

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DANIELLE SILVA DAS NEVES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE
CONECTORES ÓPTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

(TCC 2)

CURITIBA

2018

DANIELLE SILVA DAS NEVES

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CONECTORES ÓPTICOS

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lüders

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Magatão

CURITIBA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa MODELAGEM E SIMULACAO DE UMA LINHA DE PRODUCAO DE CONECTORES ÓPTICOS, realizado pela aluna DANIELLE SILVA DAS NEVES, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Dr. Ricardo Lüders

Departamento Acadêmico de Informática, DAINF

Orientador

Prof. Dr. Leandro Magatão

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC

Coorientador

Prof. Dr. Paulo Antonio Reaes

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC

Avaliador

Prof. Msc. Osvaldo Verussa Junior

Departamento Acadêmico de Mecânica, DAMEC

Avaliador

Curitiba, 07 de Dezembro de 2018

*“It is not enough to do your best; you must know what to do,
and then do your best”*

William Edwards Deming (1900-1993)

RESUMO

NEVES, Danielle Silva das. Modelagem e simulação de uma linha de produção de conectores ópticos. 78 f. Trabalho de conclusão de curso, Bacharelado em Engenharia mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O objetivo deste trabalho é modelar e simular uma linha de produção de conectores ópticos de uma empresa de telecomunicações localizada na região de Curitiba. Muitos indicadores desta produção são desconhecidos dos líderes e engenheiros responsáveis, dificultando a caracterização do comportamento da produção e a tomada de decisões que melhorem a produtividade. A simulação da linha de produção permite caracterizar melhor o comportamento da produção e identificar gargalos, através de diferentes taxas de utilização de estações e operadores. O modelo de simulação implementado no pacote Simio considera medidas de tempo obtidas da linha real, estações semi-automáticas, buffers entre todas as estações, tempo de deslocamento dos operadores e alimentação da linha sem restrições de material. Os resultados mostram que ganhos de produtividade podem ser obtidos apenas com a relocação de tarefas entre os operadores e com o aumento de capacidade de determinadas estações com baixos investimentos.

Palavras-chave: Pesquisa operacional, Simulação da manufatura, Avaliação de desempenho, Conectores ópticos, Indústria de telecomunicação.

ABSTRACT

NEVES, Danielle Silva das. Modelling and simulation of optical connectors production line. 78 f. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Mechanical Engineering Department, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The objective of this work is to model and simulate a production line of optical connectors of a telecommunications company located in the region of Curitiba. Many indicators of this production are unknown to responsible leaders and engineers, making it difficult to characterize production behavior and make decisions that improve productivity. Simulation of the production line allows a better characterization of the production behavior and identify bottlenecks, through different rates of utilization of stations and operators. The simulation model implemented in the Simio package considers time measurements obtained from the real line, semiautomatic stations, buffers between all stations, operator travel time and line feed without material restrictions. The results show that productivity gains can be obtained only by the relocation of tasks between operators and the increase of capacity of certain stations with low investments.

Palavras-chave: Operation Research, Manufacturing Simulation, Performance Evaluation, Optical Connectors, Telecommunication Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da linha de produção do estudo	15
Figura 2 - Constituição de uma fibra óptica	20
Figura 3 - Tipos de fibras ópticas: monomodo e multimodo.	20
Figura 4 - Perdas de IL e RL devido a sujeira.	22
Figura 5 - Exemplos de conectores LC e SC, na sequência	23
Figura 6- Tipos de polimento e seus desempenhos	23
Figura 7 – Exemplos de conectores de campo APC (verde) e UPC (azul)	24
Figura 8- Tipos de processo em operações de manufatura	25
Figura 9 – Diagrama de precedências	28
Figura 10 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação	33
Figura 11 - Linhas de montagem dos conectores ópticos de campo	39
Figura 12 - Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação	49
Figura 13 - Exemplos de <i>Source</i> , <i>Server</i> , <i>Workers</i> , <i>Nodes</i> , <i>Connectors</i> e <i>Sink</i> no <i>software</i> Simio	51
Figura 14 - Experimento realizado no Mod. B para avaliar o intervalo de confiança.	53
Figura 15 - Representação 2D da linha gerada no Simio 10	54
Figura 16 - Exemplo de processo no Simio	58
Figura 17 - Gráfico da distribuição triangular	67
Figura 18 - Representação da dist. triangular nos tempos dos <i>servers</i>	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos típicos básicos de <i>layout</i>	27
Tabela 2 - Aplicações específicas dos principais <i>softwares</i> de simulação.....	34
Tabela 3 - Divisão dos postos de trabalho e operadores	37
Tabela 4 - Fluxo de processo (Flowchart) para produção do conector de campo.....	41
Tabela 5 – Capacidades da linha de conectores de campo.....	45
Tabela 6 - Indicadores de desempenho da linha usando 13 estações.....	55
Tabela 7 - Comparativo do processo com e sem trabalhadores	56
Tabela 8- Resultado das entradas e saídas do modelo B.....	59
Tabela 9 - Resultados para os postos do 1 ao 6 da Linha 1 (Modelo B).....	60
Tabela 10 - Resultados para os postos compartilhados entre as duas linhas.....	61
Tabela 11 - Resultados para os postos do 10 ao 13 da Linha 1 (Modelo B).....	61
Tabela 12 - Resultados da utilização e da alocação de unidades na linha	62
Tabela 13 - Divisão dos postos de trabalho e operadores com alternativas	63
Tabela 14 - Resultado das entradas e saídas com as alterações no Modelo B.....	64
Tabela 15 - Resultados da utilização e da alocação de unidades nos operadores...	64
Tabela 16 - Resultados para os postos 1 ao 13 com as alterações do Modelo B.....	65
Tabela 17 - Resultado das entradas e saídas do modelo C (dist. triangular).....	68
Tabela 18 - Resultados para os postos do 1 ao 6 da Linha 1 (Modelo C).....	69
Tabela 19 - Resultados para os postos compartilhados entre as duas linhas.....	69
Tabela 20 - Resultados para os postos do 10 ao 13 da Linha 1 (Modelo C).....	69
Tabela 21 - Resultados da utilização e da alocação de unidades Modelo C	70

LISTA DE SIGLAS

UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PAS	Pesquisa Anual de Serviços
PO	Pesquisa Operacional
TPS	Sistema Toyota de Produção (<i>Toyota Production System</i>)
UT	Unidade de Tempo
SM	Monomodo (<i>Single Mode</i>)
MM	Multimodo (<i>Multi Mode</i>)
IL	Perda de inserção (<i>Insertion Loss</i>)
RL	Perda de Retorno (<i>Return Loss</i>)
dB	Decibel
LC	<i>Lucent Connector</i> (Conector Lucent)
FTTH	<i>Fiber to the Home</i> (Fibra até a casa)
FTTx	<i>Fiber to the x</i> (Fibra até um lugar específico)
PC	<i>Physical Contact Polishing</i> (Polimento de contato físico)
UPC	<i>Ultra Physical Contact Polishing</i> (Ultra polimento de contato físico)
APC	<i>Angled Physical Contact Polishing</i> (Polimento de contato físico angulado)
WIP	<i>Work in Process</i> ou <i>Progress</i> (Trabalho em Processo)

LISTA DE ACRÔNIMOS

DAMEC	Departamento Acadêmico de Mecânica
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
LED	Diodo Emissor de Luz (<i>Light Emissor Diode</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contexto do Tema	13
1.2	Caracterização do Problema	14
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivos específicos	16
1.4	Justificativa	17
1.5	Conteúdo ou Etapas do Trabalho	18
2	REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1	Fibra óptica e conectores	19
2.1.1	Fibra óptica: constituição, tipos e conexão	19
2.1.2	Conectores ópticos	22
2.2	Fundamentos da linha de montagem	24
2.2.1	Arranjos físicos e <i>layouts</i> de manufatura	25
2.2.2	Terminologia e indicadores para análise de linhas de produção	28
2.3	Simulação	30
2.3.1	Etapas na formulação de um estudo envolvendo modelagem e simulação	32
2.3.2	Escolha do <i>software</i> de simulação	33
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	36
3.1	Linha de Montagem dos Conectores	36
3.2	Tarefas e postos de trabalho	40
3.3	Planejamento da Produção e Simulação	44
4	DESENVOLVIMENTO	46
4.1	Metodologia para o desenvolvimento do modelo	46
4.2	Modelo de Simulação	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1	Medidas de campo na linha real	55
5.2	Modelo A	56
5.3	Modelo B	57
5.3.1	Alternativas para melhoria dos indicadores	62
5.4	Modelo C	66
5.4.1	Distribuição triangular nos tempos de processamento das estações	66
6	CONCLUSÕES	72
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Com a chegada da quinta geração de comunicação móvel (5G) e também da disseminação da Internet das Coisas (IoT), a famosa indústria 4.0, os serviços de telecomunicações são o grande destaque na economia do Brasil no setor de serviços. Inclusive, devem continuar com a primeira posição entre os serviços que mais geram receita operacional líquida no país, exceto os financeiros, segundo a Pesquisa Anual de Serviços (PAS) do IBGE (2017).

Além da importância na produção dos bens, o setor de telecomunicações agrega valor ao produto final conectando-se aos fatores produtivos e tecnológicos, aumentando o rendimento dos serviços como um todo (ALBUQUERQUE, 2017).

Para o setor de telecomunicações continuar crescendo, é indispensável o uso de novas formas de transmissão e cabeamento, que é o caso da fibra óptica¹. Por meio dela é possível oferecer mais velocidade e maior capacidade de envio de dados. Em função disso, muitas empresas estão focando no aumento de produção de fibra e conectores ópticos e inclusive, receberam investimentos externos visando a expansão desse mercado.

Desde 1975 que o uso da fibra óptica vem progredindo e alinhado a isso, outros componentes dos sistemas ópticos também evoluíram, como: emissores, detectores, emendas ópticas e conectores (SILVA JUNIOR, TABINI e NUNES, 1991). Apesar dos princípios continuarem os mesmos, existem diversos avanços na produção de cabos e conectores ópticos.

Para colaborar ainda mais com a popularidade e aplicabilidade da fibra óptica, as técnicas de fabricação precisam acompanhar esse crescimento. Por isso, os fabricantes devem manter-se atualizados para que seja obtido o máximo lucro com seu produto, a fim de sustentar-se nesse mercado competitivo (JESUS *et al.*, 2013).

¹ *Fibra óptica é um filamento que transmite dados através da refração de luz. Utilizada nas telecomunicações, na medicina, em informática e em sinais de TV. Esses conceitos serão melhor detalhados no Capítulo 2.*

1.1 Contexto do Tema

Este trabalho apresenta um Projeto de Pesquisa com a proposta de auxiliar os engenheiros da área e o planejamento de produção em uma linha de montagens de conectores ópticos. A linha em questão situa-se em uma das fábricas de conectores de uma empresa de telecomunicações na região metropolitana de Curitiba.

Baseado no crescimento do consumo de fibra óptica em virtude da ampliação de *data centers* (centro de dados), mobilidade e IoT, as fábricas desses componentes e dos conectores precisam acompanhar os números e produzir mais. Porém, infelizmente, essa tecnologia ainda é nova no Brasil e, por consequência, os equipamentos utilizados e boa parte dos materiais são importados.

No contexto em estudo, as tarefas produtivas são ainda praticamente todas manuais e é preciso ter um elevado rigor nos testes finais e no controle de qualidade, devido aos requisitos técnicos da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações). Para completar, existem os problemas recorrentes da linha de produção: falta ou atraso de matéria-prima, manutenção ou quebra das máquinas, funcionário em treinamento ou pouco assíduo, aumento da demanda e dos pedidos dos clientes, previsão incorreta da produção, dentre outros.

Aliado a isso, há a carência de profissionais qualificados na área e poucos engenheiros cuidando do processo. Por isso é imprescindível controlar todas as atividades produtivas para avaliar o desempenho de seus processos e realizar as melhorias cabíveis, pois existem diversas formas de analisar e conduzir a fabricação desses itens de forma mais eficiente. Deste modo, o uso de métodos quantitativos no auxílio à tomada de decisões operacionais no contexto em estudo se faz importante.

No presente trabalho, abrange-se uma das áreas de Pesquisa Operacional (PO), definida como um método ou sistema científico para a tomada de decisões por meio de modelos e experimentações matemáticas (SILVA, 2011). Uma dessas técnicas de PO engloba a simulação, que segundo Pegden, Shannon e Sadowski (1990) 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”.

Por meio de um modelo de simulação da linha de montagem de conectores, avalia-se o desempenho atual da linha e propõem-se melhorias no processo de produção.

1.2 Caracterização do Problema

A maior parte das decisões estratégicas dentro de uma organização provém do desafio de prever a demanda do cliente. A dificuldade existe porque a necessidade por bens e serviços variam muito, dificultando a geração de previsões precisas. Desta forma, as previsões são úteis tanto para a administração de processos como para a administração das cadeias de valor (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009). O contexto em análise envolve desde a coordenação dos clientes e fornecedores, dos produtos nos diferentes processos, no cronograma de produção e de estoque, e outros. Por isso, envolvem várias áreas da empresa: marketing, financeiro, recursos humanos e operações.

No contexto fabril, um fato que agrega dificuldade é a falta de dados e análises mais detalhadas das linhas de produção. Como já dizia William Edwards Deming, considerado o pai da evolução na qualidade: “não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia”. Portanto, simular a linha de produção em análise é fundamental para antever possíveis tendências não desejadas e melhor preparar os responsáveis com os dados destes acontecimentos. Agrega-se ao contexto, o auxílio no alcance das metas definidas pelos diretores e o apoio ao engenheiro responsável em suas atividades para diminuir as taxas de retrabalho e sucata.

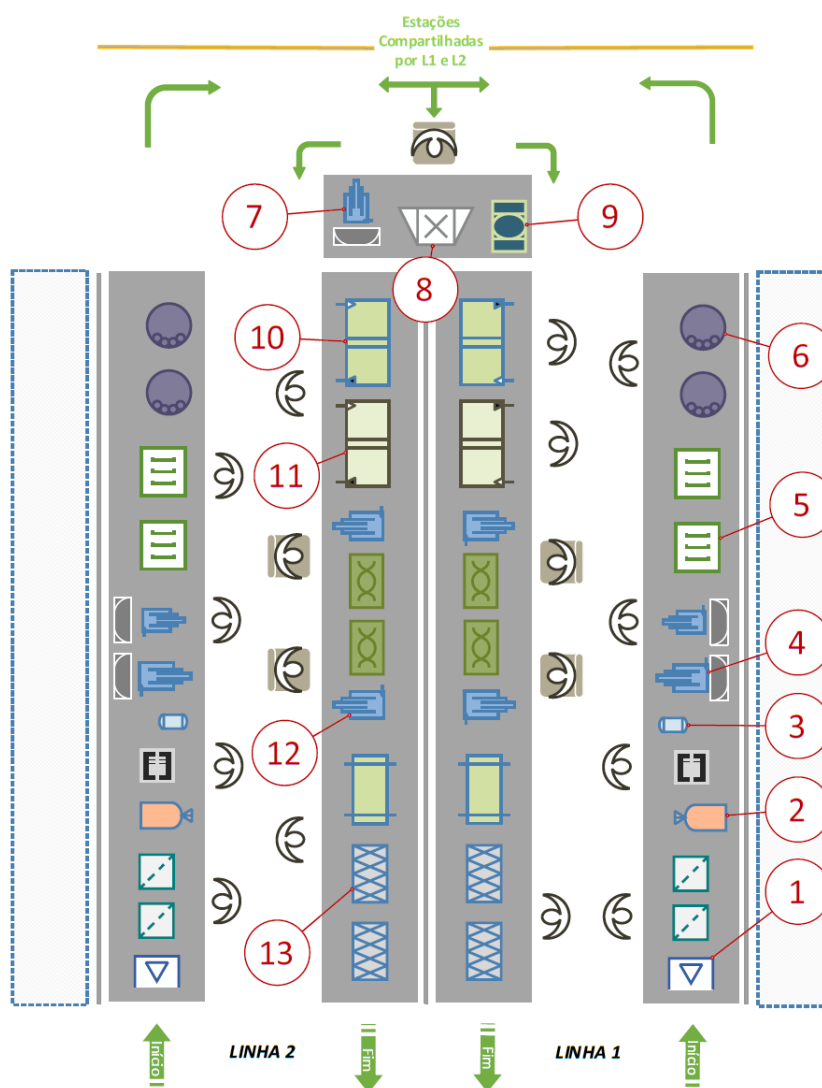
No estudo em questão, os maiores problemas encontrados são oriundos dos erros de previsibilidade (*forecast*) da equipe de programação de produção, como aumentos na demanda e dos lotes de produção, falta e/ou atrasos de matéria-prima e também falhas na comunicação entre as fábricas com a logística.

Os produtos fabricados na linha em análise são muito expressivos na carteira da empresa; qualquer aumento de produtividade ou redução de custos significam maior lucratividade. Por conseguinte, o engenheiro conhecendo o gargalo da produção, e tendo uma visão geral do funcionamento da linha, pode focar nesses problemas: fazer

um plano de investimentos para compra de novo maquinário ou de contratação de funcionários, além de um possível balanceamento dos postos de trabalho.

O objeto de estudo é composto por duas linhas paralelas que realizam a transformação de um mesmo produto, compartilhando alguns postos de trabalho e com um número fixo de operadores que realizam mais de uma atividade. O diagrama a seguir (Figura 1) apresenta uma prévia do ambiente fabril que será detalhado no Capítulo 3. Evidencia-se a presença de L1 e L2 (linhas paralelas), contabilizando-se 13 postos de trabalho, alguns dos quais compartilhados entre linhas, além da presença de operadores que podem atuar em mais de um posto de trabalho.

Figura 1 - Diagrama da linha de produção do estudo



Fonte: Autoria própria, 2018

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é modelar e simular uma linha de produção de conectores ópticos de uma empresa de telecomunicações da região de Curitiba, proporcionando uma melhor caracterização operacional da linha para auxílio aos engenheiros responsáveis no processo de decisão.

Alinhado a isso, identificar o gargalo e as oportunidades de melhoria e expansão da linha de montagem com os recursos hoje existentes. Também oferecer aos gestores uma nova forma de análise dos dados e das operações baseadas nos resultados da simulação, além da possibilidade de modificações do modelo a partir de problemas ocasionais nos procedimentos, na demanda e nas entregas da empresa.

1.3.1 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos e as principais tarefas para se alcançar o objetivo geral, seguem:

- Coletar e definir os parâmetros para o desenvolvimento do projeto, tais como quais medidas, tempos e tarefas devem ser utilizadas e como;
- Analisar os tempos de produção e execução de cada tarefa e estruturar os dados;
- Desenvolver um modelo de simulação da linha no *software* escolhido;
- Verificar e apresentar o modelo para auxiliar os engenheiros e líderes de linha na tomada de decisão;
- Apontar os gargalos e melhores opções de operação da linha;
- A partir dos resultados obtidos com o modelo de simulação, obter uma perspectiva de índices de produção da linha como: *cycle time*, *takt time*, utilização, eficiência, capacidade máxima;
- Fornecer medidas quantitativas de desempenho da linha, analisando diferentes cenários de produção;
- Verificar a possibilidade de aumentos de capacidade e produtividade com os materiais e máquinas disponíveis ou a necessidade de investimentos.

1.4 Justificativa

A evolução progressiva das tecnologias, a globalização e a competição proveniente do cenário econômico atual e dos tempos de crise exigem que as empresas busquem preservar sua lucratividade, produzindo mais com menos recursos, sem deixar de lado a qualidade e a satisfação do cliente.

Essa busca constante pela eficiência dos processos produtivos aliada ao desenvolvimento de métodos e melhorias do trabalho são a base da produção enxuta, ou *lean manufacturing*. Também conhecido como TPS (*Toyota Production System* – Sistema de Produção da Toyota), ele maximiza o valor adicionado em cada atividade eliminando desperdícios e demoras desnecessárias (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009).

Desse modo, algumas práticas são necessárias: lotes pequenos, estações de trabalho uniformes, padronização, força de trabalho flexíveis, fluxos em linha e melhoria contínua. Porém, não adianta seguir uma metodologia sem ter como analisar e medir essas variáveis. Uma empresa do porte da que se aplica o estudo precisa empregar a tecnologia também em seu controle de processos.

Infelizmente, a maioria das decisões operacionais são tomadas por critérios experimentais ou pelo histórico da organização e das pessoas no comando. Fornecer a modelagem de uma das linhas mais expressivas, reproduzindo as respostas do sistema real ao longo do tempo é um diferencial para o aumento de produtividade sem muitos custos extras.

O desenvolvimento do modelo possibilita que procedimentos operacionais complexos sejam avaliados de forma criteriosa, fazendo com que recursos críticos possam ser aproveitados da melhor maneira (MAGATÃO, 2016).

De acordo com Banks e Carson (1994), a simulação também pode ser aplicada como:

- Um dispositivo para compreensão de um problema (Quais indicadores são válidos para aumentar a produtividade?);
- Um meio de comunicação para descrever como funciona o sistema (Qual o gargalo, como se dá o trabalho dos operadores?);

- Uma ferramenta de análise para determinar elementos críticos, estimar medidas e avaliar problemas (Qual é a taxa de retrabalho se faltar matéria-prima, por que aumentamos a ociosidade?);
- Um sistema de planejamento de operações e possíveis soluções (Quais recursos podemos utilizar, quantas máquinas precisamos comprar?);
- Um mecanismo de controle, projeções de situações e suporte à decisão (Se um funcionário faltar, como isso afetará minha produção, erraram o *forecast*, o que podemos fazer agora?).

Por esses e outros motivos, a simulação pode auxiliar os engenheiros de processos e os líderes da linha na tomada de decisões, baseados em indicadores quantitativos.

1.5 Conteúdo ou Etapas do Trabalho

O presente trabalho é apresentado em seis capítulos. Este capítulo de Introdução apresenta o tema, os objetivos e a justificativa deste estudo. O Capítulo 2 (Revisão da Literatura) aborda os assuntos relevantes para o entendimento e desenvolvimento deste trabalho. No Capítulo 3, descreve-se o problema detalhadamente, com apresentação da linha de montagem e dos postos de trabalho. O Capítulo 4 contém a metodologia adotada neste trabalho, detalhando as etapas e hipóteses para o estudo. O Capítulo 5 apresenta e discute os resultados obtidos, assim como as modificações feitas nos modelos e as implicações nos indicadores produtivos. Por fim, o Capítulo 6 traz as considerações finais deste Projeto de Pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos sobre conectores ópticos e uma breve fundamentação teórica para fundamentar o restante do trabalho. Descrevem-se conceitos tais como: definições de linhas de produção e simulação a eventos discretos.

2.1 Fibra óptica e conectores

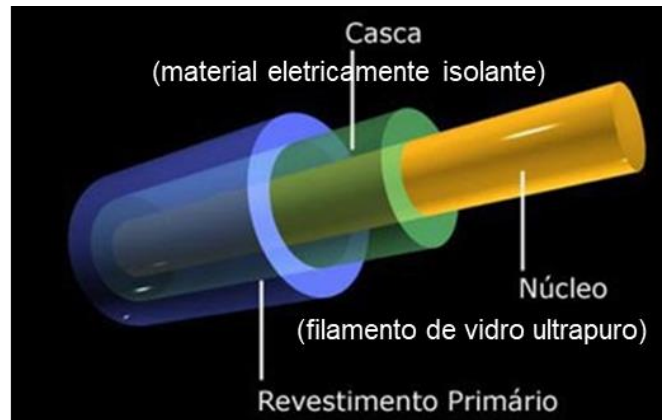
Os cabos de fibra óptica, ou simplesmente cordões ópticos, são cabos de pequenos diâmetros e, em sua maioria, constituídos de sílica ou plástico, ambos materiais de extrema pureza e transparentes o suficiente para propagar um feixe de luz por centenas e até milhares de metros. Diferente dos cabos de cobre, as fibras transmitem luz, imagens ou impulsos codificados por meio do princípio de reflexão total, podendo ser gerada por laser ou LED (SENAI, 2012).

2.1.1 Fibra óptica: constituição, tipos e conexão

A fibra óptica é um filamento flexível e transparente fabricado a partir do vidro. O principal material utilizado é sílica (SiO_2), um recurso natural abundante. Por isso, grandes comprimentos de fibras ópticas são fabricados com uma pequena quantidade de matéria prima, por exemplo: cerca de 1km pode ser fabricado com 40 gramas de preforma² (WIRTH, 1998). A sua constituição é formada pela capa (revestimento primário), a casca e o núcleo, conforme a seguir descrito e ilustrado na Figura 2.

² *Preforma é um bastão que contém todas as características da fibra óptica com dimensões macroscópicas. Constituída por pura sílica de vidro, é por meio dela que se tem a fabricação da fibra por puxamento.*

Figura 2 - Constituição de uma fibra óptica



Fonte: adaptado de Under Linux (2016)

- Capa: responsável pela proteção externa da fibra, tendo características resistentes à tração mecânica. A sua constituição pode variar de acordo com a sua utilização;
- Casca: provém o confinamento do sinal óptico transmitido dentro do guia, ou seja, evita que a luminosidade se espalhe perdendo sua intensidade;
- Núcleo: local onde o sinal óptico se propaga ao longo do cabo.

As fibras podem ser de dois tipos: monomodo ou multimodo, conforme apresentado pela Figura 3. O termo modo é apenas uma indicação do sentido que o sinal se propagara no núcleo da fibra.

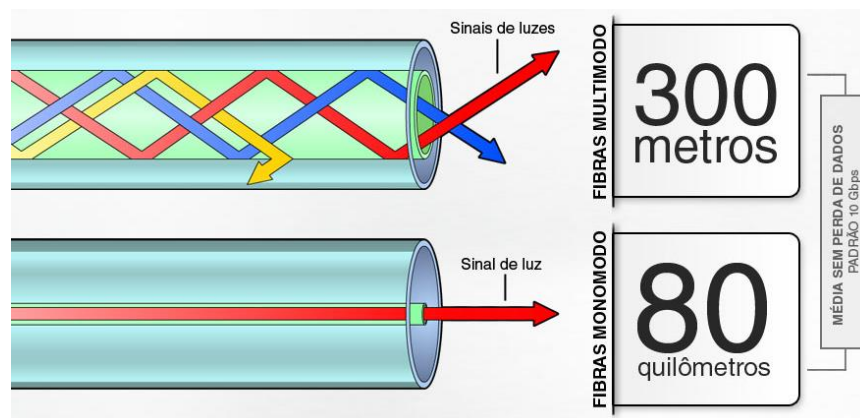


Figura 3 - Tipos de fibras ópticas: monomodo e multimodo.

Fonte: adaptado de Projeto de Redes (2013)

- Monomodo (SM): um caminho possível de propagação. Utilizada em transmissão a longas distâncias devido a baixas perdas de informação e atenuação. O núcleo varia entre 7 a 10 μ m de diâmetro e 125 μ m de casca;
- Multimodo (MM): permite a propagação da luz em diversos modos. Mais utilizada em redes locais (LAN), *data centers* e aplicações empresariais (até 2km) devido ao seu menor custo. O núcleo varia entre 50 a 62,5 μ m com diâmetro da casca de 125 μ m.

Alguns conceitos são fundamentais para o entendimento dos conectores ópticos, do funcionamento da conexão e da qualidade na produção desses itens:

- Perda de inserção (IL – *Insertion Loss*): avalia a quantidade de potência óptica (luz) que é perdida na conexão óptica (medida em dB, decibéis). Deve-se principalmente a desalinhamentos entre os elementos da fibra e do ferrolho ou à inserção de conector ou emenda;
- Perda de retorno (RL – *Return Loss*): essa medição avalia a quantidade de potência óptica (luz) que retorna à fonte em função de irregularidades na geometria do ferrolho em função do polimento. Resultante da reflexão do sinal em uma descontinuidade da fibra óptica.

Uma excelente conexão óptica depende de três fatores: alinhamento dos núcleos das fibras, contato físico entre os conectores e interface dos ferrolhos. São fatores principalmente influenciados na linha de produção durante a conectorização, ou seja, durante a efetiva montagem dos conectores, e o polimento dos ferrolhos.

Já a má conexão depende da qualidade do contato físico durante a instalação, por isso a importância da limpeza dos conectores antes de realizar a conexão. Uma única partícula entre os núcleos das fibras pode causar perdas significativas de IL, RL e danos no equipamento, como mostra a Figura 4 a seguir.



Figura 4 - Perdas de IL e RL devido a sujeira.
Fonte: adaptado de Furukawa (2018)

2.1.2 Conectores ópticos

Há vários tipos de conectores ópticos no mercado, cada um voltado a uma aplicação. Basicamente, os conectores são constituídos de um ferrolho com uma face polida, onde é feito o alinhamento da fibra, e de uma carcaça provida de uma capa plástica. Os diversos tipos de conectores variam nos formatos e na forma de fixação (encaixe, rosca). Os conectores são todos machos que são inseridos em adaptadores ópticos.

A fibra óptica deve ficar perfeitamente alinhada para que o sinal luminoso possa ser transmitido sem grandes perdas. O responsável por isso é o ferrolho, que conduz o fino núcleo da fibra e fixa-o dentro do conector. Ele pode ser de cerâmica, aço ou polímero e é produzido com uma grande precisão.

Os conectores mais utilizados são o LC, SC, ST, MT-RJ e MPO (MORIMOTO, 2008), mas apenas os principais serão explicados a seguir, conforme a Figura 5:

- LC (*Lucent Connector*): um conector miniaturizado que vem crescendo bastante em popularidade. Bastante utilizado em *data centers* pelo tamanho.
- SC: um conector eficiente, que usa um sistema simples de encaixe e oferece pouca perda de sinal. Está perdendo espaço para o LC pelo seu tamanho relativamente maior. Usado para FTTH (*Fiber-To-The-Home*).



Figura 5 - Exemplos de conectores LC (esquerda) e SC (na direita)
 Fonte: adaptado de Senko (2017)

O polimento dos ferrolhos é indispensável para completar a boa conexão e garantir a qualidade e os requisitos da Anatel. Os dois tipos básicos de polimento são o PC (com variações também chamadas de UPC) e o APC, conforme descrição e a Figura 6:

- PC ou UPC (plano): o polimento mais comum e utilizado com diversos tipos de fibras (MM e SM). Devido ao acoplamento de duas superfícies planas, ele não possui um desempenho tão rigoroso em perda de retorno, possuindo valores típicos que variam de 30dB à 50dB.
- APC (angular): este polimento promove um acoplamento entre dois ferrolhos numa superfície inclinada a 8 graus. Isso promove que as reflexões na transição não retornem para o núcleo da fibra, incrementando a perda de retorno para valores superiores a 60dB.

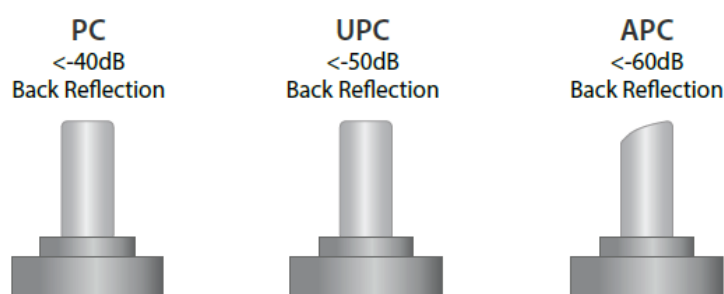


Figura 6- Tipos de polimento e seus desempenhos
 Fonte: Informativo técnico – Desempenho de conectores Furukawa, 2017

2.1.2.1 Conectores de campo

Os conectores produzidos na linha em análise deste trabalho são do tipo SC, mas são de um tipo especial e mais robusto, desenvolvido para a conexão rápida e fácil de cabos tipo *flat* com fibras monomodo. Eles são disponíveis nos dois tipos de

polimento: UPC e APC. São utilizados para conectorização em campo de cabos ópticos, em redes FTTx (fibra óptica ligando um ponto ao outro) e desenhado para aplicação interna em áreas controladas ou caixas de terminação (FURUKAWA, 2018).

São conhecidos também pelos nomes em inglês como *fast connector* ou *field mountable connector* e representam uma das grandes inovações tecnológicas que contribuem na expansão das redes ópticas de acesso. Isso se dá devido à maior simplicidade e velocidade na terminação das fibras ópticas em campo, reduzindo o tempo de implementação do acesso de um cliente na rede e um menor custo operacional (PHOTTON, 2018).

Os conectores ópticos de montagem em campo são pré-polidos e a fibra do cabo é conectada mecanicamente à fibra do conector. A estrutura dele é bem similar aos outros tipos de conectores SC, só tem um alojamento externo desenvolvido com um mecanismo de trava para realizar o contato entre as fibras e um gel no canal interno do conector. Por isso, eles possuem elevada precisão mecânica e um cuidado maior de qualidade e de montagem, requerida para obter baixas perdas ópticas durante a conexão.

Os produtos do estudo são apresentados a seguir pela Figura 7.



Figura 7 – Exemplos de conectores de campo APC (verde) e UPC (azul)
Fonte: adaptado de PHOTTON (2018)

2.2 Fundamentos da linha de montagem

Nesta seção serão explicados alguns conceitos de linha de produção e como são divididos seus processos, além de uma introdução à simulação, suas etapas e uma breve comparação entre os *softwares* de simulação mais utilizados no mundo.

2.2.1 Arranjos físicos e *layouts* de manufatura

Para viabilizar uma linha de montagem é preciso escolher adequadamente os tipos de processos de produção e os *layouts* da manufatura.

Abrangentemente, os processos produtivos se classificam em cinco tipos principais: projeto, *jobbing*, lotes (*batching*), em massa e contínuo, segundo Slack, Chambers e Johnston (2002). As posições variam em volume-variedade para gerenciar os processos, conforme ilustra a Figura 8 a seguir:

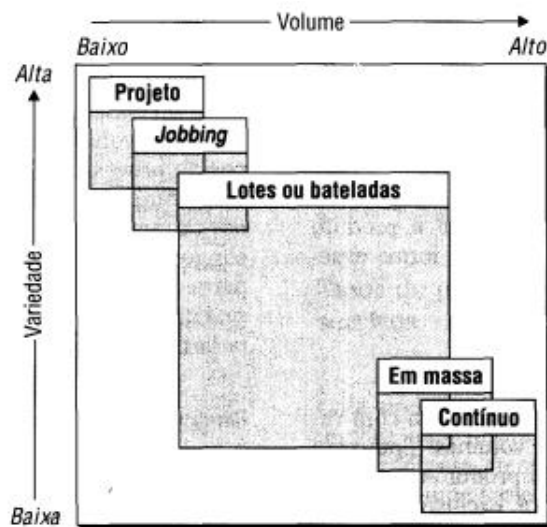


Figura 8- Tipos de processo em operações de manufatura
Fonte: SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2002)

Os processos de projeto trabalham com itens discretos e customizados. Geralmente possuem longos períodos de produção, por terem início e fim bem definidos. A construção de navios e aviões são um exemplo.

Os processos de *jobbing* possuem as mesmas características de baixo volume e alta variedade, porém utilizam e compartilham os recursos de produção. Alguns exemplos são os serviços especializados, como ferramentarias, alta costura e gráficas.

Como o nome já diz, os processos em lotes têm seus produtos fabricados com uma quantidade limitada e por partes, também chamados de bateladas. Com um nível maior de volume e variedade, são bastante utilizados na produção de calçados, máquinas e na indústria automotiva.

Quando os bens são fabricados em alto volume e variedade pequena eles são do tipo de produção em massa, com atividades repetitivas e previsíveis. A maioria dos

fabricantes de bens duráveis se encaixam nesse processo, como embalagens e eletrodomésticos.

Os processos contínuos vão além dos de produção em massa por serem ininterruptos. Possuem volumes ainda maiores e variedade baixíssima, como refinarias petroquímicas e indústrias de papel e celulose.

Os mesmos autores, Slack, Chambers e Johnston (2002) também propõem que esses sistemas de produção podem se configurar em quatro tipos de *layouts* ou arranjos físicos: por processo ou funcional (*jobshop*), celular, por posição fixa ou posicional e por produto ou em linha (*flowshop*). Alguns autores, como Aguiar, Peinado e Graeml (2007), ainda acrescentam o arranjo misto ou híbrido.

Para Correa e Correa (2010), o projeto de arranjo físico visa eliminar as atividades que não agregam valor e enfatizar aquelas que são mais importantes, como o manuseio e a movimentação interna dos materiais, o uso eficiente da mão-de-obra e do espaço físico, a comunicação, a redução dos tempos de ciclo e de custo e as medidas de qualidade e segurança do trabalho.

O arranjo físico posicional ou de posição fixa ocorre quando o material (ou pessoa) fica estacionado durante o processamento e apenas os recursos são deslocados. A eficiência é mais baixa, mas tem um alto grau de customização. É utilizado quando o produto é muito grande ou delicado e não pode ser movido, por exemplo: construções de navios, edifícios, aviões ou uma cirurgia cardíaca (SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2007).

O *layout* por processo ou funcional tem um agrupamento dos recursos produtivos de acordo com a sua função. Sua principal característica é a alta flexibilidade e normalmente é utilizado em operações com grande variedade de produtos. Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra. (2009), esse arranjo é mais comum quando a operação deve atender a muitos tipos de clientes, mas também fabricar muitos produtos ou peças diferentes.

Já o *layout* celular, conforme Slack, Chambers e Johnston (2007), é aquele em que os recursos a serem transformados ao chegarem na fábrica são pré-selecionados e direcionados para áreas específicas (células) onde se encontram todos os recursos transformadores necessários ao seu processamento. As células podem ser consideradas como mini fábricas.

Também conhecido como arranjo em linha, o arranjo físico por produto, é aplicado em operações com grande volume e com uma sequência de processos similar. Com o uso de equipamentos dedicados, o foco é a alta eficiência em detrimento da flexibilidade. Por isso são adequados para produzir grandes volumes com poucos produtos na linha.

Na Tabela 1 a seguir, pode-se observar as vantagens e desvantagens desses quatro arranjos básicos de produção:

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos típicos básicos de *layout*

Layout	Vantagens	Desvantagens
<i>Posição Fixa</i>	Altíssima combinação e flexibilidade de produtos Produto ou consumidor não é mexido ou perturbado Alta variedade de tarefas para os funcionários	Altíssimos custos unitários Agendamento de espaço e atividades podem ser difíceis Pode significar muita movimentação da planta e de funcionários
<i>Processo</i>	Alta flexibilidade e combinação de produtos Relativamente robusto em caso de perturbações Relativamente fácil supervisão do equipamento e da planta	Baixa utilização das instalações Pode ter altíssimo número de trabalhos em andamento ou filas de consumidores Fluxo complexo pode ser difícil de controlar
<i>Célula</i>	Pode trazer bom comprometimento entre custo e flexibilidade para relativamente alta variedade de operações Taxa de transferência rápida Trabalho em grupo pode resultar em boa motivação	Pode ser custoso para reorganizar o <i>layout</i> existente Podem necessitar mais plantas e equipamentos Pode trazer baixa utilização da planta
<i>Produto</i>	Baixo custo unitário para grandes volumes Traz oportunidades de especialização de equipamentos Movimentação de materiais ou consumidores é conveniente	Pode ter baixa flexibilidade de combinações Não é muito robusto em caso de perturbações Trabalho pode ser muito repetitivo

Fonte: adaptado de SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2007)

Quando o arranjo físico combina processos e fluxos de produto diferentes, exigindo que parte da instalação seja disposta com *layout* por processo e outra por produto, define-se esse *layout* como híbrido ou misto. Ele é usado em instalações que têm tanto operações de fabricação como de montagem (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009). O funcionamento de um hospital e de um restaurante são bons exemplos de um arranjo misto. Outra aplicação é quando se une a introdução de células com automatização flexível, tal como um sistema de manufatura flexível (FMS – *Flexible Manufacturing System*).

Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra. (2009), essa estratégia também diz respeito aos critérios de desempenho e a que fatores devem enfatizar para uma boa

solução de *layout*, por exemplo: satisfação do cliente, capital de investimento inicial, facilidade de operações de estoque e manuseio e flexibilidade.

2.2.2 Terminologia e indicadores para análise de linhas de produção

Alguns termos e conceitos relativos ao processo de balanceamento de linhas e de simulação devem estar bem claros e são fundamentais para o entendimento do trabalho e posteriormente avaliação dos indicadores e interpretação dos resultados.

- **Tarefa ou elemento de trabalho:** unidade indivisível de trabalho com um tempo de duração atribuído (BOYSEN, FLIEDNER e SCHOLL, 2006). Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) descreve-a como a menor unidade de trabalho, de forma que cada unidade é independente;
- **Duração da tarefa:** o tempo gasto para que um trabalhador ou máquina execute uma tarefa (GAITHER e FRAZIER, 2002);
- **Precedência entre tarefas:** uma lista de tarefas que devem ser realizadas antes de dar sequência no processo. Segundo Gaither e Frazier (2002), é a ordem em que as tarefas devem ser executadas;
- **Diagrama de precedência:** as tarefas são representadas por círculos e as setas conduzem aos próximos elementos de trabalho. Esse diagrama foi construído para se obter uma melhor visualização da precedência entre as tarefas (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004), conforme Figura 9;

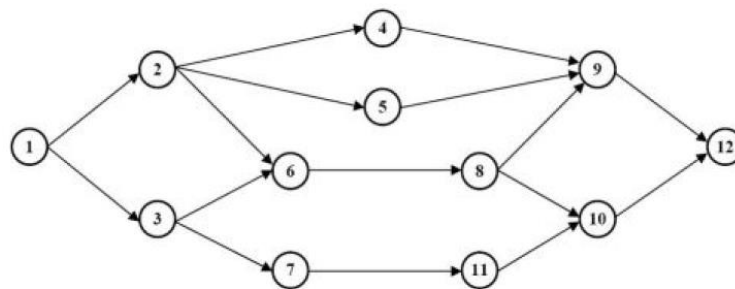


Figura 9 – Diagrama de precedências

Fonte: (MAGATAO, 2016)

- **Estação ou posto de trabalho:** De acordo com Gaither e Frazier (2002), é a localização física onde um conjunto de tarefas é executado;
- **Restrição:** qualquer fator que limite o desempenho do sistema ou possa restringir sua produção (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004). Srikanth e

Umble (1997) identificam três tipos de restrições: físicas (normalmente a capacidade da máquina, da mão-de-obra ou da estação de trabalho, ou escassez de material, mas poderia se referir ao espaço ou à qualidade), comerciais (a demanda é menor que a capacidade) ou administrativas (políticas, indicadores ou posturas que criam restrições que retardam o fluxo de trabalho);

- **Gargalo:** um tipo especial de restrição relacionada com a falta de capacidade do processo, chamado também de recurso restritivo de capacidade (RRC). Segundo os mesmos autores Krajewski e Ritzman (2004), o gargalo é qualquer recurso cuja capacidade disponível limita a aptidão da empresa em satisfazer o volume de produção, o *mix* de produtos ou a flutuação da demanda exigida pelo mercado;
- **Tempo de ciclo real:** De acordo com Stevenson (1996), é o tempo que cada estação de trabalho leva para completar seu conjunto de tarefas em uma unidade produzida. O tempo entre a saída de cada unidade produzida na linha ou no posto de trabalho (Gaither e Frazier, 2002);
- **Takt time ou tempo de ciclo teórico:** Segundo Magatão (2016), *takt time* (*tt*) é o tempo de ciclo teórico dentro do qual cada unidade deve ser retirada da linha, baseado na demanda de venda. Krajewski e Ritzman. (2004) descreve-o como o intervalo máximo desejável entre a saída de dois produtos consecutivos ao final da linha para se atingir a taxa de produção planejada, conforme equação (1):

$$tt = \frac{1}{r} \quad (1)$$

Sendo (*r*) a taxa de produção desejada. O *takt time* (*tt*) é dado em horas por unidade;

- **Número mínimo de estações (ME):** é definido como o menor número de estações de trabalho necessárias para fornecer a taxa de produção desejada (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004), conforme apresentada pela equação (2).

$$ME = \frac{\sum t}{tt} \quad (2)$$

Com (Σt) representando a soma dos tempos das tarefas. O número real das estações de trabalho (RE) é igual ao número inteiro acima do número mínimo de estações (ME);

- **Utilização do equipamento:** é o grau em que o equipamento, o espaço ou a mão-de-obra estão sendo usados (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009) ; calculado por meio da equação (3) a seguir:

$$Utilizacao = \frac{taxa\ média\ de\ produção}{capacidade\ máxima} 100\% \quad (3)$$

- **Utilização da linha:** De acordo com Gaither e Frazier (2002), indica a porcentagem de tempo em que uma linha de produção trabalha com o número mínimo de postos de trabalho, conforme apresenta a equação (4):

$$Utilizacao\ da\ linha = \frac{ME}{RE} 100\% \quad (4)$$

- **Eficiência da linha:** Expressa em percentual é a razão entre o tempo produtivo e o tempo total; de acordo com a equação (5):

$$Eficiência = \frac{\Sigma t}{RE \cdot tt} 100\% \quad (5)$$

- **Ociosidade da linha:** Pode ser representada pelo tempo de ciclo teórico subtraído do somatório dos tempos das tarefas naquela estação (MAGATÃO, 2016) e também a soma de todos os tempos ociosos, conforme a equação (6).

$$Ociosidade = RE \cdot tt - \Sigma t \quad (6)$$

2.3 Simulação

A Pesquisa Operacional estrutura processos, propõe um conjunto de ações e possíveis alternativas, fazendo a comparação e a previsão de custos e eficiência. Assim sendo, ela é um sistema organizado auxiliada por modelos e experimentação, com o objetivo de operar as tarefas da melhor maneira possível.

Como parte desta ferramenta matemática aplicada no processo de tomada de decisão está a simulação de eventos discretos. Ela consiste em criar modelos representativos de um processo ou sistema do mundo real, estudando o comportamento do mesmo (SILVA, 2011).

Schriber (1974) diz que a simulação implica a modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas da realidade numa sucessão de eventos ao longo do tempo. Na definição original não se especificou o termo modelo computacional, porém, hoje quando se lê simulação subentende-se que é computacional. Tanto que Pegden, Shannon e Sadowski (1990) a definiram como um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com o propósito de entender ou avaliar estratégias para sua operação.

Isso explica porque a simulação tem crescido tanto e é empregada nas mais diversas áreas: sistemas de produção, de logística, em sistemas computacionais e administrativos e até na prestação de serviços. Segundo Freitas Filho (2001), a utilização dessa ferramenta deve-se à facilidade de uso e da sofisticação presente nos ambientes de desenvolvimento dos modelos e também do poder de processamento dos postos de trabalho.

Além das interfaces amigáveis nos *softwares* atuais e das animações dos sistemas simulados, a simulação permite responder à questão: “O que aconteceria se?”. Admite também que esse tipo de indagação seja estudada e respondida sem perturbação na linha e sob projetos que ainda não existem (FREITAS FILHO, 2001).

Como ela assemelha-se com o sistema real, a percepção e visualização dos processos como um todo aumentam. Por isso, vários detalhes podem ser observados antes e durante o processo, gerando análises mais significativas na tomada de decisão.

Ao contrário dos modelos de otimização, um modelo de simulação é executado ao invés de resolvido. Possibilitando análises quase a todo instante à medida que novas perguntas surjam sobre o comportamento do sistema. Mas também não oferece uma solução ótima e sim uma visão do modelo a partir de condições específicas (FREITAS FILHO, 2001).

Portanto, Miller e Pegden (2000) citam alguns porquês e benefícios da simulação, como a fácil execução, a flexibilidade na decisão lógica, a simplicidade na

implementação e a alta qualidade dos cronogramas. Comparada com outras alternativas, a simulação pode gerar ótimos *schedules* (agendamentos) e pode incorporar um range variado de decisões lógicas, o que leva a vários tipos de determinações complexas e também respostas rápidas para processos críticos.

2.3.1 Etapas na formulação de um estudo envolvendo modelagem e simulação

Seguindo o título do presente trabalho, para solucionar um problema utilizando modelagem e simulação existem diversas fases e estas envolvem várias atividades dependentes. Desde o planejamento e definição do problema, a formulação e a construção de um modelo inicial, a experimentação e posterior validação do modelo até a aplicação do modelo reformulado.

O autor Freitas Filho (2001) explica todas as fases, como pode ser visto resumidamente na Figura 10 a seguir apresentada. Porém, alguns desses passos serão detalhados no Capítulo 4 do trabalho por serem parte da metodologia utilizada para cumprir os objetivos específicos definidos no Capítulo 1. A simulação, portanto, é uma ferramenta que permite analisar o efeito de mudanças em sistemas já existentes e, também, prever o desempenho de novos sistemas em diferentes circunstâncias, fato que será utilizado no presente Projeto de Pesquisa.

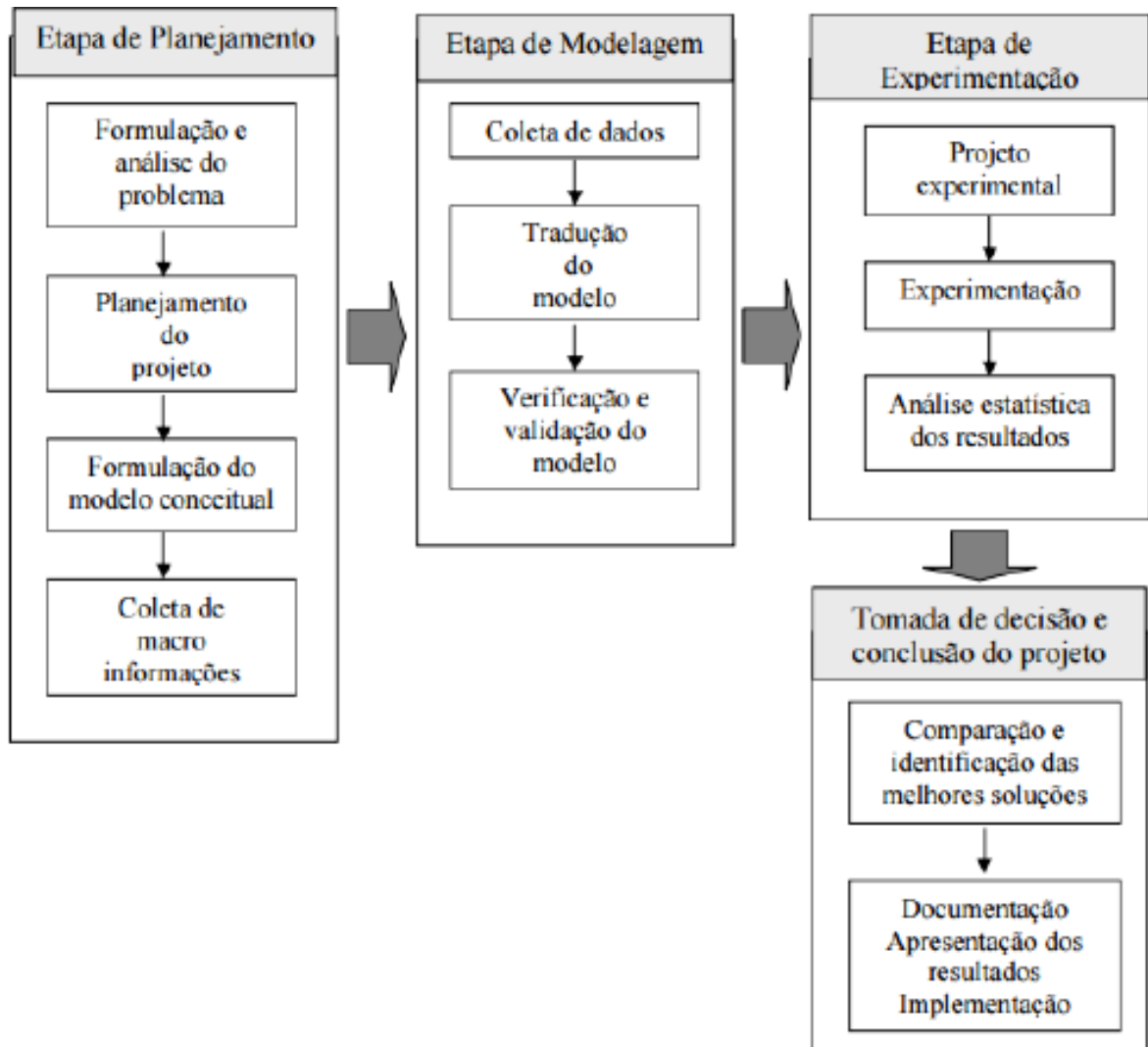


Figura 10 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação.

Fonte: Freitas Filho (2001)

2.3.2 Escolha do *software* de simulação

A simulação tornou-se uma ferramenta muito conhecida e a seleção de um *software* adequado é uma das decisões mais importantes no processo e que todo gestor pode enfrentar, pois se feita de forma incorreta pode levar a consequências negativas nos resultados e também no desempenho organizacional (GUIMARAES, 2015).

Hoje, o mercado oferta uma variedade de *softwares* de simulação para diversas áreas de atuação e com uma grande disparidade de preços. Por isso, é extremamente necessária uma abordagem adequada para avaliar e selecionar um *software* de simulação (GUPTA; SINGH e VERMA, 2010).

Isso é verificado na quantidade de publicações sobre o tema e também nos diversos comparativos sobre esses *softwares* e suas características. Segundo Dias *et al.* (2016), após uma pesquisa nos mais variados sites e *journals* do assunto, há um *ranking* das mais populares e usadas ferramentas de simulação. Eles identificaram em primeiro lugar o Arena e posteriormente, ProModel, FlexSim, Simul8 e WITNESS. Seguido por ExtendSim, Simio, PlantSimulation e AnyLogic.

Além deles, Sampaio e Trevisan (2017) realizaram uma pesquisa no Brasil para identificar quais dos *softwares* eram mais utilizados na indústria e nas universidades daqui. O resultado foi parecido: Arena, ProModel, FlexSim, Simio e Plant Simulation. Baseado nisso, a seguir encontra-se a Tabela 2 adaptada da publicação no *Simulation Software Survey* (ORMS TODAY, 2017) com os principais simuladores comerciais, suas aplicações típicas e fornecedores.

Tabela 2 - Aplicações específicas dos principais softwares de simulação

Software	Fornecedor	Aplicações típicas	Principais mercados
<i>Arena Professional/ Standard Edition</i>	Rockwell Automation	Arena é usado para simular e analisar os sistemas existentes e propostos, bem como análise operacional.	Manufatura, cadeia de suprimentos, governo, assistência médica, logística, alimentos e bebidas, embalagem, mineração, <i>call centers</i> .
<i>ProModel Optimization Suite</i>	ProModel Corporation	Otimização de processos e melhoria, utilização de recursos, capacidade do sistema e produção.	Fabricação, produção, cadeia de suprimentos e logística, assistência médica e ciências da vida.
<i>FlexSim</i>	FlexSim Software Products, Inc.	Simulação e modelagem de qualquer processo, com o objetivo de analisar, compreender e otimizar o processo.	Fabricação, embalagem, armazenagem, manuseio de materiais, cadeia de suprimentos, logística, saúde, fábrica, indústria aeroespacial, mineração.
<i>Simio Enterprise/Express Edition</i>	Simio LLC	Totalmente funcional baseado em modelagem integrada com animação 3D capaz de fornecer uma modelagem rápida. Produto ideal para modeladores e pesquisadores profissionais	Acadêmico, Aeroespacial e Defesa, Aeroportos, saúde, manufatura, mineração, militar, óleo e gás, Cadeia de Suprimentos, Transporte.

Fonte: adaptado de ORMS Today (2017)

No presente trabalho, a escolha foi pelos *softwares* disponíveis na UTFPR (Simio e Arena) e o conhecimento prévio dos orientadores, que no caso trabalham apenas com o Simio. Por isso optou-se pela modelagem e simulação da linha de conectores ópticos no *software* Simio.

A classificação final de Dias *et al.* (2016) indicou que a única ferramenta nova no *Top 10* foi o Simio, desenvolvida pelos mesmos autores do Arena: Dennis Pegden e David Sturrock. Desta forma, é muito fácil encontrar semelhanças entre ambos os *softwares*.

Vieira *et al.* (2014) fizeram uma comparação de como os problemas podem ser modelados nos dois *softwares*, os principais recursos e conceitos na simulação e os diferenciais de cada um deles. Segundo os autores, a interface do Arena é mais simples e a documentação publicada é muito mais referenciada que a do Simio. No entanto, esta última é uma ferramenta muito mais recente, desenvolvida em 2007 (a primeira versão do Arena para o Windows foi lançada em 1995).

A diferença mais visível entre os modelos de Arena e Simio é a animação. Enquanto no Arena ela é feita em uma etapa separada da modelagem, no Simio ela é feita em conjunto e possui um *link* direto com o *Google Warehouse*. O Simio é uma ferramenta multi-paradigma e tem a capacidade de modelar objetos inteligentes com tomada de decisão, sendo o Arena orientado por processos que levam informações em seus atributos (VIEIRA *et al.*, 2014). Segundo os mesmos autores, um grande número de vantagens do *software* Simio foi observada no comparativo, como a possibilidade de atribuir valores para estados, processos complementares, matrizes de animação, falhas e agendas sem a necessidade de criar novos objetos. Além disso, alguns casos podem ser fácil e rapidamente modelados no Simio em comparação ao Arena. Por exemplo: a utilização de transportadores ou veículos. Os estudos de casos também mostraram a possibilidade de modelar o mesmo problema nos dois *softwares* de simulação. Porém, exigiram menos esforços e tempo para modelar os exemplos considerados no Simio, já que o sistema imita o *layout* real e assim, exige um menor nível de abstração no desenvolvimento.

O Capítulo 3 a seguir apresenta a descrição do problema em análise, trazendo detalhes operacionais que são modelados *a posteriori* no *software* Simio.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Neste capítulo ilustra-se a linha de produção considerada neste trabalho, assim como os detalhes de operação.

3.1 Linha de Montagem dos Conectores

São duas linhas de produção iguais (Linha 1 e Linha 2) que operam simultaneamente e compartilham alguns postos de trabalho durante 3 (três) turnos por dia. O padrão desse contexto fabril é operar com 9 (nove) trabalhadores em cada linha. O *layout* da linha produtiva e disposição dos operadores envolvidos é ilustrado na Figura 11.

Os processos são em lotes, definidos pela equipe de planejamento de produção, os quais são baseados na previsão da demanda para os próximos meses. Os lotes deste produto mudam muito pouco, apenas alguns códigos (*part numbers*) e alguns componentes a mais durante a montagem que não interferem significativamente no resultado do estudo.

O arranjo físico pode ser considerado em linha (ou por produto), pois as estações são divididas de acordo com os processos produtivos para apenas um tipo de conector. Elas são representadas em paralelo e em ambos os lados operam outras linhas de outros tipos de conectores.

O processo inicia com o recebimento e armazenagem e posterior separação dos materiais para a montagem do conector, vindo do estoque e da inspeção, setores não ilustrados na Figura 11 e também não analisados na simulação. A expedição do produto final após a embalagem e a inspeção de qualidade também não é analisada no contexto do presente estudo.

No posto 1 ocorre a preparação e o corte das fibras ópticas, além da limpeza das mesmas, a qual acontece num banho de álcool. O mesmo operador do posto 1 é responsável pela inserção de cola no ferrolho, realizada no posto 2. A preparação dessa cola não é feita nas linhas 1 e 2 e por isso não afetará a modelagem. Após a

cola, no posto 3 acontece a clivagem³ da fibra e a limpeza com álcool logo em seguida. Ambas atividades realizadas por um operador.

A Tabela 3⁴ detalha informações das estações de trabalho e seus respectivos operadores. Vale notar que os tempos de duração dos processos na referida tabela são especificados em unidades de tempo (u.t.), de modo a preservar os dados reais da empresa.

Tabela 3 - Divisão dos postos de trabalho e operadores

<i>Nome do processo</i>	Posto de operação	Tempo de máquina ou de operador	Operador envolvido (Worker)	Tempo (u.t.)
<i>Preparação e corte</i>	1	Operador	W1	3,38
<i>Limpeza das fibras</i>	1	Máquina	W1	20,45
<i>Inserção de cola</i>	2	Operador	W1	4,55
<i>Limpeza e clivagem</i>	3	Operador	W2	15,86
<i>Inserção de fibra no ferrolho</i>	4	Operador	W3	11,41
<i>Inspeção visual e puxamento</i>	4	Operador	W3	7,06
<i>Cola na ponta do conector</i>	5	Operador	W3	3,05
<i>Cura da cola</i>	5	Máquina	W3	17,34
<i>Polimento</i>	6	Máquina	W4	16,00
<i>Teste visual</i>	7	Operador	W4	2,65
<i>Interferômetro</i>	8	Operador	W4	9,88
<i>Limpeza das tampas</i>	9	Máquina	W4 ou W5	15,00
<i>Montagem gel</i>	10	Operador	W5	17,50
<i>Montagem carcaça</i>	11	Operador	W6	23,74
<i>Teste IL/RL</i>	12	Operador	W7 e W8	25,71
<i>Embalagem e verificação</i>	13	Operador	W9	8,55

No posto 4 realiza-se a inserção da fibra óptica no ferrolho com auxílio de uma pinça e a inspeção visual é feita num microscópio. Já no posto 5, o operador da estação anterior insere uma quantidade mínima de cola na ponta do conector e coloca todos eles no forno para a cura da cola.

Após 15 (quinze) minutos de forno, outro operador cliva a fibra e realiza o polimento nos conectores, posto 6. Enquanto as politrizes trabalham, esse mesmo operador (W4) pode fazer os testes visuais e de interferômetro, representados pelos postos 7 e 8. Muitas vezes, dependendo das metas diárias e da demanda produtiva,

³ Clivagem é o processo de corte da ponta da fibra óptica. Efetua-se um pequeno risco na casca da fibra e assim ela é tracionada e curvada sob esse risco. Desta forma, o ferimento se propaga pela estrutura cristalina da fibra.

⁴ As Figuras e Tabelas que não possuírem fontes, consideram-se de Autoria Própria

a limpeza das tampas no banho de álcool do posto 9 são de responsabilidade desse mesmo operador. Como os postos de trabalho 7, 8 e 9 são compartilhados entre as linhas 1 e 2, essas atividades são divididas entre dois operadores distintos que se revezam, se a responsável das linhas permitir.

A montagem em si do conector de campo se dá nas estações 10 e 11, com a colocação de gel, encaixe das peças, colocação de todos os componentes e verificação. Geralmente nestes postos trabalham duas pessoas.

Outros dois operadores ficam no posto 12 para a inspeção visual e os testes de desempenho da conexão óptica. Se os produtos estiverem bons e dentro dos índices de qualidade ($IL < 0,50\text{dB}$ e $RL < -40\text{dB}$), eles passam para etiqueta e embalagem no posto 13. A inspeção final de qualidade também está inclusa neste posto e possui um operador.

Ressalta-se que o compartilhamento descrito de operadores entre as estações de trabalho é uma estimativa inicial, conforme procedimentos usualmente praticados no chão de fábrica. De fato, não há atividade e posição fixa para os operadores. Na teoria, por questões de saúde e de procedimentos de trabalho na fábrica, os funcionários devem realizar uma rotação no mínimo semanal dos postos de trabalho. Porém, devido a atrasos ou problemas recorrentes da linha em questão (geração de sucata, retrabalho, assiduidade), os operadores se dividem e vão se adequando, conforme as necessidades da linha.

As atividades realizadas são detalhadas na subseção 3.2 a seguir, juntamente com as ferramentas utilizadas e os parâmetros do produto.

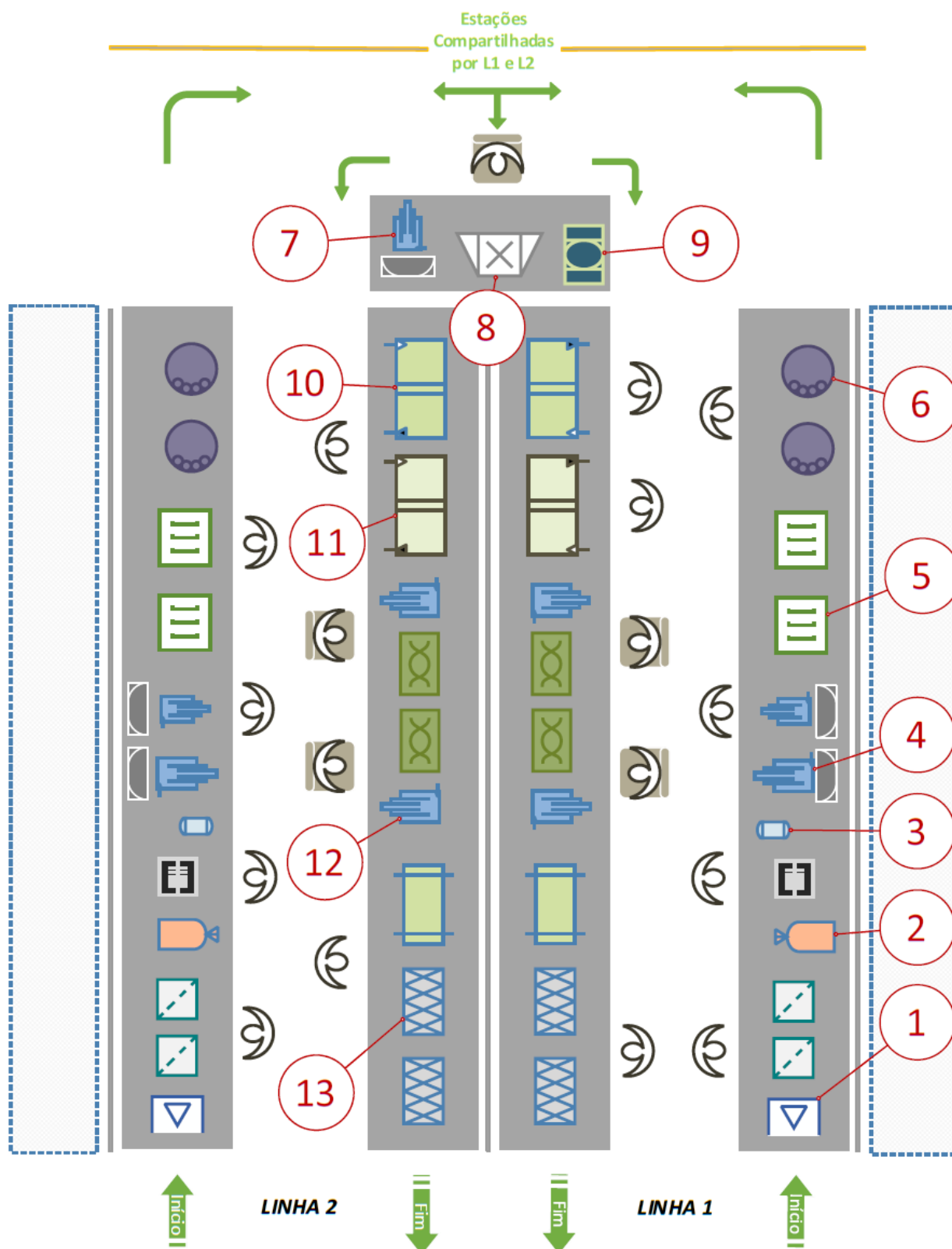


Figura 11 - Linhas de montagem dos conectores ópticos de campo

3.2 Tarefas e postos de trabalho

Na Tabela 4 segue um descritivo de cada operação do contexto produtivo estudado, o qual envolve as linhas 1 e 2 apresentadas na Figura 11. Descreve-se desde o recebimento até a expedição, após o controle de qualidade.

A numeração dos processos segue essa ordem de precedência na montagem do conector, porém, devido às restrições de quantidade de máquinas e de operadores, algumas atividades acontecem simultaneamente ou aguardam até a desocupação da estação do trabalho. É o caso das politrizes com capacidade para apenas 40 ou 48 conectores por vez, dependendo do tipo de polimento, e os equipamentos para teste que são obrigatórios e só realizam uma medida por conector.

Como comentado anteriormente, a preparação da cola para os conectores é realizada em outra área da fábrica, bem como o recebimento e a separação de toda matéria-prima que abastecem todas as linhas do barracão.

Tabela 4 - Fluxo de processo (*Flowchart*) para produção do conector de campo (Continua)

Postos de Operação	Nome do Processo	Equipamento/ Ferramenta	Parâmetros do Processo	Parâmetros do Produto	Seção de Operação
Ext.	Recebimento e armazenagem	-	-	Condições de embalagem; Nome do material; Quantidade; Condições da bobina.	Almox. e Inspeção
Ext.	Separação de material	-	-	Nome do material; Quantidade; Lote de produção.	Almox.
1	Preparação e corte	Suporte para bobina; Ferramenta de corte; Alicate de corte; Suporte da espuma.	Conferir o lote com a bobina.	Características da fibra; Tamanho do corte da fibra.	Produção
1	Limpeza das fibras	Ultrassom	Nível de álcool do ultrassom; Trocar álcool a cada 2 dias; Tempo funcionamento ultrassom: 15min; Temperatura ultrassom: 55°C.	Número máximo de suportes na bandeja ultrassom: 2; Verificar se acrilato da fibra saiu.	Produção
2	Inserção da cola no ferrolho	Dispenser de cola; Suporte de acrílico; Suporte para ferrolho; Seringa.	Pressão do dispenser: 550; Regulador de saída de ar; Timer do dispenser; Conexão mangueiras; Ajuste base do ferrolho para agulha da seringa; Ponta da agulha limpa.	Quantidade de cola no ferrolho; Cola deve preencher o ferrolho, sem excessos; Caso haja excesso de cola, colocar ferrolho novamente no ultrassom; Cola seca após processo de cura; Não deixar mais que 100 conectores aguardando.	Produção
Ext.	Preparação da cola	Balança de precisão; Centrífuga.	Prazo de validade da cola; Tara na balança: 2,32g; Funcionamento da centrífuga: 5 min; Quantidade de EPÓXI: 0,10g; Quantidade de cola: 1g.	Peso/Quantidade/Tempo; Quantidade de cola na seringa; Cor da mistura.	Produção
3	Clivagem da fibra	Clivador	Afinamento lâmina clivador; Efetuar limpeza a cada 30 min; Verificar se bateria está em bom estado; Posição das aletas: todas levantadas.	Clivagem correta da fibra	Produção
3	Limpeza da fibra	Limpeza com álcool	Nível de álcool do recipiente; Trocar álcool a cada 2 dias; Utilizar lenço novo a cada utilização.	-	Produção
4	Inserção da fibra no ferrolho	Pinça; Microscópio; Lupa; Dispenser de cola; Forno; Base para ferrolhos.	Pressão do dispenser; Regulador de saída de ar; Tempo do dispenser: 0,1s e conexão de mangueiras; Temperatura no display: 130°C; Tempo no forno: 15min	Localização da fibra: puxar até a ponta do ferrolho; Verificar se houve rompimento da fibra; Puxar fibra no sentido correto até o limite estabelecido; Existência de poeira ou arranhões na fibra; Posição da fibra; Quantidade de cola no ferrolho; Retirar ferrolho da base do microscópio; Verificar se a agulha está limpa entre inserções de novos ferrolhos; Cor da cola na ponta da fibra (avermelhada); Verificar se a cola está seca após a cura.	Produção
4	Inspeção visual 01	Microscópio; Lupa.	-	Existência de imperfeições ou sujeiras nos ferrolhos; Conferir condições de ferrolho com o gabarito; Número de ferrolhos por suporte: 12; Puxar a fibra até o gabarito.	Produção
5	Inserção de cola na ponta do conector	Dispenser de cola; Seringa.	Pressão do dispenser; Regulador de saída de ar; Conexão mangueiras; Ponta da agulha limpa	Quantidade de cola no conector	Produção

Tabela 4 - Fluxo de processo (*Flowchart*) para produção do conector de campo (continuação)

Postos de Operação	Nome do Processo	Equipamento/ Ferramenta	Parâmetros do Processo	Parâmetros do Produto	Seção de Operação
5	Forno (Cura da cola) e clivagem	Forno; Base para conectores; Clivador.	Temperatura no display: 130°; Tempo no forno: 15min; Afiamento lâmina clivador.	Número conectores por régua: 36; Posição alinhador dos ferrolhos; Cor da cola na ponta da fibra (resina avermelhada); Verificar se cola está bem seca após cura; Clivagem correta da fibra; Sentido de clivagem da fibra.	Produção
6	Polimento	Politriz; Suporte para limpeza; Pistola de ar comprimido; Base de polimento; Suporte para fixação dos conectores base; Contador.	Tempo de polimento conforme step; Pressão do polimento conforme step; Velocidade do polimento; Step polimento; Vida útil da lixa; Lixa conforme step de polimento.	Posicionamento ferrolhos na base de polimento; Encaixe ferrolho na base; Número de ferrolhos na base de polimento: 40 para APC e 48 para UPC; Quantidade de ferrolhos polidos; Polimento ferrolhos; Riscos fibra; Sujeira fibra; Contagem utilização da lixa.	Produção
7	Inspeção polimento (teste visual)	Relógio p/ medição altura; Microscópio; Detectores para microscópio.	Calibração ferramenta	Limites permitidos: SC-UPC - mín. 80 e máx. 10/SC-APC - mín. 85 e máx. 100; Verificar se pontas dos ferrolhos estão limpas; Existência de imperfeições ou sujeiras nos ferrolhos.	Produção
8	Teste interferômetro	Interferômetro	Posição adaptador para ferrolho; Foco do equipamento.	Posicionar a face aberta do ferrolho sempre para a direita; Verificação da superfície da fibra.	Produção
9	Limpeza tampas plásticas	Ultrassom; Peneira de alumínio; Soprador de ar	Nível de álcool no ultrassom; Trocar álcool a cada 2 dias; Tempo funcionamento ultrassom: 10min; Temperatura ultrassom: 60°C.	Número máximo de peças por recipiente de alumínio: 2 sacos de 100 peças; Verificar se peças estão completamente secas; Verificar se existem peças grudadas	Produção
10	Montagem do ferrolho	Dispenser; Pinça; Gabarito para peça metálica.	Pressão do dispenser; Regulador de saída de gel; Conexão mangueiras; Trava deve estar entre o ferrolho e as duas tampas.	Existência de fissuras no ferrolho; Quantidade de gel no conector: 5 gotas; Fixação tampa sobre fibra e gel; Fixação tampa traseira sobre o ferrolho; Travamento parte metálica no ferrolho; Máximo de 20 ferrolhos montados; Existência de rachaduras ou fissuras nas partes internas.	Produção
11	Montagem do conector	Montagem da carcaça; Gabarito branco.	-	Encaixe das peças; Aberturas devem ficar para cima; Encaixe da mola no retentor circular; Inserção ferrolho montado anteriormente no retentor circular; Verificar se orifícios do ferrolho podem ser vistos; Encaixe armação branca (parte plana para cima); Verificar se todos os orifícios estão para cima; Encaixe do pino FSC; Encaixe da carcaça do conector (orifícios para cima); Funcionamento da mola do conector.	Produção
11	Montagem da cunha	Gabarito para cunha	-	Existência de danos ou sujeiras na cunha; Encaixe da cunha no conector; Riscos conector montado; Montagem final do conector.	Produção

Tabela 4 - Fluxo de processo (*Flowchart*) para produção do conector de campo (continuação)

Postos de Operação	Nome do Processo	Equipamento/ Ferramenta	Parâmetros do Processo	Parâmetros do Produto	Seção de Operação
12	Teste de IL e RL	Conector de fibra nua; Clivador; Fiber stripper amarelo; Clivador; Microscópio; OTDR; BR5; Gabarito para retirar fibra; Régua.	Afiamento lâmina clivador; Afiamento lâmina clivador; Comprimento de onda para teste de IL e RL = 1310/1550um; Limpeza conectores e portas.	Referência equipamento de teste; Posição fibra clivada: deve sair 0,1mm na ponta do ferrolho; Limite RL e IL: verificar procedimento; Comprimento decapagem: 30mm; Checar trincamento fibra: bater nela 2 vezes; Posição fibra no clivador: acrilato na marca de 10mm; Fibra na ranhura de 900um; Existência de riscos na ponta do conector; Limite para IL, RL(APC) e RL(UPC); Verificar se houve quebra de fibra dentro do conector: comprimento da ponta da fibra até o acrilato deve ser 1cm.	Produção
12	Inspeção visual 02	Microscópio	-	Existência de danos na superfície do ferrolho	Produção
13	Embalagem individual	-	Quantidade de componentes; Quantidade de embalagens.	Encaixe da "trava cunha"; Encaixe da tampa tipo L cinza; Posição tampa tipo L: voltada para trás; Quantidade tampa tipo L: 1 por emb. Individual; Quantidade prensa cabo (verde): 1 por emb. Individual; Quantidade guia cinza: 1 por emb. Individual; Quantidade trava cabo preto: 1 por emb. Individual	Produção
13	Embalagem coletiva	Impressora de etiquetas; Seladora automática; Balança; Impressora de etiquetas.	Quantidade de componentes; Temperatura seladora.	Posição etiqueta; Quantidade conectores: 10 por emb. Coletiva; Quantidade guia: 1 por emb. Coletiva; Quantidade trava: 1 por emb. Coletiva; Quantidade manual (3 línguas): 1 por emb. col.; Caso a quantidade de conectores na embalagem coletiva seja menor que o especificado, colar etiqueta "QUANTIDADE FORA DO PADRÃO"; Todos os produtos da embalagem coletiva devem apresentar o mesmo código; Etiqueta código de barras na posição correta; Código, descrição e quantidade conforme lote de produção.	Produção
13 ou Ext.	Inspeção final de qualidade	-	-	Efeito mola do ferrolho; Montagem correta do conector; Data de validade e cor da resina; Quantidade de cola/resina; Cor da cola após processo de forno; Verificar número do lote, código e descrição; Verificar número de série do produto; Condição embalagem.	Qualidade
Ext.	Expedição	Tesoura; Pallet	-	Descrição do produto; Quantidade	Expedição

3.3 Planejamento da Produção e Simulação

A falta de dados e índices produtivos impede a atuação efetiva do engenheiro de processos nas melhorias do contexto produtivo em análise, no foco dos problemas e nas decisões gerenciais.

Em virtude da representatividade no orçamento da empresa do produto envolvido, e da inovação contida neste item, é fundamental uma ferramenta que descreva o comportamento da linha considerando seus detalhes e com a possibilidade de alterações, sem impedir ou prejudicar o ritmo produtivo. Fora isso, é necessário para as análises construir abstrações considerando as variáveis do sistema, como também usar o modelo para prever o desempenho quando mudanças ou imprevistos dos processos, ou até mesmo da empresa, ocorrem.

O planejamento da produção deve ser feito para as duas linhas que produzem o mesmo produto, conforme a urgência dos pedidos. Porém, muitas vezes a programação e a comunicação entre áreas divergem e as linhas sofrem com esses imprevistos, gerando retrabalhos e horas extras.

Atualmente, toda a operação de conectorização da empresa está em outro barracão fabril, pois o anterior não suportava aumentos produtivos por falta de espaço. Por isso a simulação é uma opção adequada para fornecer um panorama dos dados e possíveis alternativas de mudanças e expansões nas linhas. Mostrar os indicadores e os gargalos possibilita ao engenheiro tomar decisões otimizadas com os resultados retirados da simulação e também gerar outras entradas no modelo a partir do que ele tem/precisa.

A produção se realiza em lotes definidos pela equipe de planejamento e programação com as quantidades dos materiais e os prazos de entrega. O *forecast* e os resultados da linha são definidos e apresentados em reuniões mensais, e controlados por meio do Microsoft Excel®. Se um funcionário falta ou a matéria-prima atrasa no transporte entre as fábricas, o engenheiro e os líderes de linha acabam remanejando os materiais e as pessoas de outras linhas para entregar os pedidos, ou, em alguns casos, entregam com atraso. Isso gera um ciclo vicioso de erros que percorre todos os setores da empresa e pode acabar no cliente final, gerando multas e, na pior das hipóteses, prejuízos à imagem da marca.

Pode-se observar os dados produtivos médios na Tabela 5 para os primeiros meses de produção de um determinado ano. Os cálculos de produção realizados pelo engenheiro de processos são baseados na demanda (em verde) e não na saída real da linha (não corretamente calculados e desconhecidos pela empresa), fornecendo um resultado errôneo (em amarelo).

Tabela 5 – Capacidades da linha de conectores de campo fornecida pela empresa

<i>Demanda</i>	3075	peças/dia	<i>Média (takt time)</i>	21,95	peças/u.t.
	61500	peças/período	<i>Turnos</i>	3	dia
<i>Saída</i>	3075	peças/dia	<i>Dia de trabalho</i>	6,25	u.t.
	61500	peças/período		20	período

Portanto, o principal objetivo é obter os indicativos e os dados reais da produção com os tempos de processamento de cada atividade juntamente com o compartilhamento de funcionários. O problema a ser considerado é uma melhor caracterização do comportamento da produção frente a variações de demanda, quebra da produção pela redução de operadores e atraso na entrega de matéria prima, assim como avaliação do impacto da expansão da capacidade de produção.

O Capítulo 4 a seguir apresentado traz os passos realizados para o desenvolvimento do modelo de simulação que trata os aspectos operacionais descritos no presente capítulo.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo trata de como foi desenvolvido o modelo e a simulação da linha de produção dos conectores de campo. São apresentadas as etapas do projeto, os conceitos e considerações sobre o *software* SIMIO, indispensáveis para o entendimento dos resultados são apresentados.

4.1 Metodologia para o desenvolvimento do modelo

A metodologia a ser usada no projeto envolve etapas para viabilizar a simulação computacional da linha de montagem de conectores ópticos. Segundo Cornélio Filho (1998), existem seis etapas principais de um estudo envolvendo modelagem e simulação. O procedimento metodológico adotado tem por base essas etapas propostas, respeitadas as particularidades do estudo de caso. O descritivo a seguir apresentado traz a concepção idealizada no autor supracitado e, em seguida, detalham-se os elementos para o estudo de caso em cada tópico:

- 1. Definição do problema e objetivos:** define-se os propósitos e objetivos (respostas que o modelo deve fornecer) e impõe-se limites da abordagem. No caso em estudo, propõe-se a simulação de uma linha de conectores ópticos composta por 13 postos de trabalho (Figura 11 no Capítulo 3) e objetiva-se o melhor aproveitamento da linha, diminuindo ociosidades de operadores e máquinas, objetivo este que pode vir a ser alcançado por meio de simulações que evidenciem potenciais reduções do tempo de ciclo do produto, mantendo-se as especificações técnicas desejadas ao produto. Com a simulação também espera-se obter indicativos produtivos e a identificação do gargalo para facilitar os engenheiros nos processos decisórios da empresa. Podendo servir de base para novos investimentos e possíveis contratações.
- 2. Definição do modelo conceitual:** procura-se responder “o que/como” modelar, traçando-se um esboço do sistema (por meio de desenhos e fluxogramas) e definem-se variáveis, componentes e relações norteados por objetivos bem especificados. Parte-se de uma visão macro para, depois,

pormenorizá-la. Para tanto, constrói-se um protótipo com os detalhes relevantes e verifica-se se os objetivos foram alcançados. Caso a resposta não seja suficiente, inclui-se outros detalhes mais evidentes.

No cenário em estudo, ressaltam-se que existem questões relativas ao *layout* do barracão fabril e quais postos de trabalho serão considerados, se as duas linhas de montagem serão assumidas simultaneamente na simulação ou se existe essa ponderação por parte da empresa no remanejamento de funcionários e a utilização deles em outras linhas e qual a influência dessa flexibilização, tal como a inserção de operadores em treinamento e a taxa de retrabalho a partir dessa situação.

Os índices de sucata e o tempo gasto com os retrabalhos são totalmente impactantes nos resultados e são medidos para compor a meta desta linha de montagem. Por isso, deseja-se visualizar possíveis cenários de simulação com este modelo e discutir estratégias com os responsáveis da linha para diminuí-los.

Algumas tarefas também são presentes em outras linhas de produção e são realizadas pela mesma equipe da linha em questão, como o abastecimento e separação de matéria-prima, a inspeção de qualidade e a preparação da cola para inserção nos conectores.

Inicia-se por um modelo simplificado e ao contemplar essas peculiaridades da linha, obtém-se um modelo mais complexo. Na medida que se coloca mais detalhes, viabiliza-se retirar relatórios pós-simulação e também animações.

- 3. Coleta de dados:** dificilmente dispõe-se dos dados necessários, na forma correta. O mais comum é encontrá-los na forma resumida (por exemplo, performance baseadas em média), que podem distorcer valores.

Para o caso em estudo, realiza-se a entrada do sistema de simulação com os dados disponibilizados pelos engenheiros da área, o histórico de produção apresentado mensalmente nas reuniões de qualidade, os *flowcharts* disponibilizados no sistema com a descrição das operações e os procedimentos envolvidos em cada tarefa e por meio de tabelas padronizadas com os tempos e definições do processo;

Esta etapa foi detalhada no Capítulo 3.

4. Implementação e validação do modelo: por codificação, o modelo passa da linguagem conceitual para computacional, efetuando-se varreduras no código para identificar e corrigir possíveis erros de sintaxe, de semântica e de lógica. A validação deve confirmar a representatividade do modelo em relação ao sistema real pela equipe de trabalho através da variação dos parâmetros e respostas à essas alterações.

No caso em estudo a proponente da pesquisa possui ampla experiência na linha avaliada, podendo realizar análise crítica dos resultados. Outrossim, há também pleno acesso ao engenheiro responsável pela linha que auxiliou na tarefa de validação das respostas obtidas, sempre que necessário.

5. Projeto experimental/experimentação: especifica-se os diferentes parâmetros de entrada, tais como, tempos de rota, de processamento, taxas de ocupação de recursos, etc. Para cada configuração o modelo é executado e os resultados avaliados.

No presente projeto utiliza-se o *software* de simulação a eventos discretos SIMIO 10 (Paragon, 2017), dado o conhecimento prévio da equipe envolvida no uso do referido *software* e que também atende às necessidades do modelo do sistema em estudo. Várias simulações foram executadas para a geração dos dados desejados e para avaliar qual projeto experimental é mais adequado a partir dos critérios de desempenho.

6. Análise e interpretação dos resultados: são analisados os resultados e realizadas estimativas para as medidas de desempenho dos cenários, após possíveis replicações (simular mais vezes o modelo).

No caso em estudo, o foco é em alternativas operacionais ao atual sistema. Sendo assim, diversos estudos computacionais são realizados de forma a possibilitar uma correta avaliação dos resultados, bem como verificar a sensibilidade da resposta computacional a variações de parâmetros.

Complementando a metodologia de Cornélio Filho, Chwif e Medina (2015) lembram que as etapas de um modelo de simulação não devem ser interpretadas em

uma sequência linear. Na prática podem ocorrer diversas iterações e realimentações no processo, à medida que o entendimento do problema muda. Desta forma, representa-se o fluxograma desses passos como uma espiral mostrada na Figura 12.

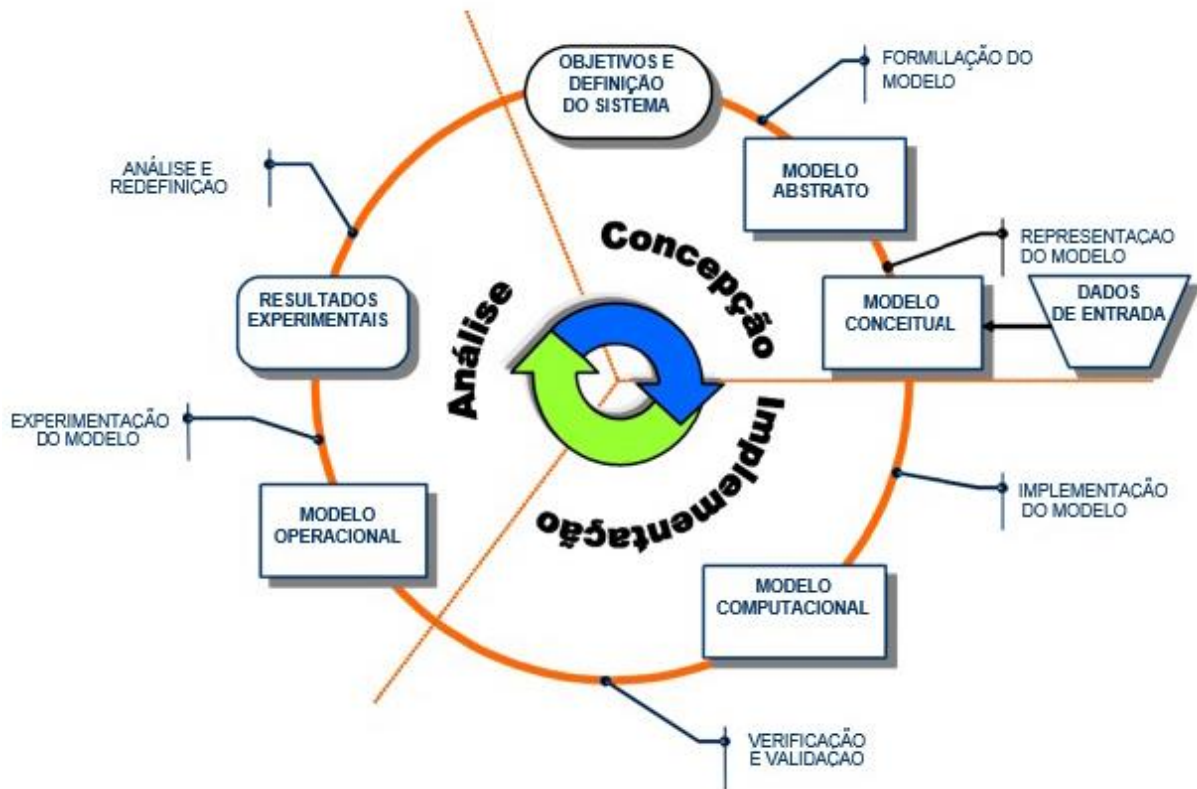


Figura 12 - Etapas de desenvolvimento de um modelo de simulação
Fonte: (CHWIF e MEDINA, 2015)

As simulações são realizadas com os dados iniciais já presentes na linha de montagem. Na medida que os indicadores de produção e os gargalos são identificados, novas simulações acontecem a partir da modificação desses cenários. Assim, os resultados obtidos a cada simulação são comparados com os valores hoje encontrados na linha em questão.

Os índices analisados são: capacidade e utilização da linha, número mínimo de postos de trabalho e gargalos, eficiência e ociosidade da linha de montagem e também os tempos de ciclo teórico e real. A partir desses dados e com a melhor visualização do comportamento da linha frente a mudanças de demanda e de falta de operadores, o engenheiro tem melhor embasamento na tomada de decisão.

4.2 Modelo de Simulação

Antes de iniciar a modelagem e análise de um sistema de eventos discretos⁵, alguns conceitos devem ser conhecidos. O primeiro deles, segundo Banks *et al.* (2010), é o de entidade. Ele é o objeto de interesse do sistema e representa o produto que será processado numa manufatura, os conectores ópticos de campo neste trabalho. O segundo conceito é o de atributo, que são as propriedades da entidade, por exemplo, a capacidade de cada máquina e o tempo entre a movimentação dos operadores. A atividade é o terceiro conceito e representa um período de tempo gasto para a realização de uma tarefa. O quarto conceito é o estado desse sistema, que é o conjunto de variáveis necessário para descrevê-lo em qualquer momento. Banks *et al.* (2010) finalizam com o último conceito, o evento, representado pelo acontecimento que pode mudar o estado do sistema.

Neste trabalho o pacote escolhido para a realizar a simulação de eventos discretos é o Simio 10. Para relacionar com os conceitos anteriormente citados, algumas características do *software* são descritas para o melhor entendimento do modelo.

- *ModelEntity*: são os elementos que representam entidades. Geralmente relacionadas com produtos, clientes, paciente, matérias-primas, dentre outros. As variáveis de estado do sistema trocam com as suas atribuições.
- *Source*: é o elemento fonte e na maioria dos casos é o ponto de partida de uma simulação. Responsável pela criação de *ModelEntities* e *Workers*, explicado na sequência.
- *Worker*: corresponde a entidades relacionadas com a realização de atividades, como os operadores de uma fábrica ou atendentes num banco.
- *Server*: é o elemento responsável pelo processamento do tempo das atividades. São os postos ou estações de trabalho que ao receber uma entidade podem analisar se têm os recursos para realizar uma tarefa ou realizar ações para que esses recursos sejam fornecidos.

⁵ *Sistemas a eventos discretos são sistemas que possuem um espaço de estado discreto tal que a mudança de estado ocorre exclusivamente pela ocorrência de eventos, possivelmente assíncronos (BANKS et al, 2010)*

- *Sink*: representa o fim de um processo e é o bloco responsável por extinguir as entidades em uma simulação. Equivalente ao término de manufatura de um produto ou a saída de um aeroporto.
 - *Node e Connectors*: os nós e conectores fazem a comunicação entre os blocos descritos anteriormente. O *Connector* apenas realiza a comunicação entre os elementos, o *Path* indexa uma variante de distância, o *TimePath* acrescenta à distância um tempo ao conector e o *Conveyor* adiciona as características de esteira a eles.
- Todos esses elementos possuem *Nodes* atrelados e é através deles que ocorre a comunicação com os *connectors*.

Na Figura 13 estão representados todos estes elementos no ambiente do Simio.

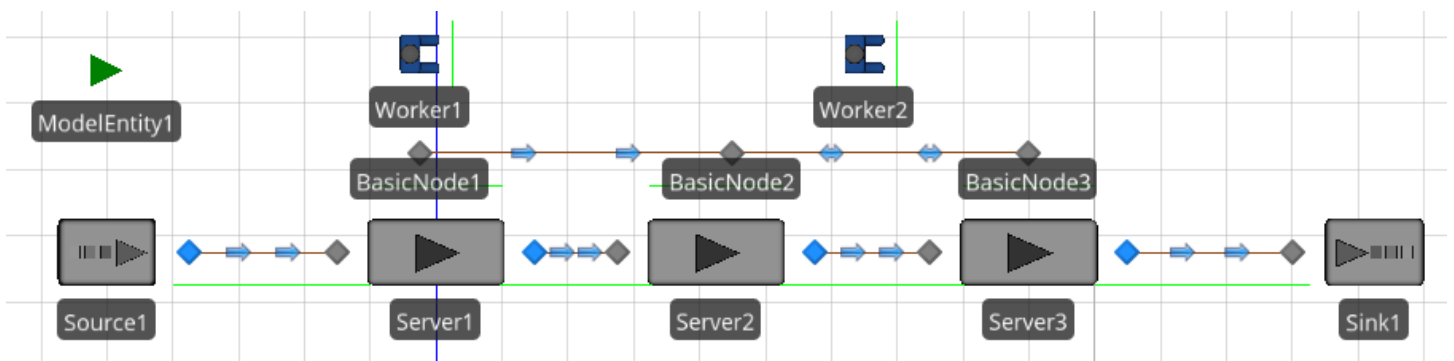


Figura 13 - Exemplos de *Source*, *Server*, *Workers*, *Nodes*, *Connectors* e *Sink* no software Simio

Dado o número de variáveis associadas num processo de manufatura e a complexidade das atividades, é necessário assumir algumas hipóteses para simplificação do modelo e também para não contemplar situações tão específicas com pouca significância nos resultados finais.

- A alimentação da linha ocorre assim que a unidade anterior sai do primeiro posto de trabalho, ou seja, a alimentação da linha não restringe a produção simulada.
- O processamento acontece assim que uma unidade entra na estação e se houver um operador. Porém, o operador realiza uma função de cada vez.
- A unidade só sairá de sua estação de trabalho após o tempo de processamento e se houver um operador (*Worker*) nesta estação. No caso dos postos semi-automáticos (máquina+operador), a unidade só depende do *start* do operador.

- iv. Existem *buffers* entre todas as estações, ou seja, a unidade que sai de uma estação e não pode ser processada na seguinte aguarda em uma área de armazenamento temporário.
- v. Todos os processos são em sequência e os tempos são definidos internamente, assim como os operadores necessários.
- vi. As máquinas já tiveram seus tempos convertidos por unidade e são representados por *Servers* assim como as tarefas dependentes de operador.
- vii. Os processos estão ligados por *Connectors* como se não houvesse distância entre as bancadas.
- viii. Os operadores estão ligados por um trajeto de tempo (*TimePath*) estimado em 1 (um) segundo em cada nó (ponto de transferência ou intersecção) por toda a linha, devido à proximidade dos postos e sequência das tarefas.
- ix. Os retrabalhos e a taxa de utilização para alguns equipamentos, como o interferômetro, foram configuradas nas rotas lógicas dos conectores (*Connector*) de estações.

São duas linhas que executam o processamento simultaneamente, mas como alguns postos de trabalho são compartilhados o modelo considerou como se fosse apenas uma linha, com duas entradas e saídas de entidades.

Os lotes produzidos variam conforme os códigos e quantidade de produtos na embalagem, mas para facilitar a compreensão dos resultados e a representação real das metas da empresa, as unidades que circulam são uma só, sempre o mesmo tipo de conector de campo.

Cada estação de trabalho é representada por um servidor, tanto as operações manuais quanto as que utilizam equipamentos. O transporte entre elas é a partir de caminhos (linhas) que ligam os servidores e transportam as entidades conforme o sentido indicado nas setas, assim como os operadores.

A representação visual bidimensional da linha de produção de conectores ópticos de campo, gerada através do *software* SIMIO 10 é mostrada na Figura 15. Alguns títulos dos elementos das linhas ficaram ocultos devido à representação com menor zoom.

Os tempos de processamento das operações executadas no modelo são de natureza determinística, obtidos pela média das tomadas de tempo realizadas pelos engenheiros responsáveis pela linha. Porém foi utilizado um *Experiment* para a avaliação dos intervalos de confiança realizado com 10 e 100 replicações dos modelos. Por *default* do SIMIO, e também comumente utilizado nas referências do trabalho, considerou-se um nível de confiança de 95% com mínimo de 25% e máximo de 75%. A Figura 14 representa os resultados do Modelo B, detalhados no próximo capítulo.

Drop Filter Fields Here						Scenario							
						Scenario 1				Scenario 2			
Object...	Object Name	Data Source	Cate...	Data Item	Statistic	Average	Minimum	Maximum	Half Width	Average	Minimum	Maximum	Half Width
ModelEntity	DefaultEntity	[Population]	Content	NumberInSystem	Average	2.363,4757	2.362,7741	2.364,0077	0,2567	2.363,7146	2.362,4464	2.366,2834	0,1115
					Maximum	4.708,2000	4.706,0000	4.711,0000	1,0003	4.707,9800	4.706,0000	4.715,0000	0,3155
			FlowTime	TimeInSystem	Average (Hours)	2,6216	2,6191	2,6251	0,0015	2,6230	2,6101	2,6305	0,0006
					Maximum (Hours)	5,1740	5,1690	5,1778	0,0022	5,1738	5,1687	5,1843	0,0005
					Minimum (Hours)	0,0559	0,0555	0,0584	0,0006	0,0563	0,0555	0,0584	0,0002
					Observations	1.663,9000	1.661,0000	1.666,0000	1,0366	1.664,1100	1.657,0000	1.666,0000	0,3206
			Throughput	NumberCreated	Total	5.372,0000	6.372,0000	6.372,0000	0,0000	5.372,0000	6.372,0000	6.372,0000	0,0000
				NumberDestro...	Total	1.663,9000	1.661,0000	1.666,0000	1,0366	1.664,1100	1.657,0000	1.666,0000	0,3206

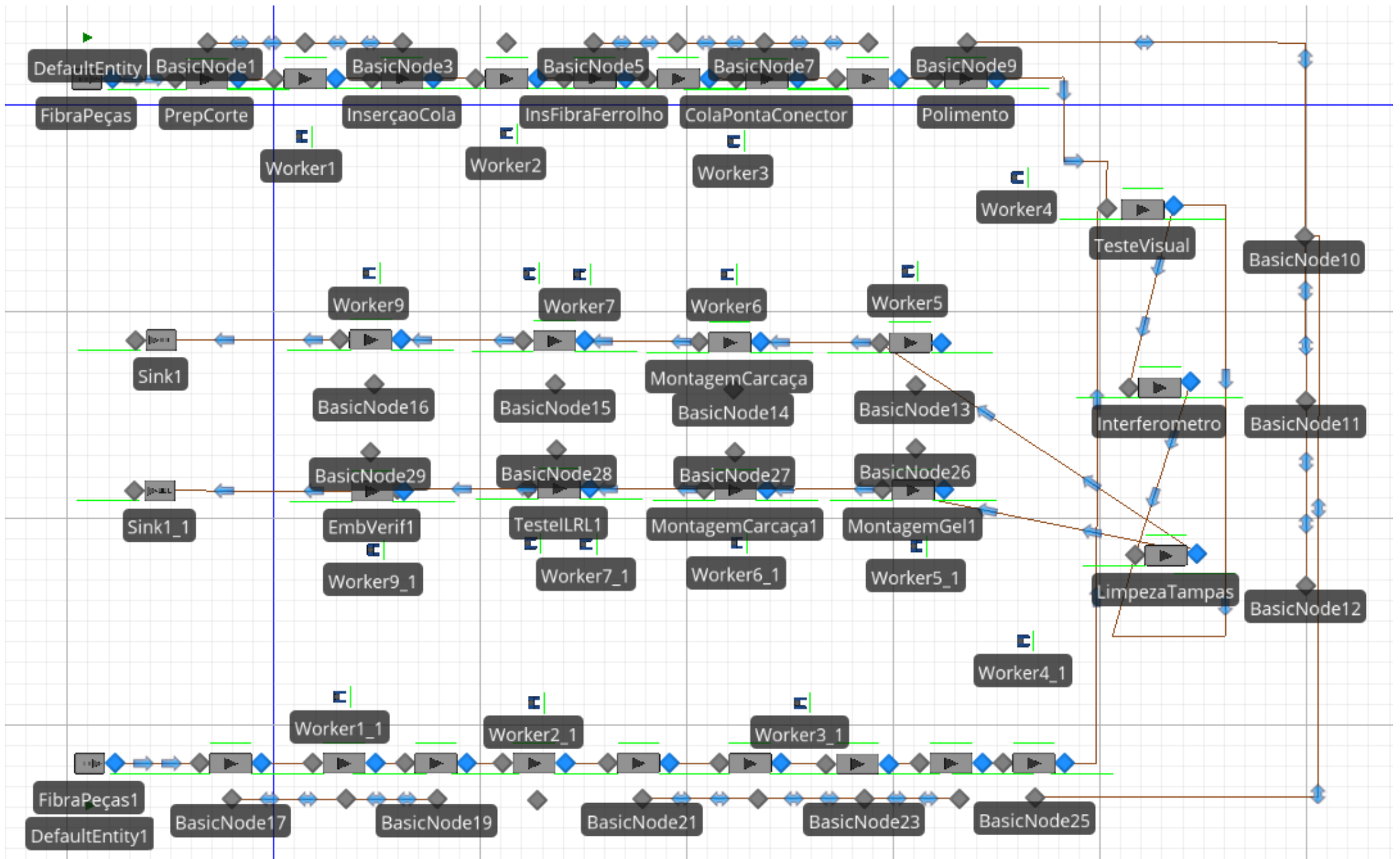
Figura 14 - Experimento realizado no Modelo B para avaliar o intervalo de confiança

Por questões de qualidade e também definições de engenharia para o processo de montagem desses conectores, a estação Interferômetro é utilizada por amostragem, apenas 25% dos produtos devem ser testados com este equipamento por normas regulamentadoras do setor. Os restantes, 75% das peças, realizam apenas o Teste Visual. Esses pesos foram alocados nos *connectors*.

A simulação foi realizada para o segundo turno (período vespertino com com intervalo para jantar e duas pausas), o qual totaliza aproximadamente 7 (sete) u.t. Esse é o período mais extenso entre os turnos e com menos problemas de funcionários. Além disso, as metas são por turno, por período e assim por diante. Caso ocorra um problema na linha, os responsáveis almejam ter tempo para planejar outras formas de entregar os pedidos corretamente (hora extra, remanejamento de operadores e utilização de outras linhas/equipamentos).

O Capítulo 5 a seguir traz os principais resultados obtidos com a execução computacional do modelo de simulação desenvolvido.

Figura 15 - Representação 2D da linha gerada no Simio 10



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de apresentadas as características e as hipóteses do modelo a ser simulado, neste capítulo discutem-se os resultados das simulações e das modificações realizadas nos modelos para representar as variáveis da linha de produção.

Primeiro analisou-se o modelo sem a presença dos operadores para verificar os tempos e o funcionamento das estações. Depois, com as observações da montagem dos operadores e suas respectivas atividades, criou-se um modelo semi-automático que corresponde ao funcionamento real da linha. Finaliza-se o estudo adicionando incertezas nos tempos de processamento através da distribuição triangular. Para simplificação do texto, esses modelos foram identificados como:

- i) Modelo A (sem operadores para avaliar o desempenho "mais rápido" da linha);
- ii) Modelo B (mais próximo do real, com estações semi-automáticas);
- iii) Modelo C (introdução de incertezas para avaliar a sensibilidade dos resultados frente a variações na temporização das atividades).

5.1 Medidas de campo na linha real

Após a coleta de dados realizada na empresa, alguns indicadores de desempenho podem ser calculados e servirão de base para comparação dos resultados da simulação, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Indicadores de desempenho da linha usando 13 estações

<i>Tempo total (u.t.)</i>	202,13
<i>ME (número mínimo de estações)</i>	9,21
<i>Utilização da linha (%)</i>	70,83
<i>* eficiência da linha (%)</i>	92,08
<i>Ociosidade da linha (u.t.)</i>	83,24
<i>Em relação ao tempo total (%)</i>	41,18

* calculado com o número mínimo de 10 estações.

Para os cálculos, foram utilizadas as equações (1) ao (6) explicadas no Capítulo 2. Nos dados da Tabela 6, observam-se a possibilidade de melhorias na utilização da linha com foco na diminuição da ociosidade, que representa 41% do tempo de ciclo total teórico.

O *software* Simio fornece um relatório com todos os objetos criados, suas entidades e os valores para cada um deles. Serão analisadas as entradas, saídas, os postos de operação (server) e os trabalhadores em cada modelo a fim de avaliar os gargalos e oportunidades de melhoria da linha de produção de conectores ópticos.

5.2 Modelo A

Devido à complexidade da linha e as peculiaridades para inicialização dos processos de acordo com os equipamentos necessários para a produção, este modelo foi implementado sem operadores para verificar sua influência. Assim, espera-se que a utilização da linha seja maior e o tempo de ciclo menor (uma vez que os operadores representariam restrições ao funcionamento "mais rápido" da linha).

A comparação foi feita com metade das estações considerando apenas os tempos de processamento (em negrito na Tabela 7), a Linha 1 e a outra metade com a dependência dos trabalhadores no processo (com o índice 1 ao final do nome), Linha 2. O resultado foi conforme o esperado, em média a utilização da linha aumenta em 40% com a retirada dos operadores. Com destaque para o processo de Forno e Inspeção Visual que praticamente dobram sua utilização, mostrado na Tabela 7.

A única estação que se beneficia dos operadores é a dos Testes IL/RL que possui dois trabalhadores e tem a utilização 14% maior do que com a retirada deles.

Tabela 7 - Comparativo do processo com e sem trabalhadores

<i>Nome do Objeto (Estação)</i>	<i>Utilização da estação (%)</i>	<i>Aumento da capacidade utilizada</i>
ColaPontaConector	14,89	39,44%
ColaPontaConector1	9,02	
Forno	84,57	51,77%
Forno1	40,79	
InspVisualPuxamento	34,46	47,93%
InspVisualPuxamento1	17,94	
TesteLRL	14,69	-13,98%
TesteLRL1	16,75	

Isso reafirma a importância da melhoria dos processos produtivos com a automação e mecanização das estações de trabalho, assim como do treinamento e eficiência dos funcionários.

5.3 Modelo B

O maior desafio do modelo a ser desenvolvido foi implementar as estações semi-automáticas, onde o operador apenas inicia o processamento da estação e o tempo de processamento total é contabilizado em parte pela operação manual de início da estação mais o tempo requerido pela própria estação. O modelo B simula a planta de forma mais próxima ao real, considerando que há operadores que apenas iniciam a atividade em um posto de trabalho, mas não necessitam permanecer no posto até a conclusão da atividade.

Por exemplo, no posto de trabalho 6 de Polimento a atividade do operador é apenas colocar as peças na politriz e depois disso ele segue para o posto seguinte de Teste Visual com as peças já polidas. Para que esse tempo de duração de tarefa não trave o trabalhador neste posto até terminar todo o polimento, utiliza-se a aba *Processes* no *software* SIMIO. Com as etapas *Seize* e *Release* adicionadas as sequências de processo, o operador é habilitado a iniciar a atividade na estação e fica disponível para ser usado em outra estação. Este tratamento é mostrado na Figura 16.

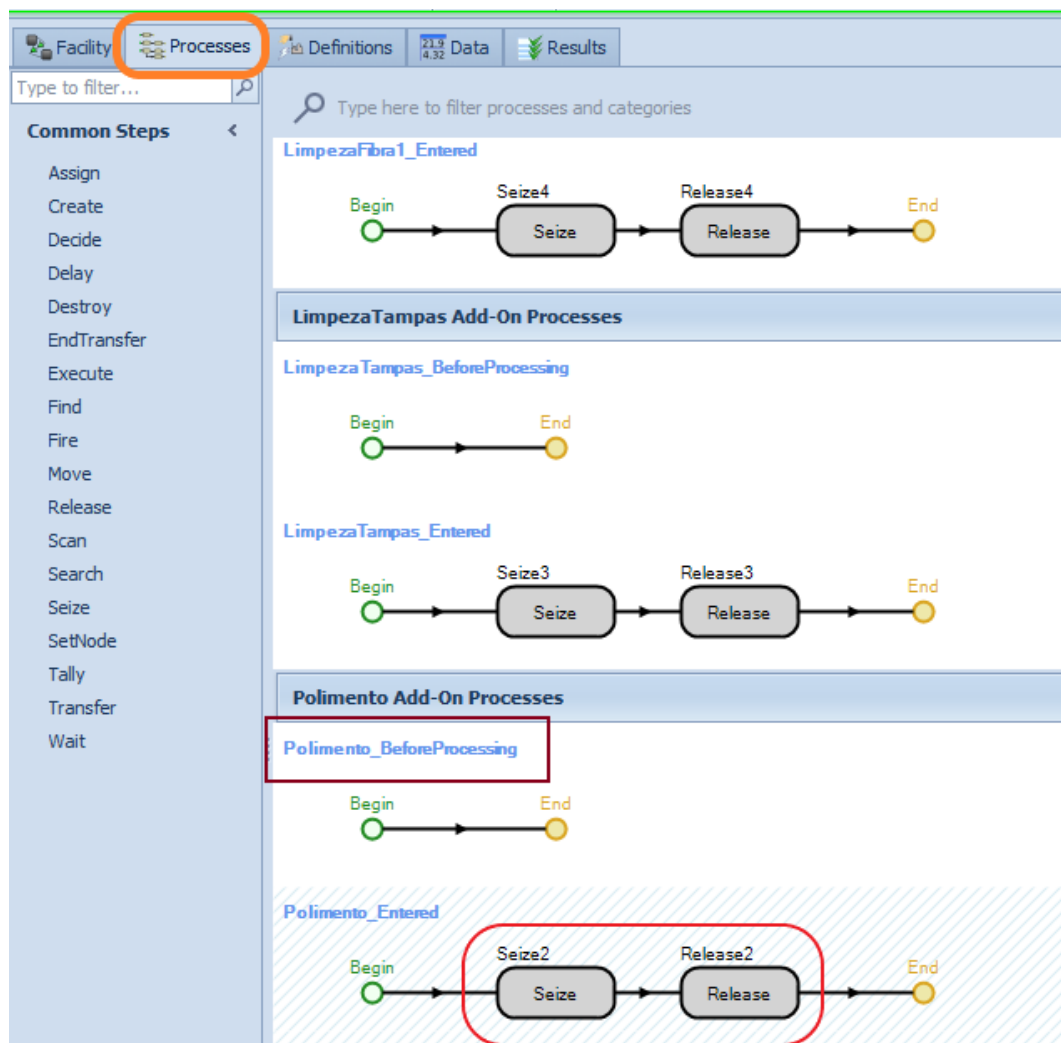


Figura 16 - Exemplo de processo no Simio

Os resultados de simulação a seguir estão divididos segundo os seguintes elementos: entradas e saídas do sistema, *servers* e *workers*.

- Entradas e saídas do sistema

Conforme a Tabela 8, na simulação de 7 u.t, período de um dos turnos da operação da fábrica, o tempo médio dos conectores na linha é de 2,62 u.t., representado como *TimeInSystem*. A média de entrada de cada linha é 3.186 produtos (matéria-prima: fibra óptica e as peças para montagem), com valor máximo de 4.708. Porém, apenas 832 conectores, em média, finalizam o processo. Isso significa que o *WIP (Work in Process ou Progress)* - bens ou produtos de uma companhia que ainda estão em algum processo, em fase de desenvolvimento ou aguardando liberação) está muito alto (mais de 50% dos produtos iniciados ainda estão na linha ao final do

turno). Em números, 26% dos produtos finalizam o processo em um turno e os restantes 74% ainda estão em alguma estação de trabalho.

Tabela 8- Resultado das entradas e saídas do modelo B

<i>Tipo do Objeto</i>	<i>Posto de Operação</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>
<i>ModelEntity</i>	DefaultEntity	NumberInSystem	Média	2363
			Máximo	4708
		TimeInSystem	Média	2,62
			Máximo	5,17
		NumberCreated	Total	6372
<i>Source</i>	FibraPeças	NumberEntered	Total	3186
	FibraPeças1		Total	3186
<i>Sink</i>	Conectores	NumberExited	Total	816
	Conectores1		Total	848

Ao calcular a utilização dos postos (tempos de processamento e de espera com os resultados do SIMIO), a eficiência da linha continua baixa, 37% das unidades permanecem dentro do processo. Calculada como a razão entre o NumberInSystem sobre o NumberCreated. Como todas as operações dependem de um funcionário, as capacidades de utilização são muito afetadas. Se não houver um operador para inicialização essa máquina ou posto ficará parado.

- Servidores: postos ou estações de trabalho do sistema

Na simulação, todos os postos foram colocados com capacidade igual 1, exceto o processo de Teste IL/RL que possui capacidade igual a 2 (duas entidades podem passar ao mesmo tempo, pois têm dois equipamentos de teste neste posto).

Como os resultados das linhas são muito parecidos e elas compartilham apenas 3 estações (7, 8 e 9), serão mostrados nas próximas tabelas apenas os valores da Linha 1 dos postos 1 ao 13 separadamente. São eles as taxas de utilização da linha em porcentagem e em u.t. e também a quantidade de entidades que circula em cada posto.

Nas primeiras etapas, as tarefas são mais curtas e divididas entre poucos operadores, aumentando a capacidade de ambos os objetos. A partir da Inspeção Visual e Puxamento essas taxas vão se dividindo e voltam a crescer nos processos de máquina, como Forno e Polimento. Nos postos compartilhados entre as duas linhas, apenas a Limpeza das Tampas é que tem taxa de utilização elevada. Nas Montagens esses valores sobem um pouco, porém finalizam em menos de 30% na Embalagem e Verificação.

O objetivo do trabalho é a partir desses resultados, balancear os valores de tempo de processamento e da utilização dos postos e dos operadores. Por exemplo, trazer os operadores mais ociosos para as estações mais sobrecarregadas e vice-versa para tentar equilibrar a linha e diminuir o impacto dos gargalos.

Tabela 9 - Resultados para os postos do 1 ao 6 da Linha 1 (Modelo B)

<i>Valores da Linha 1 dos postos 1 ao 6</i>							
<i>Posto de Operação</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>Posto de Operação</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>
1 - Preparo e Corte	UnitsAllocated	Total	3186	4 - Inspeção Visual e Puxamento	UnitsAllocated	Total	914
	TimeProcessing	Percent	87,36		TimeProcessing	Percent	29,23
		Total	6,11			Total	2,05
	TimeStarved	Percent	12,64		TimeStarved	Percent	70,77
Total		0,88	Total	4,95			
1 - Limpeza da Fibra	UnitsAllocated	Total	1233	5 - Cola na Ponta do Conector	UnitsAllocated	Total	914
	TimeProcessing	Percent	99,98		TimeProcessing	Percent	14,69
		Total	6,99			Total	1,03
	TimeStarved	Percent	0,02		TimeStarved	Percent	85,31
Total		0,01	Total	5,97			
2 - Inserção de Cola	UnitsAllocated	Total	1232	5 - Forno (cura da cola)	UnitsAllocated	Total	914
	TimeProcessing	Percent	40,22		TimeProcessing	Percent	62,83
		Total	2,81			Total	4,40
	TimeStarved	Percent	59,77		TimeStarved	Percent	37,17
Total		4,18	Total	2,60			
3 - Limpeza e Clivagem	UnitsAllocated	Total	1231	6 - Polimento	UnitsAllocated	Total	913
	TimeProcessing	Percent	77,47		TimeProcessing	Percent	57,94
		Total	5,42			Total	4,06
	TimeStarved	Percent	22,53		TimeStarved	Percent	42,05
Total		1,58	Total	2,94			
4 - Inserção da Fibra no Ferrolho	UnitsAllocated	Total	915				
	TimeProcessing	Percent	99,76				
		Total	6,98h				
	TimeStarved	Percent	0,24				
Total		0,02					

Tabela 10 - Resultados para os postos compartilhados entre as duas linhas do Modelo B

<i>Postos compartilhados entre as duas linhas: 7, 8 e 9</i>			
<i>Posto de Operação</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>
7 - Teste Visual	TimeProcessing	Percent	43,07
		Total	3,01
	TimeStarved	Percent	56,93
		Total	3,98
	NumberEntered	Total	1824
	NumberExited	Total	1824
8 - Interferômetro	TimeProcessing	Percent	19,52
		Total	1,37
	TimeStarved	Percent	80,48
		Total	5,63
	NumberEntered	Total	445
	NumberExited	Total	445
9 - Limpeza Tampas	TimeProcessing	Percent	99,49
		Total	6,96
	TimeStarved	Percent	0,50
		Total	0,04
	NumberEntered	Total	1824
	NumberExited	Total	1672

Tabela 11 - Resultados para os postos do 10 ao 13 da Linha 1 (Modelo B)

<i>Valores da Linha 1 dos postos 10 ao 13</i>			
<i>Posto de Operação</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>
10 - Montagem Gel	UnitsAllocated	Total	836
	TimeProcessing	Percent	57,99
		Total	4,06
	TimeStarved	Percent	42,01
		Total	2,94
	11- Montagem Carça	UnitsAllocated	Total
TimeProcessing		Percent	77,96
		Total	5,46
TimeStarved		Percent	22,03
		Total	1,54
12 - Teste IL/RL		UnitsAllocated	Total
	TimeProcessing	Percent	84,95
		Total	5,95
	TimeStarved	Percent	15,06
		Total	1,05
	13 - Embalagem e Verificação	UnitsAllocated	Total
TimeProcessing		Percent	28,23
		Total	1,97
TimeStarved		Percent	71,77
		Total	5,02

- Operadores (*Workers*)

No caso dos operadores, a partir do Worker 5, a Tabela 12 mostra os resultados tanto para a Linha 1 quanto na Linha 2 (sufixo “_1”). Devido à divisão dos trabalhadores nos postos 7 ao 9 e a escolha randômica do *software* devido aos pesos alocados, os tempos de saída são apresentados separados. Até o operador 4 os resultados são iguais e foram representados uma única vez abaixo.

Tabela 12 - Resultados da utilização e da alocação de unidades nos 9 operadores da linha

<i>Utilização dos operadores e unidades alocadas em cada um deles</i>							
<i>Nome do Objeto</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>	<i>Nome do Objeto</i>	<i>Data Item</i>	<i>Tipo de estatística</i>	<i>Valor</i>
Worker1	ScheduledUtilization	Percent	100	Worker6_1	ScheduledUtilization	Percent	78,76
Worker1	UnitsAllocated	Total	7602	Worker6_1	UnitsAllocated	Total	850
Worker2	ScheduledUtilization	Percent	77,47	Worker7	ScheduledUtilization	Percent	83,32
Worker2	UnitsAllocated	Total	1231	Worker7	UnitsAllocated	Total	817
Worker3	ScheduledUtilization	Percent	99,81	Worker7_1	ScheduledUtilization	Percent	86,56
Worker3	UnitsAllocated	Total	3657	Worker7_1	UnitsAllocated	Total	849
Worker4	ScheduledUtilization	Percent	58,60	Worker8	ScheduledUtilization	Percent	83,32
Worker4	UnitsAllocated	Total	5006	Worker8	UnitsAllocated	Total	817
Worker5	ScheduledUtilization	Percent	56,94	Worker8_1	ScheduledUtilization	Percent	86,56
Worker5	UnitsAllocated	Total	820	Worker8_1	UnitsAllocated	Total	849
Worker5_1	ScheduledUtilization	Percent	59,05	Worker9	ScheduledUtilization	Percent	27,68
Worker5_1	UnitsAllocated	Total	851	Worker9	UnitsAllocated	Total	816
Worker6	ScheduledUtilization	Percent	77,17	Worker9_1	ScheduledUtilization	Percent	28,77
Worker6	UnitsAllocated	Total	819	Worker9_1	UnitsAllocated	Total	848

Assim como apresentado nos servidores, os trabalhadores apresentam algumas diferenças na sua utilização e conseqüentemente no número de unidades que passam por eles. A maioria tem uma taxa de utilização bem alta, alguns inclusive com quase 100% e diminuindo bastante apenas no último operador.

5.3.1 Alternativas para melhoria dos indicadores

Conforme estão distribuídas as linhas, os postos com utilização máxima (próximos de 100%) podem ser considerados como gargalos, são eles: Limpeza da Fibra, Inserção da Fibra e Limpeza das Tampas. Os processos de limpeza foram caracterizados com tempo de máquina, pois não envolve o trabalho manual dos operadores. Como eles também não são complexos e não envolvem um investimento tão alto em equipamentos, uma possibilidade de divisão dessa utilização ou um melhor aproveitamento destes postos seria aumentando a capacidade dos mesmos.

Quanto a Inserção da Fibra, remanejar o operador 9 para auxiliar neste posto pode ser uma opção para balancear tanto a utilização da linha como diminuir o tempo de trabalho do operador 3. O mesmo espera-se em trazer a tarefa de Inserção de Cola para o *worker 2* além de só a Limpeza e Clivagem.

As divergências de valores do uso dos trabalhadores também mostra o mal aproveitamento do *worker 4* e *5* e uma sobrecarga nos *workers 1* e *3*. Com esses números sugere-se uma rotação entre eles com o auxílio do operador mais ocioso (*worker 9*) ao invés de uma contratação como imaginava-se no início do projeto. A divisão balanceada dessas atividades entre os funcionários aumenta a eficácia do processo e contribui para a satisfação e qualidade de trabalho entre as equipes.

Outra alternativa poderia ser o aumento da capacidade do posto 9 de Polimento, onde começa a operação do *worker 4* com o investimento de outra politriz. A utilização dos postos seguintes aumentaria, assim como o tempo dos operadores nessas estações.

Resumindo, as propostas de melhoria escolhidas para implementação no Modelo B para aumento de produtividade e melhoria do compartilhamento entre postos e operadores são descritas abaixo e atualizadas na Tabela 13:

- *Initial Capacity* de 1 para 2 na Limpeza da Fibra e de 1.5 para a Limpeza das Tampas;
- Remanejamento dos *workers 2, 3, 8* e *9*.

Tabela 13 - Divisão dos postos de trabalho e operadores com alternativas ao Mod. B

Nome do processo	Posto de operação	Tempo de máquina ou de operador	Operador envolvido (<i>worker</i>)	Tempo (u.t.)	Capacidade inicial
Preparação e corte	1	Operador	W1	3,38	1
Limpeza das fibras	1	Máquina	W1	20,45	2
Inserção de cola	2	Operador	W2	4,55	1
Limpeza e clivagem	3	Operador	W2	15,86	1
Inserção de fibra no ferrolho	4	Operador	W3 e/ou W9	11,41	1
Inspeção visual e puxamento	4	Operador	W3	7,06	1
Cola na ponta do conector	5	Operador	W3	3,05	1
Cura da cola	5	Máquina	W3	17,34	1
Polimento	6	Máquina	W4	16,00	1
Teste visual	7	Operador	W4	2,65	1
Interferômetro	8	Operador	W4	9,88	1
Limpeza das tampas	9	Máquina	W4	15,00	1.5
Montagem gel	10	Operador	W5	17,50	1
Montagem carcaça	11	Operador	W6	23,74	1
Teste IL/RL	12	Operador	W7 e W8	25,71	2
Embalagem e verificação	13	Operador	W8 e/ou W9	8,55	1

O W2 deve aumentar sua utilização, retirando o trabalho de W3 sobrecarregado no posto 2. Para auxiliá-lo também, W9 antes parado e com baixa utilização na estação 9 participaria do processo 4 de Inserção da Fibra. Devido ao deslocamento entre postos de trabalho, o W8 poderia ajudar no último processo junto com *worker* 9. Essa modelagem é apresentada nas Tabelas a seguir com uma variação muito significativa em relação ao Modelo B.

Tabela 14 - Resultado das entradas e saídas com as alterações no Modelo B

Tipo do Objeto	Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
ModelEntity	DefaultEntity	NumberInSystem	Média	4441	87,94%
			Máximo	8894	88,91%
		TimeInSystem	Média	3,09	17,94%
			Máximo	6,91	33,66%
		NumberCreated	Total	9370	47,05%
Source	FibraPeças	NumberEntered	Total	4685	47,05%
	FibraPeças1		Total	4685	47,05%
Sink	Conectores	NumberExited	Total	772	-5,39%
	Conectores1		Total	802	-5,42%

Tabela 15 - Resultados da utilização e da alocação de unidades nos operadores com as devidas alterações no Modelo B

<i>Utilização dos operadores e unidades alocadas em cada um deles com as alterações sugeridas no Mod. B</i>									
Nome do Objeto	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B	Nome do Objeto	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
Worker1	ScheduledUtilization	Percent	100	0,00%	Worker6_1	ScheduledUtilization	Percent	79,33	0,72%
Worker1	UnitsAllocated	Total	9369	23,24%	Worker6_1	UnitsAllocated	Total	856	-2,94%
Worker2	ScheduledUtilization	Percent	99,9	28,95%	Worker7	ScheduledUtilization	Percent	80,42	-3,48%
Worker2	UnitsAllocated	Total	2248	82,62%	Worker7	UnitsAllocated	Total	789	-3,43%
Worker3	ScheduledUtilization	Percent	99,73	-0,08%	Worker7_1	ScheduledUtilization	Percent	81,56	-5,78%
Worker3	UnitsAllocated	Total	3652	-0,14%	Worker7_1	UnitsAllocated	Total	818	-3,65%
Worker4	ScheduledUtilization	Percent	57,99	-1,04%	Worker8	ScheduledUtilization	Percent	98,21	17,87%
Worker4	UnitsAllocated	Total	4904	-2,04%	Worker8	UnitsAllocated	Total	1218	49,08%
Worker5	ScheduledUtilization	Percent	56,45	-0,86%	Worker8_1	ScheduledUtilization	Percent	99,14	14,53%
Worker5	UnitsAllocated	Total	813	-0,85%	Worker8_1	UnitsAllocated	Total	1304	53,59%
Worker5_1	ScheduledUtilization	Percent	59,49	0,75%	Worker9	ScheduledUtilization	Percent	88,41	219,40%
Worker5_1	UnitsAllocated	Total	857	0,71%	Worker9	UnitsAllocated	Total	1318	61,52%
Worker6	ScheduledUtilization	Percent	76,57	-0,78%	Worker9_1	ScheduledUtilization	Percent	81,93	184,78%
Worker6	UnitsAllocated	Total	812	-0,85%	Worker9_1	UnitsAllocated	Total	987	16,39%

Tabela 16 - Resultados para os postos 1 ao 13 com as alterações do Modelo B

Valores de utilização dos postos 1 ao 13 com as alternativas de compartilhamento e variação (%) de comparação ao Mod. B				
Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
1 - Preparo e Corte	UnitsAllocated	Total	4685	47,05%
	TimeProcessing	Percent	81,41	-6,81%
		Total	5,7	-6,71%
1 - Limpeza da Fibra	UnitsAllocated	Total	2465	99,92%
	TimeProcessing	Percent	99,98	0,00%
		Total	6,99	0,00%
2 - Inserção de Cola	UnitsAllocated	Total	1125	-8,69%
	TimeProcessing	Percent	99,90	148,38%
		Total	6,97	148,04%
3 - Limpeza e Clivagem	UnitsAllocated	Total	1124	-8,69%
	TimeProcessing	Percent	75,15	-2,99%
		Total	5,26	-2,95%
4 - Inserção da Fibra no Ferrolho	UnitsAllocated	Total	915	0,00%
	TimeProcessing	Percent	99,81	0,05%
		Total	6,99	0,14%
4 - Inspeção Visual e Puxamento	UnitsAllocated	Total	914	0,00%
	TimeProcessing	Percent	95,84	227,88%
		Total	6,71	227,32%
5 - Cola na Ponta do Conector	UnitsAllocated	Total	913	-0,11%
	TimeProcessing	Percent	14,67	-0,14%
		Total	1,03	0,00%
5 - Forno (cura da cola)	UnitsAllocated	Total	912	-0,22%
	TimeProcessing	Percent	62,75	-0,13%
		Total	4,39	-0,23%
6 - Polimento	UnitsAllocated	Total	911	-0,22%
	TimeProcessing	Percent	57,84	-0,17%
		Total	4,05	-0,25%
7 - Teste Visual	UnitsAllocated	Percent	42,36	-1,65%
	TimeProcessing	Total	2,96	-1,66%
		Total	1794	-1,64%
8 - Interferômetro	UnitsAllocated	Percent	23,2	18,85%
	TimeProcessing	Total	1,62	18,25%
		Total	472	6,07%
9 - Limpeza das Tampas	UnitsAllocated	Percent	99,46	-0,03%
	TimeProcessing	Total	6,96	0,00%
		Total	1793	-1,70%
10 - Montagem Gel	UnitsAllocated	Total	813	-2,75%
	TimeProcessing	Percent	56,46	-2,64%
		Total	3,95	-2,71%
11- Montagem Carcaça	UnitsAllocated	Total	856	2,51%
	TimeProcessing	Percent	79,33	1,76%
		Total	5,55	1,65%
12 - Teste IL/RL	UnitsAllocated	Total	811	-2,76%
	TimeProcessing	Percent	97,18	14,40%
		Total	6,8	14,29%
13 - Embalagem e Verificação	UnitsAllocated	Total	787	-5,41%
	TimeProcessing	Percent	94,17	233,58%
		Total	6,93	251,78%

O compartilhamento de operadores mais balanceado aumenta para quase 100% de utilização nos postos de trabalho modificados (como destacado em negrito nas tabelas anteriores), principalmente o posto 4. Incrementando também a quantidade de unidades alocadas no processo em quase 50% no posto 1, aonde inicia a simulação. As estações usadas em ambas as linhas (7, 8 e 9) ainda estão com valores baixos comparados com os demais, mostrando a possibilidade de melhorias e um rebalanceamento do modelo.

Os operadores que antes estavam fixos em uma estação aumentaram sua utilização quando se deslocam e participam de outras atividades, particularmente os *workers* 8, 8_1, 9 e 9_1, da Tabela 15.

O número de unidades no processo aumentou muito em relação ao Modelo B, inclusive a quantidade de entidades criadas passou de 3186 para 4685 (Tabela 14). Entretanto com quase todos os operadores e postos ocupados a saída dos produtos diminuiu em 5%. O tempo de passagem em linha (TimeInSystem) passou de 2,62 (Tabela 8) para 3,09 (Tabela 14) e com a utilização quase máxima da linha, os produtos estão demorando mais para serem finalizados. Provavelmente também pela divisão do último operador, W9, com o posto 3.

Para observar um aumento quantitativo na produção simulou-se o Modelo Alterado para 14 horas, o dobro do estimado anteriormente, e assim a saída das unidades (NumberExited) estabilizou-se e apresentou variação positiva de 4% em relação ao Modelo B, (aproximadamente 883 peças em 7h).

5.4 Modelo C

O Modelo de simulação C introduz incertezas nos tempos de máquina e nos trabalhadores. Com isso, verifica-se a alteração nos indicadores de desempenho da linha ao considerar variações nos tempos medidos na empresa.

5.4.1 Distribuição triangular nos tempos de processamento das estações

As médias de tempo de processamento, assim como as medidas de tempo e a cronometragem de todas as atividades da linha de conectores ópticos foi realizada pela empresa e pelos engenheiros responsáveis. Devido à dificuldade na medição

optou-se por modelar incertezas nestes tempos através de uma distribuição de probabilidade triangular.

A distribuição triangular é normalmente usada para modelar riscos e processos estocásticos, quando a coleta de dados é difícil ou muito cara. Então estimam-se os valores mínimos, máximos e mais prováveis fornecendo uma representação racional para os dados (Minitab®18, 2018). A distribuição tem uma forma triangular justamente por iniciar no seu valor mínimo, aumentando linearmente até o pico no modo e, em seguida, diminuir linearmente até o valor máximo. A Figura 17 a seguir representa essas características.

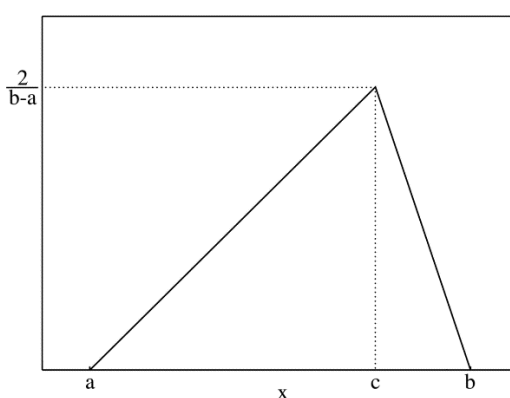


Figura 17 - Gráfico da distribuição triangular
Fonte: Minitab®18, 2018

Foram estimados 1 u.t. a menos nos tempos mínimos e cerca de 2 u.t. acima do valor específico para o tempo máximo em todas as atividades, dependendo do posto de trabalho. Nas operações com máquina essa variação ficou apenas em 1 u.t., pois a medição é mais controlada. Em etapas que possuem várias micro atividades ou funções que exigem um cuidado maior com a fibra óptica, (por exemplo, na Inserção da fibra no ferrolho e na Inspeção visual e Puxamento) optou-se por uma variação maior nos tempos.

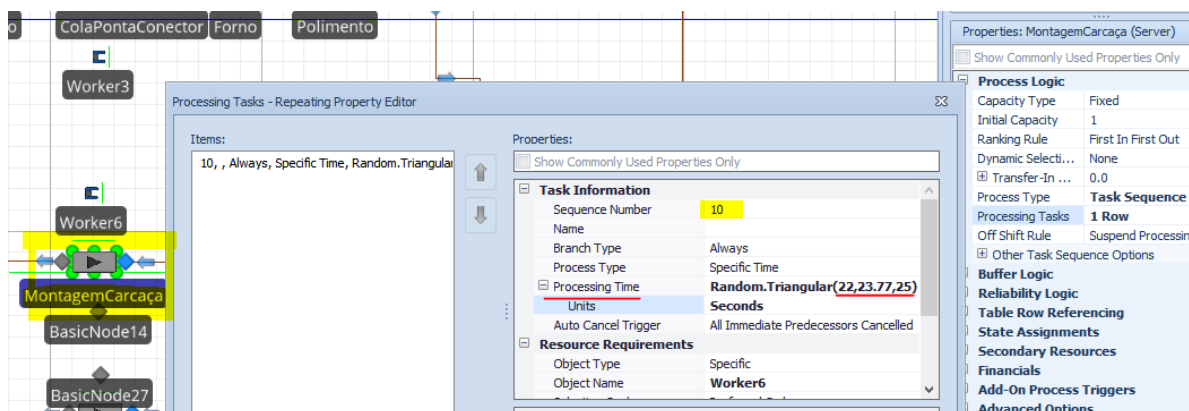


Figura 18 - Representação da dist. triangular nos tempos dos servers

Nos processos onde a maioria das estações depende de maquinário e os operadores se revezam em vários postos, a diminuição da utilização da linhas é considerável na distribuição triangular. Como os adicionais foram colocados conforme sensibilidade e auxílio dos engenheiros, notam-se comportamentos tanto de aumento quanto de redução na utilização da linha como podem ser vistos nas Tabelas a seguir.

Tabela 17 - Resultado das entradas e saídas do modelo C (dist. triangular)

Tipo do Objeto	Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	Variação mod. B
ModelEntity	DefaultEntity	NumberInSystem	Média	2113	-11,83%
			Máximo	4206	-11,93%
		TimeInSystem	Média	2,58	-1,55%
			Máximo	5,09	-1,57%
		NumberCreated	Total	5786	-10,13%
Source	FibraPeças	NumberEntered	Total	2891	-10,20%
	FibraPeças1		Total	2895	-10,05%
Sink	Conectores	NumberExited	Total	758	-7,65%
	Conectores1		Total	822	-3,16%

Segundo a Tabela 17, a variação das entradas e saídas, pela consideração dos valores máximos estimados de processo, diminui aproximadamente 10% desses números iniciais. Quanto a utilização e processamento das estações (Tabelas 18, 19 e 20): para postos com máquina esses valores quase não mudam chegando no máximo em -3%, mas em locais com total dependência do operador a variação pode chegar a 18% de aumento, caso do Interferômetro na Tabela 19.

Tabela 18 - Resultados para os postos do 1 ao 6 da Linha 1 (Modelo C)

Valores da Linha 1 dos postos 1 ao 6									
Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B	Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
1 - Preparo e Corte	UnitsAllocated	Total	4685	47,05%	4 - Inspeção Visual e Puxamento	UnitsAllocated	Total	914	0,00%
	TimeProcessing	Percent	81,41	-6,81%		TimeProcessing	Percent	95,84	227,88%
		Total	5,7	-6,71%			Total	6,71	227,32%
1 - Limpeza da Fibra	UnitsAllocated	Total	2465	99,92%	5 - Cola na Ponta do Conector	UnitsAllocated	Total	913	-0,11%
	TimeProcessing	Percent	99,98	0,00%		TimeProcessing	Percent	14,67	-0,14%
		Total	6,99	0,00%			Total	1,03	0,00%
2 - Inserção de Cola	UnitsAllocated	Total	1125	-8,69%	5 - Forno (cura da cola)	UnitsAllocated	Total	912	-0,22%
	TimeProcessing	Percent	99,9	148,38%		TimeProcessing	Percent	62,75	-0,13%
		Total	6,97	148,04%			Total	4,39	-0,23%
3 - Limpeza e Clivagem	UnitsAllocated	Total	1124	-8,69%	6 - Polimento	UnitsAllocated	Total	911	-0,22%
	TimeProcessing	Percent	75,15	-2,99%		TimeProcessing	Percent	57,84	-0,17%
		Total	5,26	-2,95%			Total	4,05	-0,25%
4 - Inserção da Fibra no Ferrolho	UnitsAllocated	Total	915	0,00%					
	TimeProcessing	Percent	99,81	0,05%					
		Total	6,99	0,14%					

Tabela 19 - Resultados para os postos compartilhados entre as duas linhas do Modelo C

Postos compartilhados entre as duas linhas: 7, 8 e 9 com dist. triangular nos tempos				
Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
7 - Teste Visual	TimeProcessing	Percent	44,25	2,76
		Total	3,10	2,99
	NumberEntered	Total	1770	-2,96
8 - Interferômetro	TimeProcessing	Percent	23,20	18,85
		Total	1,62	18,25
	NumberEntered	Total	472	6,07
9 - Limpeza Tampas	TimeProcessing	Percent	99,50	0,01
		Total	6,96	0,00
	NumberEntered	Total	1586	-13,05

Tabela 20 - Resultados para os postos do 10 ao 13 da Linha 1 (Modelo C)

Valores da Linha 1 dos postos 10 ao 13 com dist. triangular nos tempos				
Posto de Operação	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod B
10 - Montagem Gel	UnitsAllocated	Total	793	-5,44
	TimeProcessing	Percent	54,99	-5,17
		Total	3,85	-5,17
11- Montagem Carcaça	UnitsAllocated	Total	792	-5,15
	TimeProcessing	Percent	74,08	-4,98
		Total	5,18	-5,46
12 - Teste IL/RL	UnitsAllocated	Total	792	-5,04
	TimeProcessing	Percent	80,68	-5,03
		Total	5,65	-5,04
13 - Embalagem e Verificação	UnitsAllocated	Total	832	0,00
	TimeProcessing	Percent	27,77	-1,63
		Total	1,94	-1,52

Os diferentes tempos alocados na distribuição triangular e os resultados obtidos com essa diferenciação na simulação mostram a dependência dos tempos em cada sequência de atividade e a sensibilidade da linha com essas alterações. Se a empresa definir determinados treinamentos aos operadores, focando na especialização de tarefas e aumento do envolvimento e atenção dos funcionários é possível diminuir o tempo de ciclo e afetar positivamente a produção.

O mesmo efeito pode ocorrer com uma atuação mais próxima da empresa em relação as pausas e ociosidade dos operadores por falta de matéria-prima, defeito em algum equipamento ou motivo de sucata/retrabalho diferente do esperado. Visto o quão sensível é a saída de produtos com o aumento de tempo de ciclo, cabe aos engenheiros criar um plano de contingência para mitigar quedas ou paradas das linhas de produção.

Com o histórico de problemas de qualidade em questão e baseado na experiência da autora e dos engenheiros nesta linha de produção pode-se mensurar e comprovar a importância das medidas e ganhos de tempo com uma gestão de recursos mais voltada aos trabalhadores e ao tempo de ciclo.

Tabela 21 - Resultados da utilização e da alocação de unidades nos operadores do modelo C

Utilização dos operadores e unidades alocadas em cada um deles com dist. triangular									
Nome do Objeto	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B	Nome do Objeto	Data Item	Tipo de estatística	Valor	% Mod. B
Worker1	Utilization	Percent	100	0,00	Worker6_1	Utilization	Percent	77,19	-1,99
Worker1	Units	Total	7011	-7,77	Worker6_1	Units	Total	825	-2,94%
Worker2	Utilization	Percent	77,83	0,46	Worker7	Utilization	Percent	76,91	-7,69%
Worker2	Units	Total	1230	-0,08	Worker7	Units	Total	759	-7,10%
Worker3	Utilization	Percent	99,80	-0,01	Worker7_1	Utilization	Percent	83,50	-3,54%
Worker3	Units	Total	3542	-3,14%	Worker7_1	Units	Total	823	-3,06%
Worker4	Utilization	Percent	63,42	8,23%	Worker8	Utilization	Percent	77,00	-7,59%
Worker4	Units	Total	4897	-2,18%	Worker8	Units	Total	759	-7,10%
Worker5	Utilization	Percent	52,67	-7,50%	Worker8_1	Utilization	Percent	83,54	-3,49%
Worker5	Units	Total	760	-7,32%	Worker8_1	Units	Total	823	-3,06%
Worker5_1	Utilization	Percent	57,31	-2,95%	Worker9	Utilization	Percent	26,67	-3,65%
Worker5_1	Units	Total	825	-3,06%	Worker9	Units	Total	758	-7,11%
Worker6	Utilization	Percent	70,97	-8,03%	Worker9_1	Utilization	Percent	28,88	0,38%
Worker6	Units	Total	759	-7,33%	Worker9_1	Units	Total	822	-3,07%

Na utilização dos operadores, as variações se mantêm no padrão de diminuição das entidades criadas e conseqüentemente em quantas unidades são alocadas nesses trabalhadores. O W9, por exemplo finaliza o processo com 822 entidades ao invés de 848 como o segundo modelo. Porém diferentemente dos servidores, quase todos os *workers* apresentam queda de desempenho ao implantar a distribuição triangular, entre 0 e 8% (mostrado na coluna % **Mod. B**). A utilização de um trabalhador é medida pela quantidade de peças que passam por ele e o quanto de tempo ele manufatura essa peça – ou seja, quanto menos entradas, menos necessária a atuação de um *worker*.

6 CONCLUSOES

A competitividade impacta fortemente nos meios de produção e, em particular, em indústrias de fabricação de equipamentos de telecomunicações, em virtude de um mercado aquecido e que representa uma elevada renda anual de serviços no Brasil. Para as empresas se manterem nesse mercado aquecido, os engenheiros precisam ter um maior controle sobre as linhas de produção e se preparar para além de imprevistos na linha de montagem, falhas internas da organização, como erros de *forecast* e falta de investimento.

A partir dessa oportunidade, este trabalho de conclusão de curso teve por objetivo simular computacionalmente uma linha de produção de conectores ópticos de uma empresa da região de Curitiba. Avaliaram-se diversos cenários de operação da linha, incluindo um modelo sem trabalhadores e a distribuição triangular nas medidas de tempo, a fim de subsidiar decisões de readequação de operações e operadores, assim como investimentos na expansão da linha. De modo complementar, uma análise da linha evidenciou possibilidades de melhorias operacionais, com um conseqüente impacto financeiro.

Realizou-se uma pesquisa com os responsáveis pela linha em algumas visitas na empresa, definindo quais parâmetros e necessidades deveriam ser analisadas na simulação e quais hipóteses considerar na modelagem através do *software* SIMIO 10. As tarefas foram divididas conforme o *layout* da linha no barracão juntamente com seus tempos de máquina e de dependência dos operadores.

Foram avaliados os postos de operação mais críticos e desconsideraram-se os processos iniciais e finais de separação e armazenamento de produtos. A partir disso e das hipóteses levantadas no Capítulo 4 baseadas nos problemas de planejamento e controle de produção, foram desenvolvidos e testados alguns modelos de representação da linha de conectores de campo.

Os resultados da simulação mostraram um aumento significativo no balanceamento dos postos de trabalho com uma melhor divisão de atividades entre os operadores. Alguns trabalhadores ociosos acarretavam numa baixa utilização da estação e outros muito sobrecarregados acabavam tornando-as gargalos da linha.

Os operadores durante a simulação mostraram um impacto muito grande na operação e na taxa de utilização das estações, como verificado no Modelo A, revelando uma oportunidade de melhoria em 40% na ociosidade da linha. Com a alocação dos funcionários conforme atualmente se comporta a linha, a distribuição de tarefas revelou-se instável devido a discrepância entre as taxas de utilização de operadores e estações.

Por outro lado tem-se a possibilidade de aumentar a produtividade pela reatribuição de tarefas, sem grande investimento (representado por um aumento de capacidade dos processos de Limpeza da Fibra e das Tampas) e sem a necessidade de contratação de mais funcionários. Isto foi apresentado através do Modelo B semiautomático e das alterações propostas.

O Modelo C provou a sensibilidade de alguns processos frente a variações nos tempos de duração das tarefas e do ciclo de produção, assim como a importância de uma estratégia de especialização dos operadores ou até mesmo no preparo dos treinamentos para aumento de eficiência em atividades mais específicas ou dependentes dos trabalhadores. Em particular, os postos 2 e 4, Inserção de Cola e Inspeção Visual e Puxamento, foram os que mais dobraram sua utilização sem o aumento no número de unidades alocadas.

A grande possibilidade de alternativas e modos de produção da linha dificultam o engenheiro em qual frente priorizar. Como não existia nada parecido na empresa, a simulação vem com uma vasta gama de soluções e ferramentas para guiar o responsável pela linha conforme as metas da área. Desde focando na qualidade de vida dos funcionários, balanceando seu tempo de ociosidade e aumentando a eficiência do seu trabalho. Quanto a incluir no *budget* o investimento de novas máquinas para aumento da capacidade em alguns postos mais críticos de utilização.

A simulação mostrou-se muito útil também para definir um novo layout quando se quiser verificar os tempos de movimentação dos operadores e da logística dentro do barracão em relação a entrada de peças e a saída de produtos acabados para armazenagem.

O uso de dados confidenciais da empresa foi protegido por meio de alterações nos nomes e dados reais (uso de fator de multiplicação). Em particular, os engenheiros

responsáveis pela linha em análise comprometeram-se durante o desenvolvimento do trabalho e tem interesse na realização do projeto.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Para a continuidade do estudo recomenda-se simular mais de um *part number* e adicionar rotas dinâmicas conforme os produtos da linha. Em seguida, complementar a modelagem ao abranger o início da linha com a armazenagem, separação e entrega das peças, assim como a inspeção dos lotes até a logística para a empresa fazer sua distribuição.

Para aprimorar os modelos desenvolvidos neste trabalho indica-se a utilização de um otimizador, devido as diversas possibilidades de remanejamento e utilização das estações e dos operadores. O SIMIO possui uma ferramenta chamada OptQuest que poderia ser muito útil e elevaria o estudo com compreendendo suas complexidades, desde o conhecimento de um funcionário em determinado processo até a melhor rota até um posto de trabalho.

Uma questão importante e não abordada neste trabalho é a formação de filas entre as estações que necessitaria de uma análise mais detalhada na criação de *buffers* e que pode impactar expressivamente os resultados da produção.

Além disso, modelar o processo em 3D para melhor visualização e entendimento dos trabalhadores, treinamentos ou apresentação da linha. E posteriormente se houver interesse da empresa, modelar e simular as outras linhas de montagem e o compartilhamento de operadores entre elas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Giancarlo F.; PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. **Simulações de arranjos físicos por produto e balanceamento de linha de produção: O estudo de um caso real no ensino para estudantes de engenharia**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2007

ALBUQUERQUE, D. **Telecomunicações tem a maior receita do setor de serviços**. Disponível em: <https://economiasdeservicos.com/2017/10/03/telecomunicacoes-tem-a-maior-receita-do-setor-de-servicos/> Acesso em. 30 out. 2017

BANKS, Jeny e CARSON, John S., **II Discrete - Event System Simulation**. 1994.

BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. **Discrete-Event System Simulation**. 5ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.

BOYSEN, Nils; FLIEDNER, Malte; SCHOLL, Armin. **A classification of assembly line balancing problems**. European Journal of Operational Research, 2006.

CORNÉLIO FILHO, P. **O modelo de simulação do GPCP-1: jogo do planejamento e controle da produção**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

CORRÊA, H. CORRÊA C. **Administração da Produção e Operações**. 2ª edição. Atlas, São Paulo 2010.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos - Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2015.

DIAS, L.; VIEIRA, A.; PEREIRA, G; OLIVEIRA, J. **DISCRETE SIMULATION SOFTWARE RANKING – a Top list of the Worldwide most Popular and Used Tools**. 2016 Winter Simulation Conference.

FREITAS FILHO, P. J., **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas: com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books Editora, 2001. 322 p.

FURUKAWA. **Guia geral de aplicações – conectividade óptica Furukawa**. Acesso em 10 de nov. 2017. Disponível em: http://portal.furukawa.com.br/arquivos/G/Gui/GuiaConectividade/2565_GuiaConectividadeAOptica.pdf.

_____. **Especificação técnica do Conector de campo EZ! Connector APC**. Acesso em 04 de mar. 2018. Disponível em: <https://www.furukawatam.com/pt-br/versao-et-pdf/conector-de-campo-ez-connector-apc>

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da produção e operações**. 8ª edição. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GUIMARÃES, Alexandre Magno Castañon. **Simulação Computacional: Um modelo de maturidade e de seleção para uso dos softwares em manufaturas.** Rio de Janeiro, 2015. Tese de Doutorado - PUC Rio

GUPTA, A.; SINGH, K.; VERMA, R. A critical study and comparison of manufacturing simulation softwares using analytic hierarchy process. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 5, No. 1, p. 108-129, 2010.

IBGE. **Pesquisa anual de serviços.** Disponível em: <https://questionarios.ibge.gov.br/downloads-questionarios/pas-pesquisa-anual-de-servicos> Acesso em: 21 nov. 2018

JESUS, Abel Ribeiro; SALVI, Emille Jeane Novais Ribeiro; CERQUEIRA, Filipe Cardoso, COSTA, Gabriel Ramalho; MARQUES, Nikolas da Silva. **Dossiê técnico: Fabricação de fibra óptica.** Instituto Euvaldo Lodi – IEL/BA Bahia, 2013

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHOTRA, M. K. **Administração de produções e operações.** 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009

MAGATÃO, Leandro. **Pesquisa operacional.** Notas de Aula. UTFPR/DAMEC. Curitiba, 2016.

MILLER, J. A., PEGDEN, D.; **Manufacturing simulation: introduction to manufacturing simulation.** 32nd Conference on Winter Simulation, WSC 2000. Orlando, 2000

MINITAB®18. **Distribuição triangular.** Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/triangular-distribution/> Acesso em 10 nov. 2018

MORIMOTO, Carlos E. **Conectores e splicing.** Guia do Hardware. Postado em abril de 2008. Disponível em: <http://www.hardware.com.br/livros/redes/conectores-splicing.html> Acesso em: 07 nov. 2017

OR/MS TODAY. **Simulation Software Survey** (October 2017) Disponível em: <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation1.html>. Acesso em: 15 mai. 2018.

PARAGON. **O que é simulação?** Disponível em: <http://www.paragon.com.br/academico/o-que-e-simulacao/> Acesso em: 13 out 2017

PEGDEN, C. D.; SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN.** McGraw-Hill, NY. 2 ed., 1990.

PHOTTON. 10 pontos importantes dos Conectores Ópticos de Campo. Disponível em: <http://www.photton.com.br/10-pontos-importantes-dos-conectores-opticos-de-campo/> Acesso em: 04 mar. 2018

PROJETO DE REDES. **Fibras ópticas**. Publicado em 05 de Janeiro de 2013. Disponível em http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_fibras_opticas.php. Acesso em 10 nov. 2017.

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson Education, 2004.

SAMPAIO, M. G.; TREVISAN, F. Z. **Análise e estudo da aplicação de softwares de modelagem e simulação industrial e de processos**. Trabalho de Conclusão de Curso – UTFPR. Curitiba, 2017.

SCHRIBER, T. J., **Simulation Using GPSS**, New York, Wiley.1974

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON R., **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo. Atlas. 2002

_____. **Operations Management**. 5th edition. Pearson, 2007

SENAI. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Cabeamento estruturado/SENAI**. Departamento Regional de Santa Catarina. Brasília: SENAI/DN, 2012. Acesso em: 01. Nov 2017. Disponível em: <https://professorleonardomello.files.wordpress.com/2013/03/cabeamento-estruturado.pdf>

SENKO. **Produtos detalhados**. Disponível em: http://www.senko.com/fiberoptic/detail_product.php?product=46. Acesso em 10 nov. 2017

SILVA, Bráulio Wilker. **Pesquisa operacional: visão geral**. Artigos Comunidade ADM. Publicado em 15 agosto 2011. Disponível em: <http://www.administradores.com.br/artigos/tecnologia/pesquisa-operacional-visao-geral/57475/>

SILVA JUNIOR; TABINI, Ricardo; NUNES, Denizard. **Fibras ópticas**. São Paulo: Érica, 1991.

SRIKANTH, Mokshagundam L; UMBLE, Michael. **Synchronous management: profit-based manufacturing for the 21st century**, vol 1. Guilford, CT: Spectrum Publishing Company, 1997

STEVENSON, William J. **Production/Operations Management**. Fifth Edition, Estados Unidos da América: Richard D. Irwin, 1996.

UNDER LINUX. **Constituições da fibra óptica**. Publicado em 06 de Junho de 2016. Disponível em <https://under-linux.org/entry.php?b=4670>. Acesso em 10 nov. 2017.

VIEIRA, Antonio; DIAS, Luis M. S.; PEREIRA, Guilherme; OLIVEIRA, José A. **COMPARISON OF SIMIO AND ARENA SIMULATION TOOLS**. Universidade do Minho, Braga Portugal. International Conference on Computacional Science and its Application, 2014.

WIRTH, Almir. **Telecomunicações/comunicações via fibras óticas**. Rio de Janeiro:Book Express, 1998. 191 p.