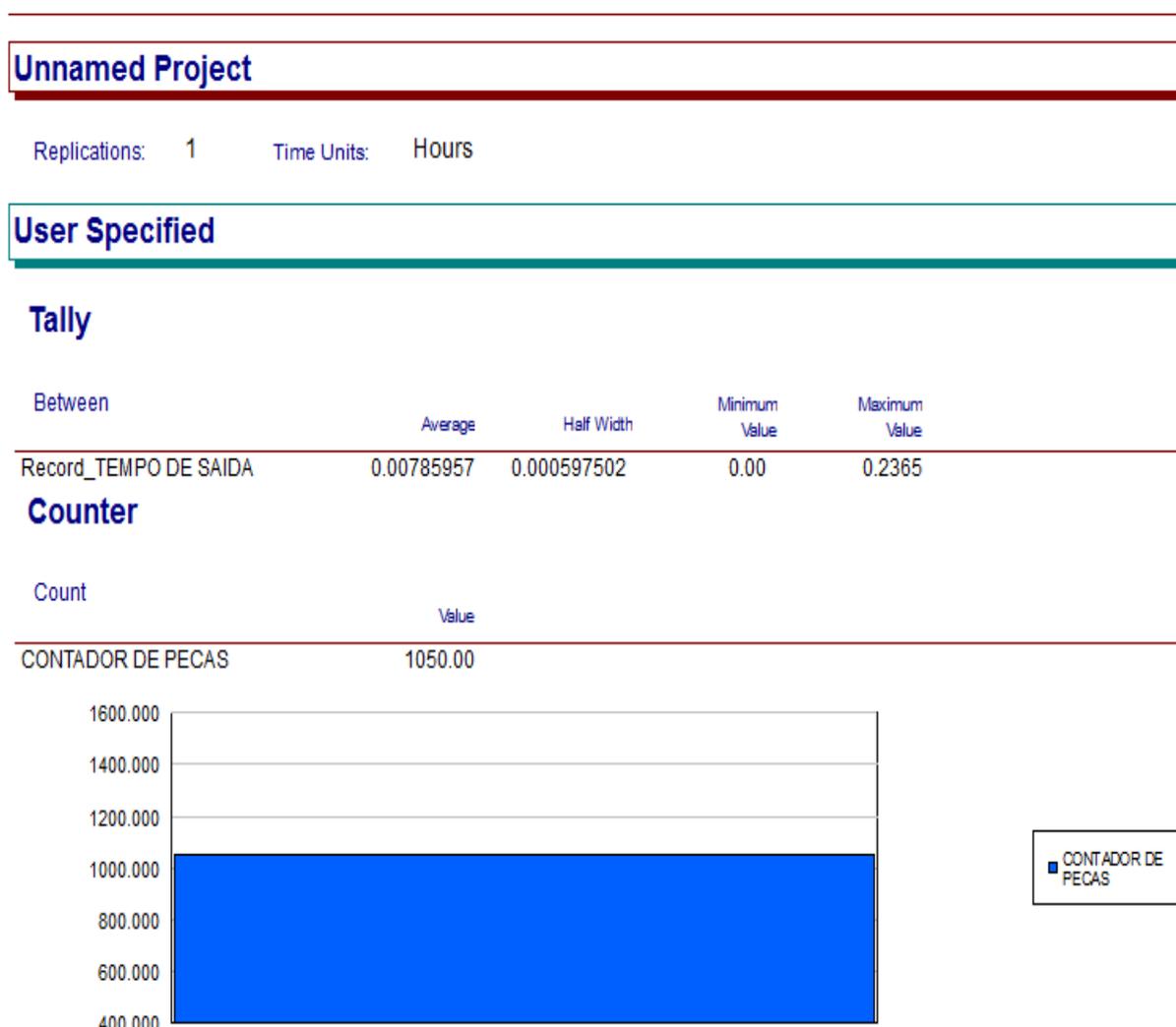
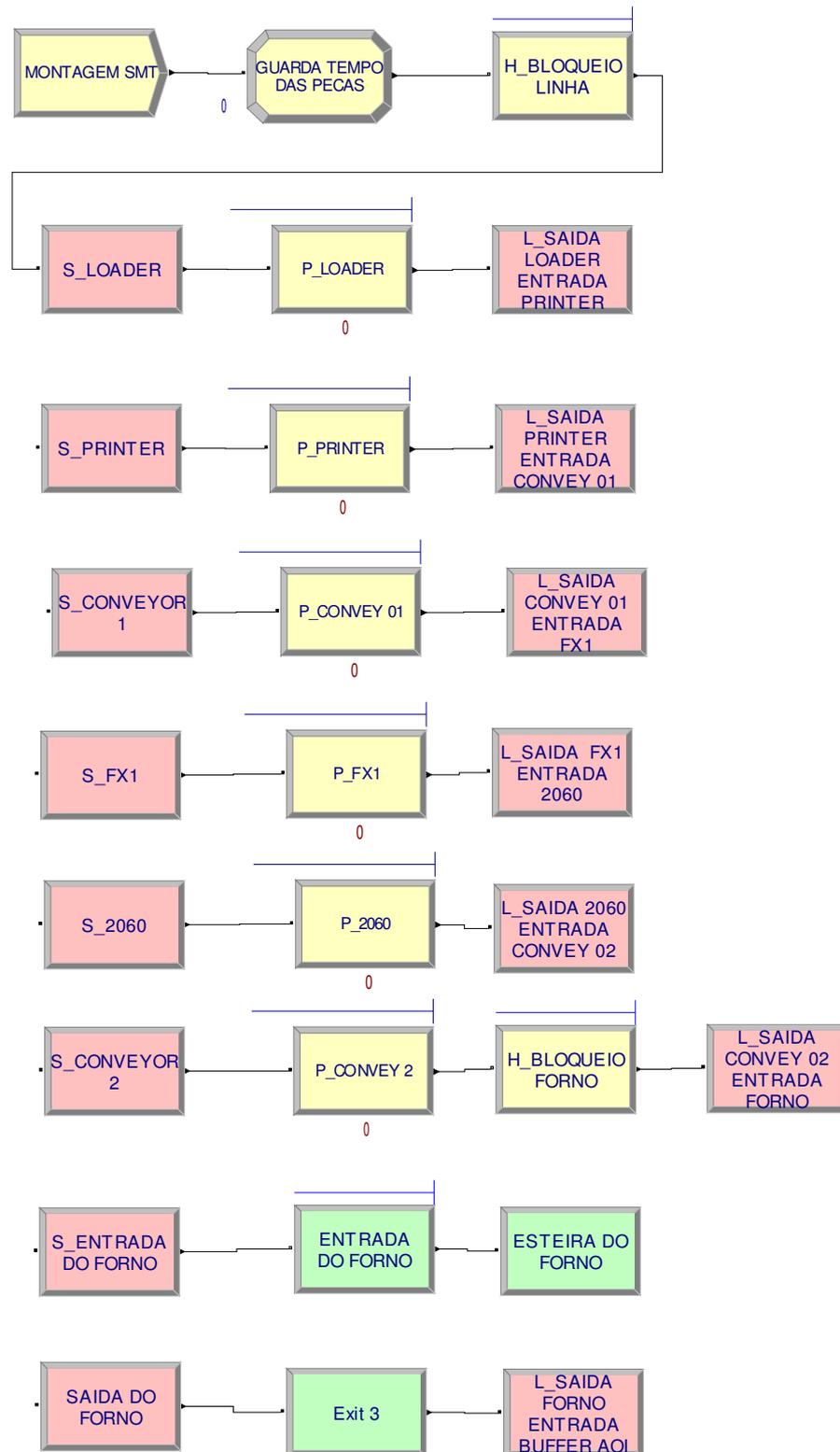


Figura 64 – Relatório Arena – Apêndice B

Apêndice C

Modelo elaborado conforme a proposta de leiaute do processo SMT na empresa Quantum, empregando novas máquinas.



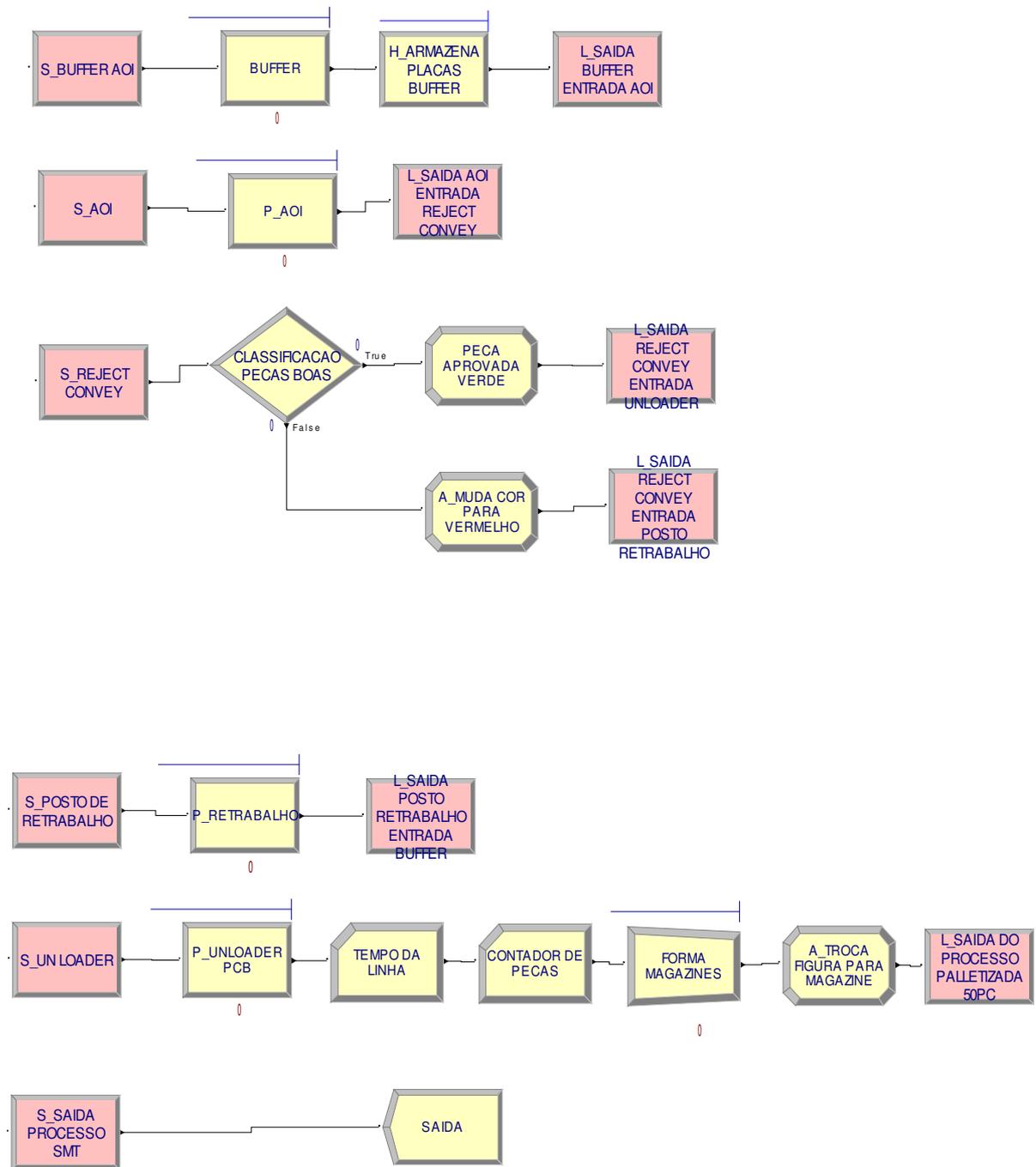


Figura 65 – Modelo da linha de montagem SMT

O relatório com os resultados da simulação para o modelo proposto está na Figura 65, o mesmo está preenchido com dados de montagem de um lote de um mil duzentos e cinquenta painéis (1250).

Na Figura 65 é possível visualizar a tópicos *Tally*, a mesmo tem os dados de saída das entidades do sistema. A coluna *Average* corresponde ao tempo médio das saídas das entidades do sistema, a coluna *Half Width* demonstra o intervalo entre as saídas das entidades, a coluna *Minimum Value* corresponde ao valor mínimo registrado e a coluna *Maximum Value* corresponde ao valor máximo que uma entidade levou para sair do sistema.

O gráfico *Counter* (Figura 66) é um contador de entidades, o mesmo tem a função de registrar o número de saídas do sistema.

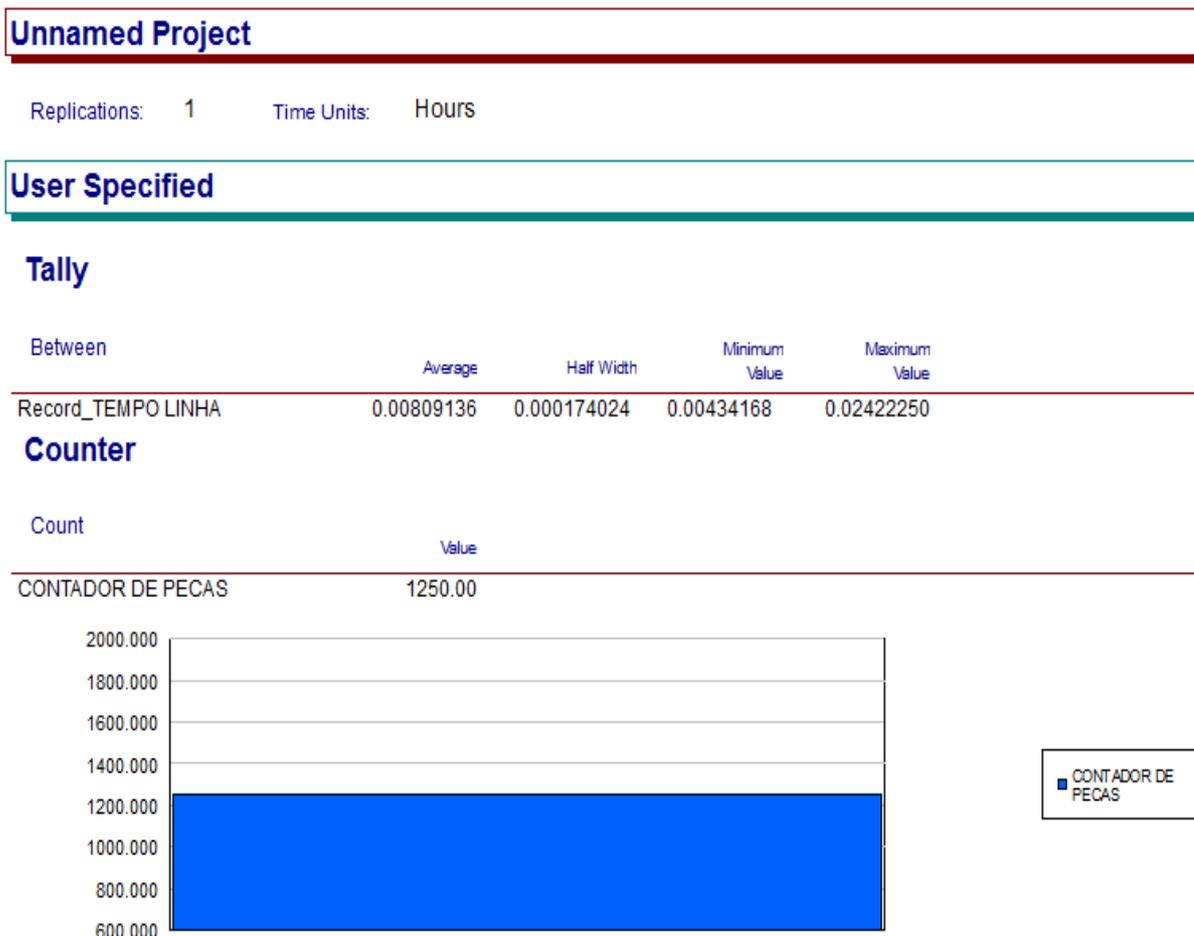


Figura 66 – Relatório Arena – Apêndice C