

KATLEN ARAUJO RAPOSO

**USO DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA EM
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONTROLES REMOTOS**

MANAUS – AM
2022

KATLEN ARAUJO RAPOSO

**USO DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA EM
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONTROLES REMOTOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental - PPG.EGPSA, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia- ITEGAM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Jandecy Cabral Leite

**MANAUS – AM
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

Raposo, Katlen Araujo, 2022 - USO DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA EM LINHA DE PRODUÇÃO DE CONTROLES REMOTOS. / Katlen Araujo Raposo - 2022. 74 f., il: Colorido

Orientador: Dr(a). Jandecy Cabral Leite

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. FlexSim 2. Simulação 3. Processos Produtivos 4. Controle Remoto 5. Capacidade de Produção

CDD - 1001.ed.2022.41

KATLEN ARAUJO RAPOSO

**USO DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA EM
LINHA DE PRODUÇÃO DE CONTROLES REMOTOS**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

Manaus, 18 de novembro de 2022.



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite

Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Edson Farias de Oliveira
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Antônio Estanislau Sanches
Examinador Externo (UEA)

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM) e ao Programa de Mestrado em Engenharia de Gestão de Processos (PMEGP/ITEGAM).

E um agradecimento especial a meu colega e grande amigo William Bruno Soares Rodrigues. O mesmo foi a pessoa que mais me motivou e ajudou a concluir esta Dissertação.

RESUMO

RAPOSO, Katlen Araujo. USO DO FLEXSIM PARA SIMULAÇÃO DE PROPOSTAS DE MELHORIA EM LINHA DE PRODUÇÃO DE CONTROLES REMOTOS. 2022. P.74. Dissertação do Programa de Mestrado em Engenharia de Gestão de Processos (PMEGP), Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

A simulação computacional é uma ferramenta com o potencial de gerar uma grande redução de custos operacionais, visto que é possível modelar um processo em ambiente controlável, testar modificações e analisar os resultados, sem necessariamente alterar a estrutura real do processo produtivo. Neste artigo, buscou-se propor cenários produtivos por meio da simulação que tem como objetivo eliminar a presença de produtos não conformes devido a utilização do fluxo NC215 no processo de soldagem por onda e aumentar a capacidade produtiva para produção de controles remotos em uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus/AM, identificar o melhor cenário proposto a partir da utilização simulação computacional com o software *FlexSim*. Foram coletados dados referentes ao processo de produção atual. O modelo computacional construído foi verificado e validado com sucesso em comparação com dados do processo real. Através dos resultados obtidos pela simulação computacional foi possível identificar o melhor cenário proposto.

Palavras-Chave: *FlexSim*, Simulação, Processos Produtivos, Controle Remoto, Capacidade de Produção.

ABSTRACT

RAPOSO, Katlen Araujo. USE OF FLEXSIM TO SIMULATE IMPROVEMENT PROPOSALS IN A REMOTE CONTROL PRODUCTION LINE. 2022. P.74. Dissertation of the master's program in Process Management Engineering, Institute of Technology and Education Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

Computer simulation is a tool with the potential to significantly reduce operating costs, since it is possible to model a process in a controllable environment, test modifications and analyze the results, without necessarily changing the actual structure of the production process. In this article, we sought to propose production scenarios through simulation that aims to eliminate the presence of non-compliant products due to the use of NC215 flux in the wave soldering process and increase the production capacity for the production of remote controls in a company located in the Industrial Pole of Manaus/AM, to identify the best scenario proposed from the use of computational simulation with *FlexSim* software. Data referring to the current production process were collected. The constructed computational model was successfully verified and validated against real process data. Through the results obtained by the computer simulation, it was possible to identify the best proposed scenario.

Keywords: *FlexSim*, Simulation, Production Processes, Remote Control, Production Capacity.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Modelo geral de administração da produção e estratégia de produção.....	18
FIGURA 2 – Fases do caminho de desenvolvimento Indústria 4.0.....	31
FIGURA 3 – Fluxo da simulação.....	45
FIGURA 4 – Fluxograma de processo.....	47
FIGURA 5 – Fluxograma do processo atual.....	48
FIGURA 6 – Imagem CR BETA.....	48
FIGURA 7 – Máquina de Solda Wave.....	51
FIGURA 8 – Pallet de Solda.....	51
FIGURA 9 – Máquina Robô de Soldagem.....	52
FIGURA 10 – Base de soldagem.....	52
FIGURA 11 – Fluxograma de processo Cenário 1.....	54
FIGURA 12 – Fluxograma de processo Cenário 2.....	55
FIGURA 13 – Fluxograma de processo Cenário 3.....	57
FIGURA 14 – Simulação FlexSim do Cenário Real.....	59
FIGURA 15 – Simulação FlexSim do Cenário 1.....	60
FIGURA 16 – Simulação FlexSim do Cenário 2.....	62
FIGURA 17 – Simulação FlexSim do Cenário 3.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Abordagens Organizacionais	23
Tabela 2.2 – Organização Funcional versus por processos	23
Tabela 4.1 – Tempos das atividades do Cenário Real	58
Tabela 4.2 – Tempos das atividades do Cenário 1	59
Tabela 4.3 – Tempos das atividades do Cenário 2	61
Tabela 4.4 – Tempos das atividades do Cenário 3	62

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo Geral.....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	13
1.3 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO	14
1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO	14
CAPÍTULO 2.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES.....	16
2.2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	19
2.3 MEDIDAS DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	20
2.3.1 Gestão de Processos e Gestão por Processos	20
2.3.1.1 Abordagens da Qualidade.....	21
2.3.1.2 A abordagem clássica	21
2.4 A EVOLUÇÃO DA QUALIDADE AO LONGO DA HISTÓRIA	22
2.5 ABORDAGEM POR PROCESSOS	22
2.6 MODELAGEM DOS PROCESSOS.....	24
2.7 GESTÃO POR PROCESSOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO	26
2.8 EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA	27
2.8.1 Indústria 1.0	27
2.8.2 Indústria 2.0	27
2.8.3 Indústria 3.0	27
2.8.4 Indústria 4.0	28
2.9 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0.....	28

2.9.1 Índice de Maturidade 4.0 - Acatech Indústria	30
2.10 LEAN MANUFACTURING	31
2.11 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS.....	34
2.11.1 Modelos de simulação.....	34
2.11.2 Vantagens	35
2.11.3 Desvantagens.....	36
2.11.4 Riscos	36
2.12 FLEXSIM.....	37
2.13 LINHAS DE PRODUÇÃO	37
2.14 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO	39
2.14.1 Etapas do balanceamento	40
2.15 ANÁLISE DE TEMPOS E MÉTODOS.....	41
2.16 TRATAMENTO DE DADOS	42
2.16.1 Análise de dados quantitativos	42
2.16.2 Análise de dados qualitativos.....	43
CAPÍTULO 3.....	44
3 MÉTODOS.....	44
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	44
3.2 COLETA DE DADOS.....	44
3.3 REALIZAÇÃO DE BALANCEAMENTO DE ATIVIDADES	45
3.4 USO DO FLEXSIM PARA A SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROPOSTOS	45
CAPÍTULO 4.....	47
4 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR.....	47
4.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PRELIMINAR.....	47
4.1.2 Processo de Produção do CR BETA	47
4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUTO E PROCESSO	48
4.2.1 Descrição do Produto	48

4.2.2 Descrição de Etapas do Processo.....	49
4.2.2.1 Descrição de Etapas do Processo - Inserção Manual	49
4.2.2.2 Máquina de Soldagem por Onda	49
4.2.2.3 Acabamento.....	49
4.2.3 Defeitos	50
4.2.4 Coleta de Dados	50
4.3 ANÁLISES DE MÁQUINAS	51
4.3.1 Máquina de Solda Wave	51
4.3.2 Máquina Robô de Soldagem.....	52
4.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE SUBSTÂNCIAS.....	53
4.4.1 Solda Tin-Lead.....	53
4.4.1.1 Tin-Lead em Barra	53
4.4.1.2 Tin-Lead em Fio com Fluxo.....	53
4.4.2 Fluxo NC215.....	53
4.5 PROPOSTA PRELIMINAR DE CENÁRIOS	54
4.5.1 Cenário 1 – Soldagem de Cinco Componentes.....	54
4.5.2 Cenário 2 – Soldagem de Dois Componentes	55
4.5.3 Cenário 3 – Soldagem de Três Componentes.....	56
4.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS POR MEIO DO FLEXSIM.....	58
4.6.1 Simulação Cenário Atual	58
4.6.2 Simulação Cenário 1 – Soldagem de Cinco Componentes.....	59
4.6.3 Simulação Cenário 2 – Soldagem de Três Componentes	61
4.6.4 Simulação Cenário 3 – Soldagem de Dois Componentes	62
4.7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	63
4.7.1 Inovações em Relação ao Cenário Atual	63
4.7.2 Vantagens e Desvantagens dos Cenários Propostos	64
4.7.2.1 Cenário 1	64

4.7.2.2 Cenário 2	64
4.7.2.3 Cenário 3	65
CAPÍTULO 5	66
5.1 CONCLUSÕES.....	66
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO	67
REFERÊNCIAS	68

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A rápida evolução do mercado competitivo atual é consequência do surgimento de novas tecnologias facilitadoras para análise de seus processos, esse cenário diante as empresas, exige cada vez mais excelência na realização de suas atividades. A simulação e a modelagem vêm sendo utilizadas amplamente em diversas áreas, já que são ferramentas poderosas que permitem a criação de um sistema computacional sem a necessidade de alteração do sistema físico real, possibilitando analisar o sistema como um todo, o que implica em desenvolvimento de sistemas produtivos cada vez mais eficientes (CHWIF E MEDINA, 2010; SAMPAIO; OLIVEIRA, 2013).

Ao utilizar a simulação, o esperado é que sejam geradas situações favoráveis ou desfavoráveis que sirvam de apoio à tomada de decisões, buscando sempre a organização do sistema em análise. O modelo de simulação busca a representação do comportamento próximo do real no sistema, porém deve haver a preocupação em evitar uma complexidade maior que a do próprio sistema, o que acabaria gerando um problema maior a ser resolvido que a do próprio sistema em análise (BANKS; CHWIF 2010). Por meio da modelagem e simulação de sistemas, é possível identificar as possíveis falhas na produção, desta forma, medidas corretivas podem ser tomadas para melhor efetividade do sistema, além de fornecer uma visão sistêmica de todo o processo envolvido (CARNEIRO; PINTO, 2010).

O software *FlexSim*, é uma poderosa ferramenta de modelagem e simulação, a qual foi utilizada para elaboração desse projeto de pesquisa. O software tem sua principal utilização em áreas de projetos de otimização de armazéns, logísticas e melhorias na linha de produção. A área em que a utilização do software *FlexSim* se aplica nesse projeto é a de melhoria em linha de produção, especificamente em uma linha de produção de controles remotos para aparelhos de ar condicionado.

O problema real do estudo é uma análise prévia de cenários propostos para a eliminação de defeitos em placas de controle remoto gerados pelo residual de fluxo NC215 e o aumento da capacidade produtiva do processo e garantindo a qualidade do produto de acordo com as especificações do cliente. Entendido o problema real do estudo, posteriormente é realizada a modelagem computacional dos cenários propostos usando o software *Flexsim*. A pesquisa trata de um estudo de caso empírico, de caráter quantitativo descritivo.

1.1 JUSTIFICATIVA DA DISSERTAÇÃO

Na Engenharia de Produção, o uso da simulação é fundamental para os Sistemas de Apoio à Decisão, pois é possível encontrar gargalos e fontes que geram erros, problemas ou desperdícios ao processo e, de acordo com o resultado gerado, sugere aos tomadores de decisões alternativas de melhoria. Muitos destes conceitos podem ser encontrados nos trabalhos de Bateman *et al.* (2013), Zhu *et al.* (2014), Miguel (2011) e Corrêa *et al.* (2001).

Alguns trabalhos relacionados à simulação estudam alguma parte do processo produtivo, seja na produção ou na distribuição do produto acabado. Neste estudo, foi modelado o processo produtivo de controles remotos para aparelhos de ar-condicionado em uma empresa que tem como segmento o ramo de manufatura e o objetivo do estudo é analisar propostas de melhoria para processo com a finalidade de eliminar os defeitos por acúmulo residual de fluxo NC215 e aumentar a capacidade produtiva, utilizando o *software* de simulação *FlexSim*.

Como as propostas de melhoria para o processo produtivo exigem mudança de maquinário e investimentos em novos dispositivos para auxiliar na soldagem de componentes, o trabalho teve papel importante não só para justificar a viabilidade desses investimentos, mas também para mostrar que essas alterações no processo vão gerar impactos positivos significativos na capacidade de produção.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar por meio dos resultados obtidos pelo uso da simulação de cenários propostos se é viável o investimento em alterações no processo produtivo de modo que as alterações propostas resultem em um impacto real positivo na capacidade de produção e na produtividade do processo.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a simulação do cenário atual do processo;
- Simular cenários de processos que possibilitem averiguar todas as hipóteses levantadas;
- Analisar a possibilidade de uso de uma Máquina Robô de Soldagem no lugar da Máquina de Solda Por Onda;
- Balanceamento das etapas do processo da linha de produção a fim de melhorar o planejamento da produção;

- Possibilitar redução de custos com mão de obra direta, energia e matéria prima;
- Aumento da capacidade produtiva;
- Demonstrar se viabilidade dos investimentos será positiva;

1.3 CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O trabalho desenvolvido e apresentado nesta dissertação de mestrado representa um importante passo inicial na implementação de atividades de modelagem e simulação na empresa escolhida para ser o plano de fundo deste trabalho. Novos projetos de simulação com diferentes objetivos podem, portanto, ser conduzidos com base nos resultados obtidos neste trabalho.

O estabelecimento de modelos de simulação da linha de inserção manual e acabamento do controle remoto permite comparar os cenários propostos e encontrar o cenário ideal de modo em que possam ser validados o balanceamento das atividades, o número de colaboradores ideal para a realização das atividades, a possibilidade de troca de maquinário e maneiras de alcançar a capacidade produtiva do processo.

Outro ponto de destaque para o estabelecimento desses modelos é a possibilidade de adaptá-los para processos já existentes e para a introdução de processos para novos produtos. Assim criando abertura para estudos de viabilidade de investimentos em aquisição de maquinários, aquisição de dispositivos, mudanças de layout, instalações de energia, instalações de exaustão e pneumáticos e por fim ajudando na precificação de produtos.

O modelo construído neste trabalho também possibilita a otimização dos fluxos de processo, permitindo a delimitação de condições ótimas para utilização da estrutura instalada. Tal oportunidade futura pode ser combinada, por exemplo, com a simulação da automatização de operações atualmente manuais, o que permitiria a exploração máxima do edifício envolvido da planta de produção abordada.

1.4 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

O conteúdo presente em cada capítulo seguinte é brevemente descrito abaixo:

- **Capítulo 2:** Apresenta o referencial teórico necessário para o desenvolvimento da dissertação e uma revisão de literatura sobre trabalhos semelhantes. Neste capítulo, disserta-se sobre simulação de eventos discretos, análise de tempos e métodos, o *software* de simulação *Flexsim* e tratamento de dados;

- **Capítulo 3:** Explica a metodologia que foi utilizada no trabalho e mostra o estudo de tempos realizado;
- **Capítulo 4:** Apresenta as etapas de construção do modelo de simulação, coleta de dados e testes de aderência para os tempos coletados;
- **Capítulo 5:** Contém os principais resultados e uma análise comparativa entre os cenários simulados.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão desenvolvidas a fundamentação teórica que embasa este trabalho. Ele está dividido em seções, nas quais serão abordados tópicos relacionados à área de estudo através da abordagem de autores que discorrem sobre a administração da produção e operações, planejamento, programação e controle da produção, medidas de desempenho, produtividade e Indústria 4.0 e suas ferramentas de simulações nos processos.

2.1 ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

A tomada de decisões em empresas industriais e de serviços requer a utilização de técnicas específicas que levam em consideração as peculiaridades de cada negócio. Moreira (2012, p. 3) define que: “a Administração da Produção e Operações é o campo de estudo dos conceitos e técnicas aplicáveis à tomada de decisões na função Produção (empresas industriais) ou Operações (empresas de serviços)” (MOREIRA-MATIAS, LUIS et al. 2015; ANTONY, JIJU; VINODH, S.; GIJO, E. V., 2017). Isto significa que tanto empresas industriais quanto de serviços ocupam-se de conceitos de administração para a tomada de decisões, sejam elas relacionadas à produção de bens ou a operação de serviços (KARMARKAR, UDAY S.; APTE, UDAY M., 2007; BOTTA-GENOULAZ, VALERIE; MILLET, PIERRE-ALAIN. 2006).

Para Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) trazem a visão de operações como uma das várias funções dentro da organização, como contabilidade, engenharia, finanças e recursos humanos, por exemplo. Cada função é especializada nas suas próprias áreas de conhecimento e habilidades, responsabilidades e domínios de decisão, mas sempre interligadas por meio de processos. “A coordenação interfuncional é essencial para a administração efetiva [...]”, pois a administração de operações interage fortemente com as outras funções da empresa e não se consegue isolá-la das demais (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009, p. 3). Por exemplo, o marketing orienta o gerente de operações no planejamento do ritmo produtivo e da capacidade de produção, através de previsões de demanda, já as medidas financeiras ajudam a avaliar os custos e influenciam nas decisões sobre investimento de capital em novas tecnologias, desenho de *layout*, ampliação de capacidade e até quantidades de estoque. O gerente de operações depende, portanto, de diversas outras funções para tomar suas decisões e precisa manter relações estreitas com os demais gerentes, utilizando-se das funções administrativas clássicas para gerir as atividades de produção (MINTZBERG, 1989).

Segundo Moreira (2012), os conceitos e técnicas que se constituem no objeto da administração da produção e operações dizem respeito justamente às funções administrativas clássicas (planejamento, organização, direção e controle) aplicadas às atividades envolvidas com a produção física de um produto, ou à prestação de um serviço. Os conceitos e técnicas aplicam-se tanto à tomada de decisão quanto aos recursos produtivos ou, mais diretamente, às formas de utilizá-los do ponto de vista administrativo, de forma a conseguir melhores resultados.

Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009) conceituam a administração de operações de forma similar a Moreira (2012), referindo-se ao termo como projeto, direção e controle de processos que transformam insumos em produtos e serviços tanto para clientes internos como externos.

Moreira (2012) explora as quatro funções clássicas de planejamento, organização, direção e controle:

- O *planejamento* embasa as atividades gerenciais futuras estabelecendo linhas de ação para satisfazer objetivos estabelecidos, e também determina os prazos para efetivação destas ações;
- A *organização* é o processo de harmonizar os recursos produtivos (pessoal, matérias-primas, equipamentos e capital) da maneira mais coerente para garantir o melhor aproveitamento;
- A *direção* diz respeito ao processo de efetivação dos planos, através da motivação e coordenação de esforços para transformar o planejado em atividades concretas;
- O *controle* envolve a avaliação do desempenho e a consequente aplicação de medidas corretivas quando necessário.

A Administração da Produção e Operações é, portanto, a administração do sistema de produção de uma organização, que transforma insumos em produtos e serviços. E dado que os gerentes administram o sistema de produção, sua principal preocupação reside nas atividades do processo de transformação, ou produção.

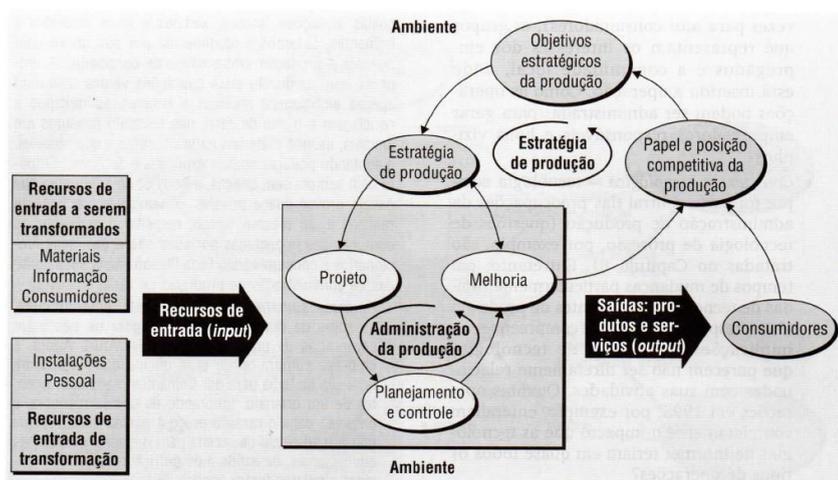
Assim, todos os bens consumidos e serviços disponibilizados são fruto do esforço de organização da produção executado pelos gerentes de operações, os quais têm tarefas específicas, resolvem problemas e tomam decisões para proporcionar os serviços e produtos dos quais todas as pessoas necessitam (SLACK, 2002).

Segundo Slack (2002) os gerentes de produção possuem alguma responsabilidade por todas as atividades da organização que contribuem para a produção efetiva de bens e serviços: responsabilidade direta, indireta e ampla.

As responsabilidades diretas correspondem à tradução da direção estratégica em ação operacional, ou seja, traduzem os objetivos organizacionais em termos de implicações para os objetivos de desempenho da produção: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo. Projetam a operação, não só os produtos e serviços, mas também os sistemas ou processos que os produzem. Planejam e controlam as atividades das operações ao decidir quando e onde as atividades ocorrerão e ao detectar e reagir a quaisquer desvios dos planos. E por fim, melhoram o desempenho da operação com referência a seus objetivos estratégicos, por meio da combinação de atividades de melhoria (ACUR, 2003; LOHMAN, CLEMENS; FORTUIN, LEONARD; WOUTERS, MARC, 2004).

As responsabilidades indiretas incluem trabalho conjunto com outras áreas funcionais do negócio. Já as responsabilidades amplas incluem compreensão do impacto sobre a operação, da globalização, da responsabilidade ambiental, da responsabilidade social, de novas tecnologias e da gestão do conhecimento. Para Slack (2002, p.58) propõe um modelo de administração da produção baseado em dois *loops* (laços) de atividades inter-relacionadas, como demonstra a Figura 1. “Sua base corresponde, mais ou menos, ao que é, geralmente, visto como administração da produção, e o topo, como estratégia da produção.”

Figura 1 - Modelo geral de administração da produção e estratégia de produção.



Fonte: SLACK, (2002, p.58).

Segundo Slack (2002), todas as operações produtivas podem ser modeladas como processos que transformam recursos de entrada (*input*) em recursos de saída (*output*) e

produzem alguma combinação de produtos físicos e/ou serviços. Diferem em termos de volume de saída, de variedade dos *outputs* que produzem e em relação ao grau de contato com o cliente que possuem (FØRSUND, Finn R. 2008).

Cabe à gestão da produção traduzir a direção estratégica em ação operacional, projetando os sistemas ou os processos de produção, planejando e controlando as atividades produtivas e melhorando continuamente o desempenho da operação (DESOUZA, Kevin C.; CHATTARAJ, Ayan; KRAFT, 2003).

Segundo Chiavenato (2014), o objetivo primário de toda e qualquer organização é a produção de algo, e elas não operam ao acaso, precisam ser administradas e conduzidas ao sucesso. Gerir significa combinar os recursos necessários e as competências adequadas para o funcionamento da empresa garantindo a plena utilização de recursos e melhores resultados.

2.2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Um dos conceitos centrais da gestão de operações é o de planejamento. Corrêa (2007) atribui a necessidade de planejar à inércia intrínseca aos processos decisórios que incluem recursos físicos. Desde o momento em que se toma uma decisão até que ela se torne real de fato, transcorre um tempo, entendido então como inércia do processo decisório. Decisões de alteração de capacidade, de mudança de fluxo, ou disponibilidade de recursos demandam tempo para que sejam efetivadas e, portanto, exigem planejamento (NWOGUGU, Michael CI et al. 2016; SAUTER, VICKI L, 2014; SLACK, NIGEL; LEWIS, MICHAEL. 2002).

“As atividades de Planejamento e Controle da Produção envolvem uma série de decisões com o objetivo de definir o que, quanto e quando produzir, comprar e entregar, além de quem e/ou como produzir” (FERNANDES, 2010, p.8). As atividades de planejamento e controle são portanto, chave para as demais atividades da administração da produção, pois não há organização e direção sem que haja decisões claras de planejamento que antecedam estas atividades (BOWER, 1972; MALMI, TEEMU; BROWN, DAVID A. 2008).

Já a programação da produção, “[...] é um vínculo crítico entre o planejamento e as fases de operações [...]” na qual ocorre a alocação de recursos ao longo do tempo para realização de atividades específicas (KRAJEWSKI; RITZMAN; MALHOTRA, 2009, p. 569). Sem programação não há efetivação do que foi planejado e dificilmente será alcançado o potencial produtivo da empresa.

Os objetivos da programação da produção são: permitir que os produtos atendam a qualidade especificada; garantir que máquinas e pessoas trabalhem com os níveis desejados de produtividade; diminuir os estoques e os custos operacionais e manter ou melhorar o nível de

atendimento ao cliente. Sendo potencialmente conflitantes, estes objetivos devem ser focados a fim de se encontrar o melhor balanço possível entre eles, mesmo que não sejam alcançados simultaneamente, pois o incremento de um pode influenciar no prejuízo de outro (ETI, MARK C.; OGAJI, S. O. T.; PROBERT, S. D, 2004; AHUJA, Inderpreet P. SINGH; KHAMBA, JAIMAL SINGH, 2008; GUPTA, MAHESH; KOHLI, AMARPREET. 2006).

Moreira (2012) resume ainda as atividades de programação da produção em dois processos: alocação de carga (distribuição das operações pelos centros de trabalho – o que e quanto produzir) e sequenciamento de tarefas (definição da ordem de realização das operações – quando produzir). Cabe ao controle de produção assegurar que as ordens de produção sejam cumpridas na data certa e de forma adequada, ajustando possíveis desvios não planejados. O controle compara o planejado com o realizado a fim de eliminar a lacuna entre eles para tornar o sistema de produção efetivo REITER, Stanley, 1966; XIANG, Wei; LEE, Heow Pueh. 2008; RODAMMER, Frederick A.; WHITE, K. Preston., 2007; SCHÖNSLEBEN, Paul., 2018).

Cabe neste momento contextualizar os conceitos de eficiência, eficácia e efetividade ligados à produção. O sistema de produção é eficaz se os objetivos são de fato atingidos; é eficiente se os recursos são utilizados da melhor forma possível (sem desperdícios) e é efetivo se for simultaneamente eficaz e eficiente (AMERI, FARHAD; DUTTA, DEBA. 2005; DALLASEGA, PATRICK; RAUCH, ERWIN; LINDER, CHRISTIAN, 2018; ROSSI, PETER H.; LIPSEY, MARK W.; HENRY, GARY T., 2018).

Atingir os objetivos sem desperdiçar recursos deve ser o foco no qual os gerentes de produção se baseiam para as decisões diárias, e para tanto é necessário entender em que patamar de desempenho a empresa se encontra para melhorar continuamente (RICHARD, W. et al. 2003; LIKER, JEFFREY K.; MORGAN, JAMES M, 2006; POWER, DANIEL J. 2002; BESTERFIELD, DALE H. et al., 2014).

2.3 MEDIDAS DE DESEMPENHO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

2.3.1 Gestão de Processos e Gestão por Processos

Nesta seção, abordaremos a distinção entre gestão de processos e gestão por processos, mas, antes de fazê-lo, é necessário que você conheça alguns conceitos, a exemplo dos conceitos de qualidade, processo, padrão e indicadores. Esses conceitos serão importantes para a referida distinção e para o acompanhamento dos conteúdos neste módulo. Optamos por apresentá-los na forma de um glossário, ainda que a estrutura possa parecer muito esquemática.

2.3.1.1 Abordagens da Qualidade

A Qualidade Total é uma filosofia de gestão que teve o seu auge no Japão, embora se baseasse em tecnologia desenvolvida por engenheiros americanos que foram para o Japão após a Segunda Guerra Mundial. Ela tem grande ênfase nas atividades de manufatura.

Para melhor compreender o Gerenciamento pela Qualidade Total (TQC) será feito um breve histórico do desenvolvimento da Ciência da Administração, a evolução do próprio TQC e os conceitos e definições mais importantes para a compreensão dessa filosofia gerencial. Neste trabalho, a definição de administração adotada será a proposta por HERSEY e BLANCHARD, (1986), segundo os quais administrar é "trabalhar com e por meio de pessoas e grupos para alcançar objetivos organizacionais".

A escola clássica é considerada como o surgimento da Ciência da Administração. Foi o primeiro momento em que a administração passou a ter status de ciência. Seus principais expoentes foram Frederick Taylor e Henry Fayol (WREN, DANIEL A.; BEDEIAN, ARTHUR G.; BREEZE, JOHN D., 2002; FAYOL, HENRI; TAYLOR, FREDERICK W.; DRUCKER, PETER F., 2006; TAYLOR, FREDERICK., 2011).

2.3.1.2 A abordagem clássica

No início do século XX, Frederick Taylor (nos Estados Unidos) e Henri Fayol (na Europa) desenvolveram estudos que culminaram com o surgimento da primeira teoria a tratar a Administração como ciência, a Abordagem Clássica da Administração.

Essa abordagem pode ser desdobrada em duas orientações diferentes, porém, complementares entre si. De um lado, nos Estados Unidos, a Escola da Administração Científica, formada por engenheiros como Taylor, Gantt, Gilbreth e Emerson. Sua preocupação básica era a de aumentar a produtividade da empresa através do aumento da eficiência do nível dos operários. Daí a ênfase na divisão das TAREFAS (TAYLOR, FREDERICK W.; DRUCKER, PETER F., 2006).

Do outro lado, na Europa, a corrente dos Anatomistas e Fisiologistas da organização, chamada de Teoria Clássica, formada por executivos de empresas da época como Fayol, Mooney, Urwick e Gulick. A preocupação básica era a de aumentar a eficiência da empresa, através da forma e disposição dos seus órgãos e de suas inter-relações estruturais. Daí a ênfase na estrutura e funcionamento da organização (TAYLOR, FREDERICK., 2011).

Segundo Chiavenatto, (1979), as origens da Abordagem Clássica da Administração remontam às conseqüências geradas pela Revolução Industrial e que poderiam ser resumidas

em dois fatores bastante genéricos, tais como o crescimento acelerado e desorganizado das empresas e a necessidade de aumentar a eficiência e a competência das organizações.

Assim sendo, essas limitações e restrições não apagam o fato de que a Administração Científica foi o primeiro passo na busca de uma teoria administrativa. Um passo pioneiro e irreversível.

2.4 A EVOLUÇÃO DA QUALIDADE AO LONGO DA HISTÓRIA

Conceitualmente, a qualidade é conhecida há milênios. O homem pré-histórico sabia diferenciar uma fruta boa de uma ruim, ou quando uma ponta de lança produzida por ele estava perfeita ou defeituosa. Isso tudo sem entender os conceitos que, só recentemente, durante este século, surgiram formalmente como função da Administração.

A disciplina ainda está em formação. No princípio sua ênfase era voltada para a inspeção. Atualmente, as atividades relacionadas com a qualidade se ampliaram e são consideradas essenciais para o sucesso estratégico. Se anteriormente a qualidade era tratada como um território exclusivo dos departamentos de produção e operações, hoje ela abarca funções diversificadas como compras, engenharia e pesquisa de marketing, recebendo a atenção de diretores executivos (JURAN, JOSEPH M. *et al.*, 1992; MORGAN, COLIN; MURGATROYD, STEPHEN. 1994).

2.5 ABORDAGEM POR PROCESSOS

Não existe um produto ou serviço oferecido por uma empresa sem um processo para provê-los. Segundo Torres (2002), para gerenciar processos de negócios é necessário um modelo mental da organização, por meio de quatro perspectivas: visão das pessoas, visão dos processos, visão dos recursos e a visão dos clientes. A representação por processos de negócios é de fundamental importância para a gestão organizacional. O conceito permeia as referências sobre estratégia na medida em que representa o componente que possibilita a tomada de ações (KAPLAN & NORTON, 1997; ACUR & BITITCI, 2003).

A teoria e prática organizacional ao longo dos anos nos mostra a evolução de uma abordagem fragmentada para uma visão mais holística de processo (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Abordagens Organizacionais

Domínio	Abordagens Organizacionais	
	Abordagem Clássica	Abordagem Orgânica
Referências	Teoria Científica (Taylor), Teoria Clássica (Fayol), Teoria de sistemas (Bertalanffy), Burocracia (Weber).	Teoria Contingencial (Woodward, Chandler, Staler), Administração por objetivos (Drcker), Gestão Estratégica (Porter), Participativa (Marx, Rousseau, Start Mill), Japonesa (Deming Ohno)
Sistemas	Fechado	Abertos
Processos	Fragmentados	Totais
Estruturas	Verticais	Horizontais
Trabalho das Pessoas	Mecânicos	Empowerment (Capacitação)

Fonte: Adaptado de Torres (2002).

Ao compararmos algumas características de uma organização funcional (tradicional) para as organizações centradas em processos (Tabela 2.2), podemos observar também uma mudança de percepção tanto no âmbito do perfil da força de trabalho com múltiplos conhecimentos, habilidades, trabalho em equipe quanto no desenho organizacional focado na criação de valor para o cliente por meio das pessoas (SCHIAR, 2002).

Tabela 2.2 – Organização Funcional versus por processos

ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL	ORGANIZAÇÃO POR PROCESSOS
Cliente como uma variável que causa distúrbio	Objetivos ajustados pelas necessidades dos clientes
Negação de incerteza	Legitimação da incerteza
Controle	Auto-Organização
Busca do Equilíbrio	Fluxo Constante
Sobrevivência contra o ambiente	Convivência com o ambiente
Ordem Planejada	Ordem Emergente
Trabalho Individual	Trabalho em Equipe
Especialização	Múltiplos Conhecimentos

Fonte: Adaptado de Schiar (2002)

Sistemas de operações, seja de manufatura como de serviços, são baseados em processos. O conceito de processos enquanto função, consiste conceitualmente em observar o fluxo do objeto de trabalho (material, serviços ou mesmo ideias) no tempo e no espaço. O conceito de operação consiste, por outro lado, no acompanhamento do fluxo do agente do trabalho no tempo e no espaço (Cassel, 2004). Segundo Shingo (1996) De maneira análoga, Correa & Gianesi. (1994) reforçam a visão de processos em serviços. Podemos encontrar o

enfoque em processos em diversas literaturas: BPM (Smith & Fingar, 2003), Qualidade (Deming, 1990); Análise da cadeia de valor (Porter, 1980); Em busca da excelência (Peters & Waterman, 1982); Reengenharia (Hammer, 1994); inovação (Davenport, 1994); A empresa orientada ao cliente (Day, 2001); Gestão do conhecimento (Davenport & Prusak, 1998); Cadeia de suprimentos (Coughlan et al., 2002).

No trabalho de Acur & Bititci (2003), na prática da integração entre estratégia de operações e gestão por processos ressalta-se a necessidade da visão dos processos que suportam os objetivos empresariais dentro de uma visão cíclica de aprendizagem.

Segundo Grover & Kettinger (2000) processos devem estar alinhados com a estratégia, pessoas/estruturas, métricas e a arquitetura de T.I. (Tecnologia da informação).

Assim, como síntese dentro desta abordagem mais orgânica e holística, podemos perceber a importância do conceito de processo.

Segundo Tinnila (1995), processo é um grupo de tarefas logicamente inter-relacionados que utilizam recursos da organização para prover determinados resultados face aos objetivos da organização.

Segundo Schaeffer (1997), podemos tipificar processos em: processos de produção – produzem produtos ou serviços diretamente; processos baseados em atividades ou projeto – geralmente invisíveis para o cliente final, são executados para administrar, obter, controlar e coordenar recursos; processos de distribuição ou baseados em agentes- aqueles focados na definição de ações ou quais atividades a serem executadas; processos comportamentais ou baseados no cliente- focado nos fluxos de trabalho para fornecer serviços e apoio ao cliente onde tempo é uma variável importante.

2.6 MODELAGEM DOS PROCESSOS

Modelagem de processos de negócio: do inglês *business process modeling*, trata de uma linha teórica com base na reengenharia de processos (Davenport, 1994) e, pode contribuir com alguns propósitos, como por exemplo: explicitar o conhecimento; entender como funciona; controlar ou monitorar; tomar decisões; analisar alguns aspectos da organização; simular o comportamento de algumas partes; reprojeter e racionalizar (Correia et al., 2002). Tanto a reengenharia ou *Business Process Reengineering* (BPR) quanto o *Total Quality Management* (TQM) necessitam que seus processos sejam desenhados. Embora a reengenharia pura tenha insistido em evitar a busca de melhorias incrementais por apregoar mudanças radicais, muitos autores a consideram parte de uma gestão integrada de processos à longo prazo (Moad, 1994; Bennis, 1996; Caldwell, 1994). Não há evidências práticas que comprovem a separação entre

iniciativas de reengenharia e melhoria contínua. Ou seja, a melhoria continua pode ser sequenciada depois de uma ação de BPR (Guha et al.,1993; Davenport,1993). Todos os modelos existentes na literatura são variações do modelo de “Descongelar- Mudar- Congelar” formulado primeiramente por Kurt Lewin (Kanter et al., 1992).

Pode- se considerar que o modelo de processos de negócio está contido no modelo de empresa ou modelagem empresarial sendo em diversas metodologias seu principal elemento constituinte (Amaral & Rozenfeld.2001) e pré- requisito para a integração (Vernadat.1996).

Segundo Schaeffer (1997), a modelagem empresarial possibilita visualizar as seguintes perspectivas: Informacional – entidades, atributos, domínios e relacionamentos; comportamental – eventos, condições, estados e transições; processos – atividades, artefatos, agentes e relacionamentos e; organizacional- unidades de organização, regras, recursos e locais.

Segundo Vernadat (1996) “...um modelo de empresa pode ser composto de muitos sub- modelos”, sendo que “...o conteúdo de modelo de empresa é qualquer que a empresa considere importante para suas operações”. O escopo da modelagem de empresas, propriamente dito, segundo Vernadt(1996) seria basicamente definido pela resposta às perguntas o quê, como, quando, quem e onde. Respondendo o que é ou deve ser feito está- se descrevendo aspectos funcionais da empresa. O que se refere também ao aspecto informacional, ou seja, quais dados são usados ou produzidos e qual seu relacionamento. Como e quando se referem a aspectos do comportamento dinâmico do sistema, integrando ao modelo o importante aspecto do tempo. Por fim, deve-se responder quem é responsável por quais funções, conferindo uma dimensão organizacional ao modelo, mas também qualificando o local no qual as funções são executadas.

A qualidade da modelagem é uma questão importante, na medida em que o desenho do processo passa a ser o pilar básico. Segundo Bi (2004), as seguintes qualidades de uma solução para modelagem de processos são importantes: formalismo – semântica inequívoca; expressividade – suficiente; escalabilidade – múltiplos níveis; modularidade – unidades padrões de representação; fácil de usar- amigável.

Aaist et al. (2000) propõem seis diretrizes neste sentido:

1. Aderência- a sintaxe utilizada é completa e coerente e, a semântica mostra que a estrutura e o comportamento do modelo são coerentes com o mundo real;
2. Relevância – selecionou um objeto relevante e utilizou uma técnica de modelagem adequada de um modelo mínimo (um dado modelo não deve conter mais informações que o necessário);
3. Clareza – a terminologia, denominações e visualização são claras e legíveis para os usuários;
4. Comparabilidade – terminologias e convenções utilizadas permitem a comparação de diferentes processos (busca de uma linguagem homogênea);

5. Estruturação Sistemática – utiliza todas as estruturas relevantes para demonstrar adequadamente a realidade (integração de modelos de processos e modelos de informações);
6. Eficiência Econômica – como uma restrição das outras diretrizes. Ou seja, a avaliação do custo x benefício de se obedecer a cada uma das diretrizes em um nível viável (por exemplo: em termos de utilidade e tempo).

Pandaya(1997) afirma que existem dois modos de representação dos processos de negócios: voltado para os sistemas de informações (implementação de sistemas computacionais) e o voltado para a gestão de valor dos processos (avaliação de desempenho).

Na visão de Kondareddy(1998), modelagem de processos tem a sua origem nos processos de desenvolvimento de softwares. Diferentemente do diagrama de fluxo de dados ou de entidades e relacionamentos, o modelo de processos explicita o papel fundamental das pessoas devendo facilitar o entendimento, análise e comunicação para outros. Desempenham um papel fundamental em processos de mudanças. A modelagem de processos é pré-requisito essencial na busca de integração e coordenação (Vernadat, 1996).

2.7 GESTÃO POR PROCESSOS E A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Com o objetivo de atender à dinâmica competitiva atual, as empresas buscam soluções de integração dos processos fundamentadas em tecnologia da informação, de modo a prover maior flexibilidade e agilidade nas suas operações.

Apesar da Tecnologia de informação hoje disponível possibilitar novas formas de operação e gerenciamento dos processos das empresas, ela não garante que esses processos sejam realizados da forma mais adequada para atingir os objetivos da empresa (Davenport,1994). Assim é necessário definir os requisitos dos processos de negócios, analisá-los e então projetá-los, incorporando os conhecimentos e tecnologias realmente necessárias para sua realização (Campos &Santos,2001).

Davenport apud Smith&Fingar (2003, 113) identifica 9 efeitos ou possibilidades da tecnologia da informação sobre os processos de negócios: automatização; obtenção da informação; permitir a sequenciação de tarefas e atividades; rastreabilidade; melhorar a capacidade analítica; extrapolar as fronteiras físicas da organização; integração das partes ou processos; gestão do conhecimento e possibilitar a desintermediação.

2.8 EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA

Antes do surgimento da indústria, tudo era produzido de forma manual, fator que propiciava pequenas produções, e isso era inviável diante de uma população que crescia descontroladamente. Além disso, produzir mais rápido e em maior quantidade era a essência do capitalismo, que tinha como objetivo principal a obtenção de lucros (CAVALCANTE; SILVA, 2011).

A produção manual não era mais interessante, então surgiu o processo de revolução industrial que ficou conhecido por importantes invenções, que provocaram a evolução do setor produtivo e de transporte. A ciência descobria a utilidade do carvão como fonte de energia e então a descoberta da máquina a vapor e a locomotiva (VENTURELLI, 2017)

2.8.1 Indústria 1.0

A indústria têxtil foi a primeira a utilizar a nova tecnologia da máquina a vapor. Sendo assim a primeira revolução industrial uma grande motivação para o surgimento do capitalismo. Essas mudanças tecnológicas continuaram a crescer mudando consideravelmente a vida das pessoas e até hoje continuam em processo de transformação (CAVALCANTE; SILVA, 2011).

2.8.2 Indústria 2.0

Surgiu nesse período a grande descoberta da eletricidade, a transformação do ferro em aço, o surgimento e modernização dos meios de transporte, o avanço dos meios e comunicação, o desenvolvimento da indústria química e de outros setores. Essa revolução industrial contribuiu para a busca de maiores lucros; especialização do trabalho; ampliação da produção. (SILVA; GASPARIN, 2013).

2.8.3 Indústria 3.0

A terceira revolução industrial, também chamada de Revolução Técnico-Científica e Informacional são formadas por meio dos processos de inovação tecnológica, os quais são marcados pelos avanços nos campos da informática, robótica, das telecomunicações, dos transportes, da biotecnologia, química fina, além da nanotecnologia (BOETTCHER, 2015).

2.8.4 Indústria 4.0

Conforme Silveira (2017) o fundamento básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas podem criar redes inteligentes e assim controlar os módulos de produção de forma autônoma. O conceito da Indústria 4.0, para Zawadzki e Zywicki (2006) esclarecem que esse novo modelo de indústria é a combinação das conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de um futuro com sistemas de produção inteligentes e automatizados, no qual o mundo real é ligado a virtual.

2.9 PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

Inteligência artificial, robótica, nuvem e internet das coisas. Termos que há alguns anos não eram nada conhecidos, hoje já fazem parte do cotidiano de todos nós. São tecnologias que fazem parte de um conceito bem familiar no setor industrial: a Indústria 4.0.

Batizada também de 4ª Revolução Industrial, esse fenômeno está mudando, em grande escala, a automação e troca de dados, bem como as etapas de produção e os modelos de negócios, por meio do uso de máquinas e computadores. Inovação, eficiência e customização são as palavras-chave para definir o conceito de Indústria 4.0. A Indústria 4.0 tem impacto significativo na produtividade, pois aumenta a eficiência do uso de recursos e no desenvolvimento de produtos em larga escala, além de propiciar a integração do Brasil em cadeias globais de valor.

A incorporação da Robótica Avançada, dos Sistemas de Conexão Máquina-Máquina, da Internet das Coisas e dos Sensores e Atuadores utilizados nesses equipamentos possibilita que máquinas “conversem” ao longo das operações industriais. Isso pode permitir a geração de informações e a conexão das diversas etapas da cadeia de valor, do desenvolvimento de novos produtos, projetos, produção, até o pós-venda. São exemplos de tecnologias utilizadas na indústria 4.0:

- Inteligência artificial: aplicação de análise avançada e técnicas baseadas em lógica, incluindo aprendizado de máquina, para interpretar eventos, analisar tendências e comportamentos de sistemas, apoiar e automatizar decisões e realizar ações (MEIRING & MYBURGH, 2015);
- Computação em nuvem: é a distribuição de serviços de computação – servidores, armazenamento, bancos de dados, redes, software, análises, inteligência – pela Internet, com utilização de memória, capacidade de armazenamento e cálculo de computadores e servidores hospedados em Datacenter, proporcionando recursos flexíveis e economia

na escala. A computação em nuvem permite às empresas acessar recursos computacionais abundantes como um serviço e a partir de distintos dispositivos remotos. Desta forma evitam-se investimentos altos em equipamentos e equipe de suporte, permitindo a empresas focarem seus investimentos nas suas atividades principais (RIMAL, CHOI & LUMB, 2009; SAIYEDA, 2017);

- Big data: é uma abordagem para atuar em dados com maior variedade e complexidade, que chegam em volumes crescentes e com velocidade cada vez maior, usados para resolver problemas de negócios. Esses conjuntos de dados são tão volumosos que o software tradicional de processamento de dados não consegue gerenciá-los. São utilizadas técnicas estatísticas e de aprendizagem de máquina para extrair informações relevantes aos negócios, inferências e tendências não possíveis de se obter com uma análise humana (CHE, SAFRAN & PENG, 2013; TRNKA, 2014);
- Cyber segurança: é um conjunto Infraestruturas de hardware e software voltado para a proteção dos ativos de informação, por meio do tratamento de ameaças que põem em risco a informação que é processada, armazenada e transportada pelos sistemas de informação que estão interligados (LEZZI, LAZOI, & CORALLO, 2018; CORALLO, LAZOI & LEZZI, 2020);
- Internet das coisas: interconexão entre objetos por meio de infraestrutura habilitadora (eletrônica, software, sensores e/ou atuadores), com capacidade de computação distribuída e organizados em redes, que passam a se comunicar e interagir, podendo ser remotamente monitorados e/ou controlados, resultando em ganhos de eficiência (MIORANDI, 2012; ATZORI, IERA and MORABITO, 2010);
- Robótica avançada: dispositivos que agem em grande parte, ou parcialmente, de forma autônoma, que interagem fisicamente com as pessoas ou seu ambiente e que são capazes de modificar seu comportamento com base em dados de sensores (BEER, FISK & ROGERS, 2014; SIMOENS, DRAGONE & SAFFIOTTI, 2018);
- Manufatura digital: é o uso de um sistema integrado, baseado em computador, que consiste em simulação, visualização 3D, análises e ferramentas de colaboração para criar definições de processos de manufatura e produto simultaneamente (GUERRA-ZUBIAGA, 2021; АННА ОЛЕГОВНА; ПАКЛИНА, СОФИЯ НИКОЛАЕВНА; ПРОКОФЬЕВА, АЛИЯ СЕРГЕЕВНА. 2017; PERUZZINI et al., 2021);
- Manufatura aditiva: consiste na fabricação de peças a partir de um desenho digital (feito com um software de modelagem tridimensional), sobrepondo finas camadas de material,

uma a uma, por meio de uma Impressora 3D. Podem ser utilizados materiais como plástico, metal, ligas metálicas, cerâmica e areia, entre outros (SINGH, RAMAKRISHNA & SINGH, 2017; TOURI et al. 2019; JAVAID & HALEEM, 2019);

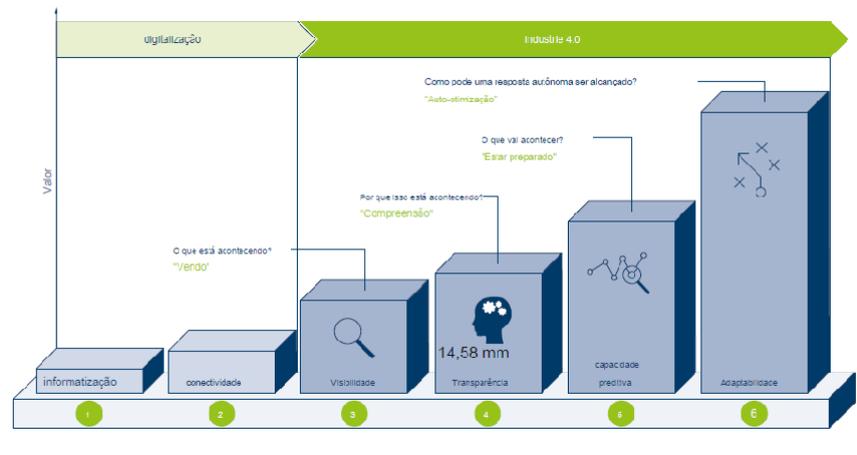
- Integração de sistemas: união de diferentes sistemas de computação e aplicações de software física ou funcionalmente, para atuar como um todo coordenado, possibilita a troca de informações entre os diferentes sistemas. Permite a empresas um olhar abrangente sobre o seu negócio. As informações em tempo real sobre o processo produtivo influenciam a tomada de decisões gerenciais mais rapidamente bem como decisões estratégicas sobre o negócio da empresa conseguem ser mais facilmente implantadas na planta de produção. Somente a instalação de pacotes ERP não se enquadram, mas a sua integração a sistemas de controle da produção industrial sim (GIACHETT, 2004; HEGERING, ABECK & NEUMAIR, 1999; CHALMETA & GRANGEL, 2001);
- Sistemas de simulação: utilização de computadores e conjunto de técnicas para gerar modelos digitais que descrevem ou exibem a interação complexa entre várias variáveis dentro de um sistema, imitando processos do mundo real (LAW, KELTON & KELTON, 2007; SCHLUSE, ROSSMANN, 2016);
- Digitalização: consiste no uso de tecnologias digitais para transformar processos de produção, de desenvolvimento de produtos e/ou modelos de negócios, visando a otimização e eficiência nos processos. A transformação digital abrange: projeto e implementação de plano de digitalização, sensoriamento, aquisição e tratamento de dados (BRAGA TADEU, et al., 2019; STOFFELS, 2017; URBACH *et al.*, 2019).

2.9.1 Índice de Maturidade 4.0 - Acatech Indústria

A abordagem do modelo é baseada em uma sucessão de estágios de maturidade, ou seja, níveis de desenvolvimento baseadas em valores que ajudam as empresas a navegar seu caminho através de todas as fases da transformação, desde os requisitos básicos para Indústria 4.0 para a plena implementação. Desde estado alvo desejado da empresa dependerá da sua estratégia de negócios, cabe a cada empresa decidir qual estágio de maturidade representa o melhor equilíbrio entre custos, recursos e benefícios para suas próprias circunstâncias individuais, tendo em conta a forma como estes requisitos mudam ao longo do tempo em resposta a mudanças no ambiente de negócios e estratégia da empresa. Para garantir que todos os aspectos de empresas de manufatura são tidos em conta, a estrutura do modelo é baseada na “Produção e Estrutura de

Gestão”. 4 quatro áreas estruturais do framework permitir uma análise abrangente e definiu uma série de princípios que permitem às empresas identificar quais Indústria 4.0 capacidades que eles ainda precisam desenvolver guia. O Índice de Maturidade da Indústria 4.0 oferece às empresas uma ferramenta valiosa que pode ajudá-los a transformar toda a sua organização como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fases do caminho de desenvolvimento Indústria 4.0.



FONTE: FIR E V. NA RWTH AACHEN UNIVERSITY – MANUAL ACATECH, (2017).

2.10 LEAN MANUFACTURING

O Lean, de um modo geral, serve para que se possa identificar e eliminar o desperdício que se encontra numa linha de produção. Ao eliminar o “lixo” existente na linha, consegue-se aumentar a qualidade e reduzir custos. Em termos práticos, eliminar “lixo” refere-se a eliminar operações desnecessárias, equipamentos, materiais, espaços e movimentos desnecessários. Fazendo a eliminação dos pontos anteriormente citados, as empresas conseguem concentrar os seus recursos no que realmente é importante e no que os clientes pedem.

Em relação aos custos, devido à forte competição que se sente a nível dos vendedores, os preços de produção têm que ser os reduzidos o mais possível para que assim se consiga ter um preço que o cliente esteja disposto a pagar. Relativamente à qualidade, esta é ganha tornando os problemas visíveis, incluindo onde e quando ocorreram e tomando as medidas necessárias para resolver este problema, para que assim se possa prevenir repetições futuras do mesmo. Assim, a qualidade torna-se uma constante melhoria de prevenção, onde todos os erros que não voltem ocorrer são analisados como ganho de custos (BLACK & HUNTER, 2003).

Perto do ano de 1950, o conceito ‘muda’ (diminuição de desperdício) tornou-se um dos maiores e mais importantes conceitos nas atividades de melhoria da filosofia Toyota. Ohno ao

regressar ao Japão, decidiu estabilizar os grupos de trabalho e logo em seguida encorajou-os a trabalhar juntos no melhor caminho possível para cumprir com os objetivos propostos. Em um passo seguinte, Ohno criou novas tarefas na equipe de trabalho, incluindo ferramentas de reparação, controle de qualidade e tarefas para manter os postos de trabalho organizados e limpos, tal como a ferramenta Lean denominada por “5S” (DAHLGAARD-PARK & DAHLGAARD, 1999). O sistema “5s” tem por base a organização geral do posto de trabalho. Os 5s, de nome original Shitsuke, Serei, Seiton, Seiso e Seiketsu, referem-se a cinco importantes pontos que devem funcionar para manter um lugar organizado. Deve-se eliminar, separando o que é necessário do que não é, retirando tudo o que seja inútil. Em seguida deve-se ordenar cada “coisa” em seu lugar, limpar a área, encontrar pontos problemáticos, e ainda encontrar soluções para os manter limpos. Após os três pontos anteriormente referidos, é necessário normalizar, criando regras de limpeza e arrumação. Por fim, deve-se respeitar as regras definidas para que tudo funcione corretamente.

Outra ferramenta inventada para reduzir os desperdícios foi o Just-in-Time (JIT), que tem como ferramenta de controle associado o Kanban. Neste sistema usa-se uma carta (Kanban em japonês) como uma ferramenta de informação de diferentes linhas de produção (DAHLGAARD-PARK & DAHLGAARD, 1999). O sistema JIT surge de um problema recorrente que é o facto de os clientes querem sempre o melhor tipo de produtos aos menores preços possíveis, e ainda com a maior brevidade. O sistema de produção prevê cumprir todos os pedidos do cliente de uma forma produtiva e eficiente, mantendo uma forte ligação entre as atividades de produção e as vendas de mercado. O JIT indica que um dado processo produz uns itens para a próxima etapa, que só retirará em caso de necessidade. Ou seja, cada posto retira os itens que necessita e o posto anterior volta a produzir para repor os itens que foram retirados. Sendo assim, cada posto só produz para repor produtos que estejam em falta. O trabalho em processo (WIP) é especificado consoante o que for necessário. Em resumo, só se produz o que é preciso e na quantidade que é preciso. Este sistema tem várias vantagens: elimina desperdícios que ocorrem quando existe alguma mudança nas especificações fazendo com que tudo o que se encontrará em stock se torne inútil; esvazia o espaço de armazenamento com os custos associados ao stock de produtos que não são pedidos no momento pelos clientes; auxilia a procura de um defeito encontrado na linha de produção, para que se possa garantir que mais produtos não têm o mesmo defeito e, para isso, terá que se visualizar todo o stock existente, e num sistema JIT a triagem torna-se bastante mais facilitada (BLACK & HUNTER, 2003).

Assim, pode-se dizer que uma base para o JIT é um sistema balanceado, onde a ideia de se poder produzir o mais rápido possível o produto para o cliente se torna um fator bastante

favorável. Segundo Stevenson (2011) existem pontos importantes que se deve ter em atenção para haver um bom sistema JIT:

- **Eliminação de interrupções:** os diferentes tipos de interrupções que uma linha de produção pode ter, nomeadamente a variabilidade em questões de qualidade, problemas com equipamentos que se danificam, horários que mudam, são aspetos que devem ser eliminados ao máximo possível. Isto fará com que a linha de produção se torne melhor e funcione de uma maneira mais suavizada;
- **Tornar o sistema mais flexível:** a flexibilidade do sistema é transmitida pela capacidade de a linha de produção conseguir trabalhar com várias referências de produtos, sendo que para qualquer situação a linha se encontra de uma forma balanceada e com a mesma rapidez;
- **Eliminação de desperdícios:** o Lean Manufacturing está relacionado com a eliminação de desperdícios. Como tal, Ohno (1988) criou uma lista com os desperdícios, ou seja, todas as atividades que num sistema não acrescentam valor. Esta lista ficou denominada como os sete desperdícios (OHNO, 1988);
- **Defeitos:** um produto possui defeitos quando não cumpre com os requisitos de qualidade. Estes devem ser prevenidos através de sistemas como o Poka-Yoke e trabalho standard;
- **Tempos de espera:** períodos em que não existe aproveitamento dos recursos disponíveis. Os tempos de setup, assim como avarias de equipamentos são exemplos deste tipo de desperdício, que dão origem a fluxos inconstantes;
- **Sobreprodução:** produção excessiva, que provém de economias de escala ou de um mau planeamento da produção;
- **Produção desnecessária:** criação de um determinado produto a mais do que é pedido pelo cliente;
- **Movimentos inúteis:** movimentos provocados pela má ergonomia do local do trabalho, como a desorganização e a desarrumação do local, resultando em perdas de tempo;
- **Transporte:** relacionado com movimentos de pessoas, materiais ou equipamento que não acrescentam valor para o sistema;
- **Stocks:** produtos e/ou matérias-primas armazenados em excesso resultando em perdas de espaço e por vezes numa maliciosa organização.

2.11 SIMULAÇÃO DE PROCESSOS

A simulação de processos produtivos é a representação virtual de um determinado processo por meio um modelo computacional matemático. Podemos dizer que é uma cópia fiel e dinâmica de um sistema, implementada em um ambiente livre de riscos, no qual diferentes experimentos podem ser realizados para proporcionar a análise do processo de produção (ZHU *et al.*, 2014). O resultado é um planejamento assertivo capaz de evitar o desperdício de recursos em uma indústria.

A simulação de processos produtivos é uma ferramenta capaz de lidar com a aleatoriedade dos sistemas produtivos de maneira eficaz. Adicionando criatividade ao processo de resolução de problemas e prevendo resultados, ela possibilita aos gestores tomar decisões com base em resultados confiáveis, antes mesmo de implementá-los na prática. É extremamente útil, uma vez que as alternativas de ação podem ser prontamente testadas, determinando os efeitos das mudanças no desempenho do sistema (CARNEIRO; PINTO, 2010).

Seu funcionamento se dá por meio de um *software* que reproduz digitalmente os processos de manufatura de plantas industriais. Por meio de tecnologias, como a realidade virtual, a ferramenta permite projetar, configurar, validar e simular o desempenho da produção, antes de ser colocado em prática em uma fábrica real. Qualquer equipamento pode ser reproduzido. A diferença é que os impactos causados por quaisquer mudanças na produção simulada não serão sentidos na operação real.

Por meio dos dados coletados na simulação, os processos são ajustados para a máxima eficiência. Assim, elimina-se a necessidade de uma dinâmica de tentativas e erros no processo físico, melhorando a eficiência com o menor custo possível. Em outras palavras, simular processos produtivos permite avaliar o impacto das mudanças no sistema real, colaborando com a tomada de decisões e acarretando uma série de benefícios para as organizações.

2.11.1 Modelos de simulação

As operações podem ser analisadas por meio de experimentos reais ou representados por modelos para atender algum interesse particular. Modelos de simulação possuem natureza dinâmica (mudanças de estado no tempo), aleatória (usam variáveis aleatórias) e são formados por entidades que se interagem de forma lógica para algum fim. São particularmente usados para responder perguntas do tipo: "o que ocorre se..." e podem ser classificados em três dimensões Law (2007):

- **Estáticos vs. dinâmicos:** Modelos estáticos são usados para representar sistemas em que o tempo não desempenha nenhum papel. Modelos de Monte Carlo, usados para avaliar funções matemáticas, modelos financeiros ou elaboração de cenários, são exemplos de modelos estáticos. Por outro lado, modelos dinâmicos representam sistemas que evoluem no tempo, como um sistema de uma fábrica.
- **Determinísticos vs. estocásticos:** Modelos determinísticos não possuem componentes aleatórios. Exemplos de modelos determinísticos incluem um sistema de equações diferenciais que descrevem uma reação química, ou modelos de programação linear inteira-mista. O resultado destes modelos também não possui componentes aleatórios. A presença de elementos aleatórios gera a necessidade de elaborar modelos estocásticos. A maioria dos sistemas de filas são modelados estocásticos.
- **Contínuos vs. discretos:** Em modelos contínuos, os valores das variáveis se alteram de forma gradativa no tempo e são geralmente representados por equações diferenciais, como por exemplo, no crescimento de uma planta, no enchimento de um pneu de carro ou na variação do nível de um tanque de combustível. Eventos discretos, por outro lado, evoluem à medida em que os estados do sistema são alterados e facilmente identificados, como uma parada de trens em estações ou a montagem da base de uma cadeira. A simulação por eventos discretos é o nosso objeto de estudo.

Embora seja uma das ferramentas mais utilizadas no mundo da pesquisa operacional, é preciso destacar o que não é simulação Chwif & Medina (2006): simulação não é uma bola de cristal (não prevê o futuro), não é um modelo matemático (expressão analítica fechada), não é otimização (ferramenta descritiva), não substitui o pensamento inteligente (no processo de tomada de decisão), não é a técnica de último recurso (quando outras técnicas falham) e não é uma panaceia (só a problemas bem específicos). Uma vez que o problema definido pode ser modelado por simulação, destaca-se suas vantagens, desvantagens e riscos Banks & Carson (1984) Law (2007):

2.11.2 Vantagens

- A maioria dos sistemas reais não pode ser avaliado analiticamente com acurácia. Simulação é a única forma possível.
- Permite estimar o desempenho de um sistema sob condições de operação projetadas.
- Permite a comparação de projetos de sistemas operacionais.

- Permite o controle das condições de experimentos (redução de variância), que seria possível apenas por experimentação.
- Permite a compressão do tempo de operações longas, ou até a expansão do tempo.

2.11.3 Desvantagens

- Simulação estocástica produz estimativas, e dependem de diversas rodadas. Se as características de um problema podem ser estimadas por parâmetros exatos, a otimização é preferível.
- Softwares podem ser caros e o desenvolvimento do modelo é demorado.
- Animações realísticas podem impressionar, mas corre-se o risco de o modelo não ser válido (Erro Tipo Zero).

2.11.4 Riscos

- Não definir os objetivos no início do estudo de simulação.
- Envolver todos do projeto desde o início.
- Nível inadequado de detalhes.
- Falha de comunicação com a gerência no decorrer do estudo.
- Equipe de gestão não entender a simulação.
- Tratar simulação como programação.
- Não ter equipe com conhecimento na metodologia de simulação.
- Não coletar bons dados.
- Usar software de simulação inadequado.
- Usar software de simulação mal documentado.
- Acreditar que bom software de simulação requer pouca competência técnica.
- Mal uso da animação.
- Usar distribuições arbitrárias.
- Analisar resultados de uma replicação apenas e tratar o resultado como "resposta".
- Não considerar tempo de *warm-up*.
- Usar medidas de desempenho erradas.

2.12 FLEXSIM

O *FlexSim* é um pacote de *software* de simulação de eventos discretos desenvolvido pela *FlexSim Software Products, Inc.* A equipe técnica da *FlexSim Software Products* se destaca cada vez mais no mercado devido ao desenvolvimento de *software* de simulação por 20 anos. O objetivo da empresa é a criação do melhor *software* de simulação e as ferramentas mais poderosas e amigáveis no mundo. No *FlexSim* é possível realizar análise de simulação de eventos discretos (DES), simulação contínua e por ter sua estrutura aberta e desenvolvido com programação orientada a objeto, pode-se facilmente incorporar simulação baseado em agentes (ABS) (FLEXSIM BRASIL, 2017).

Empresas e Universidades de ponta já estão adotando o *FlexSim* como suas soluções para simulação de processos e para laboratórios de engenharia de produção. Dentre as Universidades, UNICAMP, ITA, UNIFEI (campus Itajubá-MG), UFRN, UFC, USP, UFF, FACAMP, UFSCAR, UEM, UNISINOS, UDESC, FAI-MG, IFRN, UFOB, FAINOR, IFMG, UFSM (Engenharia de Produção e Administração), PUC-GOIÁS, UNIT, UEPA, UNIVALI, UNESC, CEFET-MG, MAXPLANCK, UNINOVE, UNIFEI-Itabira/MG, UFPR (campus Jandaia do Sul-PR), PUC-MG, UFSJ, PUC-SC já são todos usuários do *FlexSim* em seus laboratórios.

Dentre as empresas, temos a Tetrapack, AB-Inbev (Ambev) e John&Deere clientes globais que usam o simulador ao redor do mundo em suas instalações. DHL, FIAT, Coca-Cola, SENAI-PR, SENAI-SC, VALE, BMS-LOGÍSTICA, GOODYEAR, INVENSYS, FALCARE, POYRY, USINA GUARANI, NESTLE, JOHN DEERE, NOVARTIS, UNILEVER e, recentemente a Embraco (Whirlpool) e a VALE são algumas das empresas que estão usando o *FlexSim*.

2.13 LINHAS DE PRODUÇÃO

Uma linha de produção é definida como sendo um conjunto produtivo formado por vários postos (ou estações) de trabalho, onde de uma forma fluida existe um sistema de movimentação. Por norma, as tarefas são divididas por todos os postos de trabalho num formato temporal igual, onde o produto de uma forma consecutiva vai sendo transportado de posto a posto sofrendo alterações até alcançar o último posto, que se pode intitular por produto final da linha de produção (BECKER & SCHOLL, 2006).

Uma linha de produção necessita ter um bom funcionamento, e como tal, existem diferentes pontos importantes para se discutir, nomeadamente: ter em atenção o número de

operadores, pois este deve estar em concordância com a procura, para que não haja falta de produção, mas também não haja sobreprodução; a arrumação e limpeza dos postos de trabalho, assim como as ferramentas utilizadas pelos operadores devem ser de rápido e fácil acesso; o encurtamento das distâncias entre os operadores, assim como executar as tarefas em pé, pois permitirá transportar as peças para o posto seguinte com maior facilidade, obtendo menores perdas em termos temporais (SUZAKI, 2010).

No passado, as linhas de produção produziam uma baixa variedade de produtos em grandes volumes, o que permitia custos de produção baixos, ciclos de tempo reduzidos e ainda com elevados níveis de qualidade. Contudo, ao longo dos tempos a tendência foi mudando (Simaria *et al.*, 2010), e atualmente, as linhas de produção produzem um variado tipo de produtos, o que permite inclusive distinguir diferentes tipos de linhas de produção. Os grandes grupos podem ser denominados por *single-model line* (linha uni-modelo), *multi-model line* (linha multi-modelo) ou *mixed-model line* (linha mista).

A primeira classificação mencionada refere-se às linhas de produção que produzem produtos idênticos, não havendo diferenças entre si. A linha multi-modelo é uma linha de produção que apresenta diferenças significativas no processo, sendo o objetivo central destas linhas tentar produzir a maior quantidade de um mesmo modelo para minimizar os tempos de setup (BECKER & SCHOLL, 2006). Entende-se por tempos de setup o período em que a produção se encontra interrompida para que os equipamentos possam ser ajustados aos novos produtos.

A *mixed-model line* refere-se às linhas de produção que, apesar de produzirem diferentes tipos de produto, têm uma similaridade nos processos, sendo que não existem tempos de setup significativos ao ajuste do processo (BECKER & SCHOLL, 2006). Segundo Sarker e Pan (1998), numa linha de produção existem várias questões que devem ser tratadas devido à sua importância, tais como:

- Definir o tempo de ciclo;
- Determinar o número de postos de trabalho;
- Balancear a linha de produção;
- Determinar a ordem de produção dos diferentes modelos (caso existam).

O tempo de ciclo de um posto de trabalho é o período entre a produção de duas peças, sendo que em cada um destes períodos o operador realiza uma operação, de cada um dos elementos, que lhe compete e de uma forma sequencial.

O número de postos de trabalho é dado pelo quociente da soma de todas as operações individuais pelo Takt Time, e é expressado pela equação (1). O resultado desta expressão indica o número mínimo de postos de trabalho que é necessário para cumprir com a procura do mercado (Sarker & Pan, 1998), por outras palavras, o número mínimo de operadores necessários para que se produza dentro do Takt Time.

$$\text{Número de postos de trabalho} = \frac{\text{Soma dos tempos das tarefas individuais}}{\text{Takt time}} \quad (1)$$

Sarker e Pan (1998) defendem que outro indicador importante de uma linha de produção é a capacidade máxima de produção, que mostra o número máximo de peças que a linha pode produzir. Para se determinar a capacidade de produção, é necessário identificar o gargalo da linha de produção. Entende-se por gargalo o posto que limita a capacidade ou o desempenho de um sistema. Por fim, pode-se então calcular a capacidade pela fórmula (2) (SARKER & PAN, 1998).

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{\text{Tempo disponível no período } p}{\text{Tempo dos postos mais sobrecarregados}} \quad (2)$$

2.14 BALANCEAMENTO DE LINHAS DE PRODUÇÃO

Procurar balancear os diferentes postos que compõem uma linha de produção, ajustando-a à demanda, nem sempre é uma tarefa simples, especialmente quando o processo trabalha para atender diferentes produtos e variadas demandas. Os administradores de produção frequentemente debruçam-se sobre cálculos visando encontrar a quantidade de postos de trabalho que proporciona um fluxo constante ao processo, reduzindo ao máximo as ociosidades de equipamentos e pessoas. Ao final, quando a racionalização é conseguida e as perdas evitadas, a produtividade alcança os patamares almejados, resultando em menores custos.

Quando as ações se voltam para a redução dos desperdícios e otimização dos recursos, as organizações ganham poder competitivo, desejo e busca de todas elas. Só assim podem adquirir maior participação no mercado e garantir os ganhos que possibilitarão novos investimentos. É com o propósito de otimizar recursos que o balanceamento se apoia e com tal foco será aqui estudado.

Balancear uma linha de produção é ajustá-la às necessidades da demanda, maximizando a utilização dos seus postos ou estações, buscando unificar o tempo unitário de execução do produto. Uma linha de produção é formada por uma sequência de postos de trabalho, compondo estações, dependentes entre si, cada qual com função bem definida e voltada à fabricação ou montagem de um produto. Os postos são as etapas que vão permitir a construção do item a ser fabricado. Numa indústria de sapato, por exemplo, costurar o tecido (couro) é um posto de trabalho e juntar o couro ao solado é outro. Se a costura do couro anda mais rápido que a junção do couro ao solado, ou seja, gasta menos tempo unitário, pode-se compor uma estação de trabalho formada por vários postos do solado, visando equilibrar o sistema e fazer as duas estações terem tempos iguais ou aproximadamente iguais.

Nas etapas de fabricação do produto, cada posto ou estação de trabalho gasta determinado tempo para executar a tarefa que lhe cabe. Se o tempo que cada uma das estações gasta para fazer um produto é o mesmo, o balanceamento não tem problema. Ele já acontece e produzir mais ou menos depende somente da cadência ou velocidade imposta ao sistema. Se os tempos são diferentes, estudo adicional se faz necessário.

2.14.1 Etapas do balanceamento

A linha é composta por uma série de fases que se complementam. Os postos de trabalho são organizados numa sequência lógica, seguindo um fluxo. Mas antes de entrar na análise efetiva das fases, alguns comentários devem ser destacados:

Na linha, o produto leva algum tempo para passar por todas as etapas. Se a produção do sistema, por exemplo, é de 60 unidades por hora, a cada minuto sai um produto. Esse tempo é chamado de tempo de ciclo. É determinado pela divisão do tempo de trabalho do posto pela quantidade de produtos que ele libera ou fabrica no mesmo tempo. Na situação exposta, o tempo gasto é uma hora (60 minutos) e nesse intervalo saem 60 produtos. A divisão resulta em um produto por minuto. Assim, o tempo de ciclo (T_c) pode ser calculado por (3):

$$T_c = \frac{\text{Número total de produtos produzidos}}{\text{Tempo total necessário para produzir os produtos}} \quad (3)$$

Davis (2001) descreve as etapas necessárias para balancear uma linha da seguinte forma:

1. Especificar a relação sequencial entre as tarefas, utilizando um diagrama de precedência;
2. Determinar o tempo de ciclo necessário;
3. Determinar o número mínimo teórico de estações de trabalho;
4. Selecionar uma regra básica na qual as tarefas têm de ser alocadas às estações de trabalho e uma regra secundária para desempatar;
5. Delegar tarefas, uma de cada vez, à primeira estação, até que a soma dos tempos seja igual ao tempo de ciclo. Repetir o processo nas estações seguintes;
6. Avaliar a eficiência da linha.

2.15 ANÁLISE DE TEMPOS E MÉTODOS

A análise de tempos e métodos, também conhecida como Cronoanálise, é uma ferramenta avançada de qualidade que consiste no estudo de tempos e movimentos em uma linha de produção ou atividade logística, com o objetivo de otimizar processos e eliminar desperdícios na produção (BARNES, 2009).

Desta forma, é feita a cronometragem de cada processo produtivo, de maneira a documentar os dados e fazer um estudo de otimização em cima do fluxograma de produção. Assim sendo, a Cronoanálise pode ser aplicada em qualquer etapa do trabalho, obtendo resultados confiáveis sobre a velocidade das tarefas e movimentos realizados, se tornando possível determinar a capacidade produtiva de qualquer setor ou unidade, além de comparar desempenhos e gerar informações essenciais à tomada de decisão da gestão.

Com o método, é possível descobrir qual a forma mais rápida e eficiente de executar determinada tarefa, levando em conta todas as variáveis de tempo e movimento. Assim, os níveis de produtividade são impulsionados por processos mais rápidos, executados no tempo médio correto e com o mínimo esforço necessário para manter o padrão de qualidade desejado.

Além disso, um dos pontos mais importantes sobre a Cronoanálise é a priorização da qualidade, uma vez que não basta executar tarefas com rapidez e precisão, mas também é preciso manter as características padronizadas do produto para satisfazer as expectativas dos clientes (BARNES, 2009). Portanto, ao aplicar a análise de tempos e métodos, é possível gerar processos mais ágeis e, ao mesmo tempo, ganhar uma qualidade superior no produto final, o que certamente eliminará os desperdícios e terá um impacto positivo nas vendas.

Esta metodologia é aplicada quando não existe o conhecimento concreto dos tempos e movimentos de produção ou de determinado processo. Desta forma, é viável a implementação

desta análise para identificar o lead time real de cada ação, o que consiste como o tempo entre o momento do pedido do cliente e a entrega deste pedido.

Desta forma, é possível diagnosticar a necessidade da análise de tempos e métodos quando é preciso ter conhecimento dos custos e fluxo de produção e quando há desbalanceamentos no fluxograma, como funcionários ociosos e/ou sobrecarga em determinadas etapas.

2.16 TRATAMENTO DE DADOS

A recolha dos dados é a primeira etapa do estudo empírico. Igualmente importante, foi a definição prévia da Metodologia e do desenho de pesquisa. Numa fase posterior, o tratamento e análise dos dados permite codificar, categorizar e agrupar os dados numa base de dados com sentido e adequada aos objetivos e às hipóteses da investigação. A escolha do método (quantitativo ou qualitativo) para o tratamento e a análise dos dados é fundamental para qualquer tipo de investigação. É importante garantir que o método escolhido é o mais adequado ao tipo de dados, à natureza das variáveis, aos objetivos e às hipóteses da pesquisa.

2.16.1 Análise de dados quantitativos

A Análise de Dados Quantitativos assenta em técnicas e procedimentos estatísticos que permitem o tratamento e análise de um grande número de variáveis e de observações. Esta abordagem de análise assenta na necessidade de fazer uma análise focalizada na procura de padrões de relação entre variáveis: relações de associação, relações de causalidade entre uma variável dependente e (diversas) variáveis independentes, estudos de proporção e comparação de populações.

A Análise de Dados Quantitativos permite também obter medidas, indicadores e parâmetros estatísticos capazes de descrever comportamentos, apontar tendências futuras e fazer inferências para a população alvo a partir da amostra.

O Tratamento e a Análise de Dados Quantitativos assenta, em termos epistemológicos, numa posição positivista e desenvolve uma metodologia assente em ferramentas quantitativas que pretendem a validação de hipóteses previamente definidas e que decorrem de uma teoria de suporte.

2.16.2 Análise de dados qualitativos

A Análise de Dados Qualitativos assenta na aplicação das técnicas que permitam uma percepção mais completa e profunda de uma realidade mais restrita. Através do Nvivo e MAXQDA é possível proceder à análise de categorias e unidades de informação provenientes de entrevistas ou da observação participante (enquanto técnicas de recolha de dados qualitativos) e, deste modo, reunir os seguintes indicadores de análise:

- Criação de Unidades de Sentido;
- Criação de Nós e Categorias;
- Matriz e Estrutura de Análise;
- Triangulação de Dados.

O paradigma de investigação qualitativa não incide sobre um universo tão vasto como na abordagem quantitativa, mas pretende antes obter o máximo de informação sobre os valores, crenças e o processo do facto social em estudo, de forma a dotar o investigador de uma visão conhecimento do mundo específicos, por meio do estudo e análise dos seus atores.

O Tratamento e a Análise de Dados Qualitativos está, portanto, associado a uma postura interpretativa que procura, através de uma coleção massiva de dados, encontrar ligações entre categorias e conceitos de maneira a construir pressupostos teóricos suficientemente válidos que permitam a sua generalização.

CAPÍTULO 3

3 MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

O tipo de pesquisa utilizado para este projeto é o estudo de caso com ênfase quantitativa que consiste, geralmente, em uma forma de aprofundar uma unidade individual. Ele serve para responder questionamentos que o pesquisador não tem muito controle sobre o fenômeno estudado. Este método é útil quando o fenômeno a ser estudado é amplo e complexo e não pode ser estudado fora do contexto onde ocorre naturalmente.

A tendência do Estudo de Caso é tentar esclarecer decisões a serem tomadas. Ele investiga um fenômeno contemporâneo partindo do seu contexto real, utilizando de múltiplas fontes de evidências. É preciso que tenha diferentes visões teóricas acerca do assunto estudado, pois serão a base para orientar as discussões sobre determinado fenômeno constituem a orientação para discussões sobre a aceitação ou não das alternativas encontradas. Para isso é preciso possuir uma amostra de várias evidências.

É uma investigação que trata sobre uma situação específica, procurando encontrar as características e o que há de essencial nela. Esse estudo pode ajudar na busca de novas teorias e questões que sirvam como base para futuras investigações.

3.2 COLETA DE DADOS

Serão utilizadas como técnicas para a coleta de dados o estudo de caso exploratório, com o intuito de ir a fundo no processo produtivo a ser analisado e a análise de tempos e métodos de maneira que seja possível ser verificada se existem divergências dos dados reais com os dados documentados.

1. As documentações, os fluxogramas de processo e os gráficos de balanceamento operacionais fornecidos pela empresa que será o ambiente deste estudo serão analisados;
2. Por meio de vídeos e observações in loco serão coletados os tempos de processamento de cada posto de trabalho e de máquinas utilizadas no processo;
3. Serão realizadas visitas ao processo produtivo durante um período de 15 dias para analisar o comportamento dos operadores e sua eficiência em momentos diferentes do dia;
4. Os dados coletados todos serão verificados e tratados de modo que não existam a presença de dados que deixem a análise do estudo tendenciosa.

3.3 REALIZAÇÃO DE BALANCEAMENTO DE ATIVIDADES

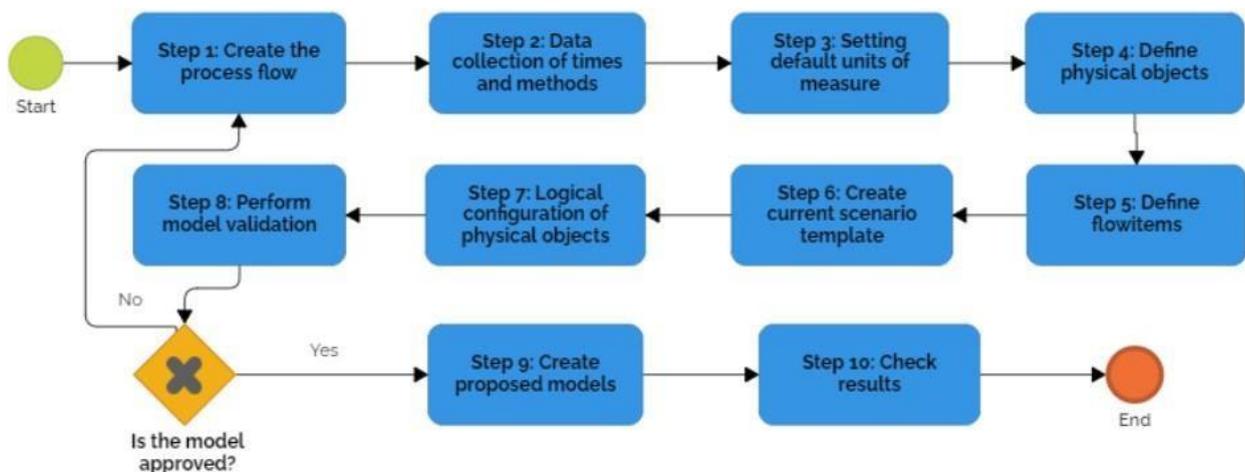
Após a coleta de dados serão realizados os balanceamentos das atividades de modo que fiquem nítidos os gargalos e permita a criação de novos gráficos de balanceamento de operações, um para o cenário atual e três novos para os cenários propostos pelo estudo. Serão criados 4 quadros, um para cada cenário, contemplando as medições de tempos dos postos e identificando os gargalos e suas limitações

3.4 USO DO FLEXSIM PARA A SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROPOSTOS

Após o tratamento dos dados vai ser realizada uma simulação para cenário real para que sirva de validação aos dados obtidos e em seguida uma simulação para cada cenário proposto, permitindo que haja o levantamento de resultados importantes como os valores de capacidade produtiva e os de produtividade. Com isso será possível definir qual dos cenários propostos será o ideal para aplicação no processo.

O processo de criação de cenários de simulação *FlexSim* possui uma série de etapas e para este estudo foram utilizadas 10 etapas de acordo com a Figura 3.

FIGURA 3 – Fluxo Simulação



As etapas de criação da simulação possuem as seguintes descrições:

- **Step 1:** nesta etapa é realizado um mapeamento do fluxo do processo e de suas atividades o mesmo servirá de base para desenho do layout da simulação;
- **Step 2:** nesta etapa para cada posto de trabalho e máquina é realizado o estudo de tempos e métodos o que auxiliará futuramente na criação da lógica de cada objeto físico presente na simulação;

- **Step 3:** inicializando o *software* é necessário configurar as unidades de medida padrão para tempo, distância e volume. Para este estudo foram definidos tempo em segundos(s), distância em metros(m) e volume em litros(l);

- **Step 4:** definir os objetos físicos da simulação. Os objetos físicos representam as entradas de insumos (*Source*), as atividades presentes (*Processor*), as filas (*Queue*) e as saídas (*Sink*);

- **Step 5:** definir os objetos fluídos da simulação. Representam o produto que passa por todos os objetos físicos que no caso será o produto;

- **Step 6:** criar o modelo do cenário atual de estudo. Nesta etapa são interligados os objetos físicos e associado a eles os objetos fluídos;

- **Step 7:** configurar a lógica dos objetos físicos. Nesta etapa são configurados os parâmetros lógicos de cada objeto físico, como os tempos de operação, as distribuições probabilísticas que mais se adequam a ele, as restrições de entrada ou saída;

- **Step 8:** validação do modelo proposto. Nesta etapa é realizada a simulação de um dia de trabalho para o modelo e em seguida é verificado se os dados referentes a simulação refletem os dados reais. Se a simulação tiver a validação aprovada, passamos para a próxima etapa, caso contrário voltamos para a primeira etapa;

- **Step 9:** criação de modelos propostos. Baseado nos resultados da simulação do cenário atual são criados novos modelos com a implementação de melhorias no processo;

- **Step 10:** verificação dos resultados. São verificados os resultados de cada novo modelo criado e com base neles serão justificadas as escolhas de melhorias a serem implementadas.

CAPÍTULO 4

4 APLICAÇÃO DO ESTUDO DE CASO PRELIMINAR

4.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PRELIMINAR

4.1.1 Perfil da Empresa

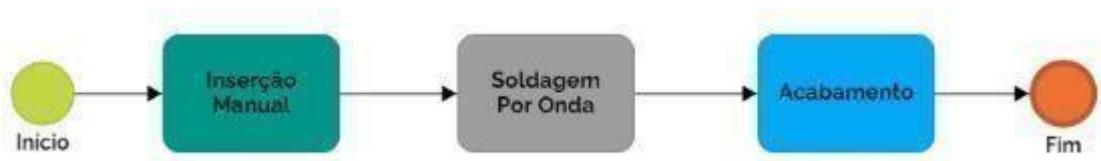
A empresa escolhida para este projeto é uma empresa brasileira que há mais de 32 anos fornece soluções tecnológicas no Brasil, países da América Latina, Estados Unidos e África. Seu portfólio conta com produtos e serviços para TV, Internet, Casa Conectada e Energia Solar que, juntos, oferecem uma experiência completa de vida conectada e sustentável, além de soluções empresariais em segurança profissional, infraestrutura para provedores e manufatura.

A empresa possui a matriz em Valinhos (SP) onde estão a equipe administrativa, o e-commerce, a engenharia, o *call-center* e assistência técnica próprios. A fábrica está em Manaus (AM), em uma área de 10.000m² alocada na Zona Franca com nossas equipes da linha de produção e armazenamento. Para facilitar as pesquisas e viabilizar negócios com parceiros internacionais, possui uma unidade em Shenzhen na China.

4.1.2 Processo de Produção do CR BETA

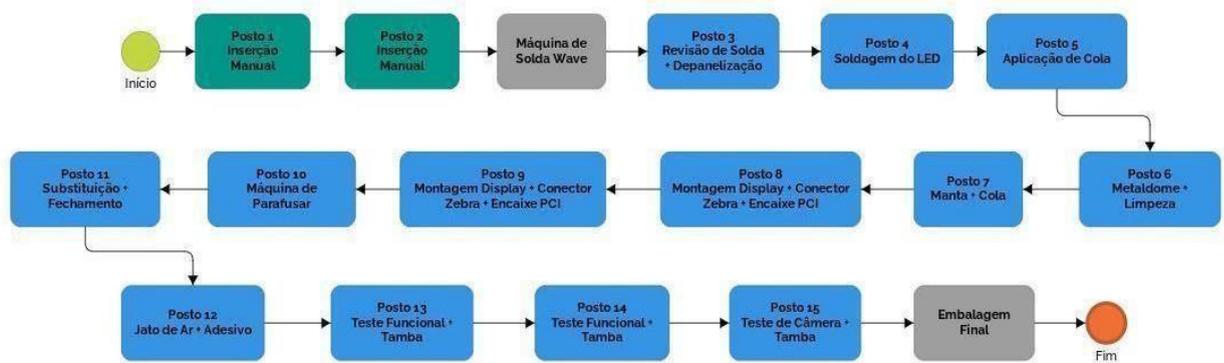
O processo de produção do CR BETA possui três etapas principais: Inserção Manual, Soldagem Por Onda e Acabamento (Figura 4). O foco do estudo será em remodelar o processo para que não exista mais as etapas de Inserção Manual e Soldagem Por Onda.

Figura 4 – Fluxograma de processo.



Ao todo o processo possui dezessete postos de trabalho (Figura 5) e a meta diária de produtos acabados é de 2000 unidades.

Figura 5 – Fluxograma do processo atual.



4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUTO E PROCESSO

4.2.1 Descrição do Produto

O produto escolhido é um controle remoto para ar-condicionado e por questões de sigilo solicitadas pela empresa vamos chamar o mesmo de “CR BETA” (Figura 6). Informações pertinentes às suas configurações, características e funcionalidade também serão mantidas em sigilo.

Figura 6 – Imagem CR BETA



4.2.2 Descrição de Etapas do Processo

4.2.2.1 Descrição de Etapas do Processo - Inserção Manual

Etapa de processo em que operadores encaixam de modo manual componentes do tipo PTH nas placas. Nesta etapa são utilizados 2 postos de montagem:

- **Posto 1:** nesta atividade são inseridas manualmente dois componentes na PCI (Placa de circuito impresso) os componentes são um termistor e um cristal;
- **Posto 2:** nesta atividade são inseridas manualmente dois componentes na PCI (Placa de circuito impresso) os componentes são uma mola para polaridade positiva e uma mola para polaridade negativa;

4.2.2.2 Máquina de Soldagem por Onda

Etapa de processo em que as placas passam por uma máquina de solda e os componentes são soldados nas placas por meio de ondas de solda. Nesta etapa um operador fica responsável pelo uso da máquina.

4.2.2.3 Acabamento

Etapa de processo onde são realizadas atividades pra finalização do produto, são elas: montagem do gabinete, testes e embalagem. Nesta etapa são utilizados 13 postos de montagem:

- **Posto 3:** nesta atividade a solda das placas são revisadas, corrigidas manualmente caso seja necessário e as placas são separadas pois são soldadas na máquina de solda em conjuntos de sete placas;
- **Posto 4:** nesta etapa por PCI são inseridos e soldados manualmente um LED;
- **Posto 5:** nesta etapa é aplicado cola nos terminais do termistor e do cristal com o auxílio de uma pistola;
- **Posto 6:** nesta etapa é aplicado o metaldome na PCI. O metaldome é um adesivo metálico que serve para fazer contato entre as teclas do controle e a PCI;
- **Posto 7:** nesta etapa é aplicado uma manta de consistência emborrachada nas laterais da PCI;
- **Posto 8:** nesta etapa são conectados o display e o conector zebra na PCI;
- **Posto 9:** nesta etapa são conectados o display e o conector zebra na PCI;
- **Posto 10:** nesta etapa a PCI é parafusada no gabinete inferior do controle;

- **Posto 11:** nesta etapa o gabinete superior e o teclado são encaixados no gabinete inferior;
- **Posto 12:** nesta etapa o display é limpo com um jato de ar ionizado e é aplicada uma película no display;
- **Posto 13:** nesta etapa é realizado do teste elétrico funcional do controle por meio de um Jig de testes, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente no gabinete do controle é lida e o status é catalogado no Tamba(Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção);
- **Posto 14:** nesta etapa é realizado do teste elétrico funcional do controle por meio de um Jig de testes, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente no gabinete do controle é lida e o status é catalogado no Tamba (Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção);
- **Posto 15:** nesta etapa é realizado um teste no qual uma câmera captura as imagens do display e verifica se todos os segmentos estão funcionando corretamente, caso esteja aprovado ou reprovado a etiqueta presente no gabinete do controle é lida e o status é catalogado no Tamba (Sistema desenvolvido pela empresa para fazer o controle de indicadores de produção).

4.2.3 Defeitos

- **Não acionamento do controle remoto:** correspondente a 5% dos defeitos, tem como causa o encaixe de componentes com a polaridade invertida;
- **Falha na utilização das teclas:** correspondente a 80% dos defeitos, tem como causa o acúmulo de fluxo NC 215 sobre as placas durante o processo de soldagem;
- **Gabinete aberto:** correspondente a 15% dos problemas, tem como causa a matéria prima não conforme vinda de fornecedor.

4.2.4 Coleta de Dados

- Dados referentes a tempo de processamento de máquinas foram adquiridos por meio de entrevista com o técnico responsável pela programação das máquinas de solda wave e das máquinas robôs de soldagem;
- Dados referentes a tempos e métodos a princípio foram coletados por meio das documentações de processo. Entretanto posteriormente foi detectado que as documentações eram tendenciosas pois consideravam o operador realizando suas

atividades com 100% de eficiência. Sendo assim foi realizado uma nova coleta de dados com base na observação dos operadores realizando suas atividades no decorrer do dia.

4.3 ANÁLISES DE MÁQUINAS

4.3.1 Máquina de Solda Wave

Para que o processo tenha a capacidade produtiva esperada de 1800 unidades por dia é necessária a utilização de uma máquina de soldagem por onda, conhecida como Máquina Wave MS-450 (Figura 7). A máquina utiliza solda Tin Lead e o Fluxo NC215 para a realização da soldagem.

Figura 7 – Máquina de Solda Wave



A máquina não é dedicada isso significa que outros produtos além do CR BETA e isso torna necessária a utilização de pallets de soldagem (Figura 8) com capacidade de 7 placas por pallet, nos quais as placas são encaixadas antes de passarem pela Inserção Manual.

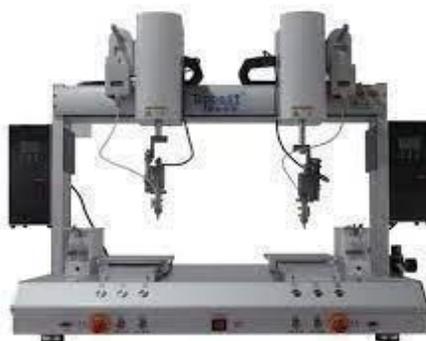
Figura 8 – Pallet de Solda



4.3.2 Máquina Robô de Soldagem

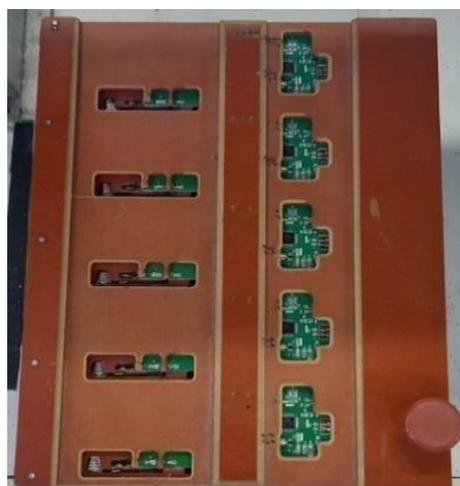
Para que sejam eliminados os defeitos causados pela utilização do fluxo NC215 é necessária a utilização de uma máquina de robô de soldagem (Figura 9). A máquina utiliza solda Tin Lead em fio para a realização da soldagem. A máquina apresenta alta precisão na soldagem de componentes PTH pois faz a soldagem ponto a ponto.

Figura 9 – Máquina Robô de Soldagem



A máquina é dedicada isso significa que não é utilizado mais de um produto além do CR BETA e isso torna necessária a utilização de bases de soldagem (Figura 10) com capacidade de 5 placas por base, nos quais as placas são encaixadas e os componentes são inseridos manualmente na máquina.

Figura 10 – Base de soldagem



4.4 ANÁLISE PRELIMINAR DE SUBSTÂNCIAS

4.4.1 Solda Tin-Lead

A solda *tin lead* é amplamente utilizada ainda no Brasil e uma das principais vantagens é sua molhagem e seu excelente acabamento. Mas podemos entrar no estudo de resistência dos materiais, a solda *tin lead* possui uma temperatura de $\pm 180^\circ \text{C}$ para fundir, com isso ela apresenta uma ótima tenacidade e ductilidade, ou seja, consegue resistir a vibrações e impactos, com isso traz muita confiabilidade a liga metálica.

Evidenciando a boa confiabilidade na manufatura eletrônica a solda *tin lead* é utilizada em setores da indústria onde exige essa confiabilidade sendo elas:

- Automobilística;
- Medicina;
- Aeronáutica;
- Militar.

4.4.1.1 Tin-Lead em Barra

A solda em barra é comumente utilizada no processo de THT, onde as barras de soldas são inseridas nos tanques da máquina de onda de solda. A utilização desse tipo de solda necessita do uso em conjunto de algum tipo de Fluxo para garantir a boa soldabilidade. Essa solda é a utilizada no cenário atual pois o produto por ter um volume de produção menor é soldado em conjunto de outros produtos com um volume maior na Máquina de Solda Wave.

4.4.1.2 Tin-Lead em Fio com Fluxo

São soldas com maior abrangência, sendo utilizadas no retrabalho de componentes do processo de manufatura eletrônica, esse processo comumente se utiliza estação de solda manual ou automatizada. Nos cenários propostos a utilização desse tipo de solda é de vital importância pois a Máquina Robô de Soldagem é compatível apenas com solda em fio e o produto é compatível apenas com solda tin lead.

4.4.2 Fluxo NC215

Fluxo de solda ou fluxo de soldagem como também pode ser chamado, é um produto utilizado para preparar a área onde será efetuada a solda, geralmente é usado em placas de

circuito impresso visando remover quimicamente as oxidações nos terminais existentes na superfície. O fluxo de solda para estanho é fortemente indicado em casos onde se deseja realizar uma solda rápida, limpa e eficiente, e extremamente indicado em casos onde a soldagem será feita com fio de solda sólido (não possui fluxo interno, assim como o fio de solda com resina) e em casos onde a área a ser soldada possui sujeira, ferrugem ou graxas. O fluxo utilizado no processo é o NC215. Os fluxos que possuem a inscrição NC (*No-Clean*) são aqueles inodoros, livres de chumbo na sua composição, o que evita a liberação da fumaça com mau cheiro.

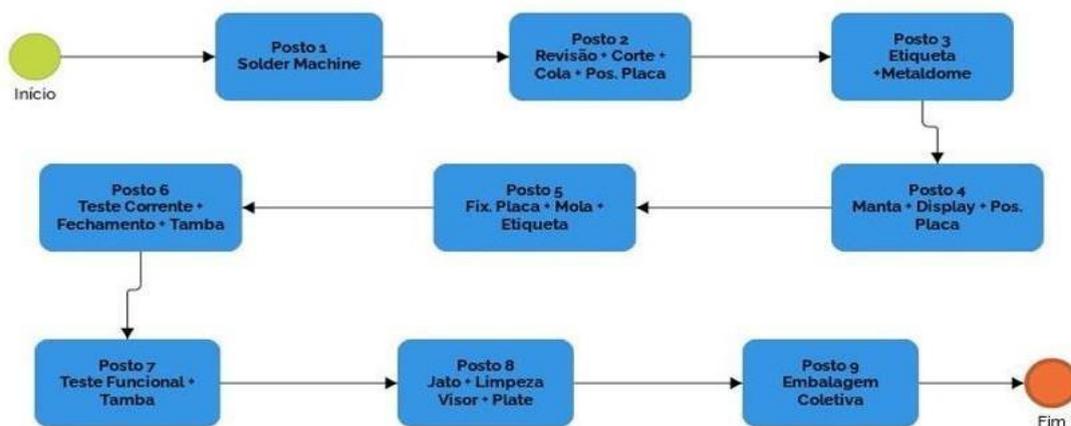
4.5 PROPOSTA PRELIMINAR DE CENÁRIOS

Como não será mais utilizada a máquina de soldagem por onda, foram propostos três cenários considerando a utilização de uma máquina robô de soldagem, eliminado assim o processo de inserção manual e de soldagem por onda. Todas as etapas passam a ser concentradas no Acabamento.

4.5.1 Cenário 1 – Soldagem de Cinco Componentes

O processo original foi balanceado e passou a ter nove postos de montagem (Figura 11), incluindo a utilização da máquina robô de soldagem.

Figura 11 – Fluxograma de processo Cenário 1



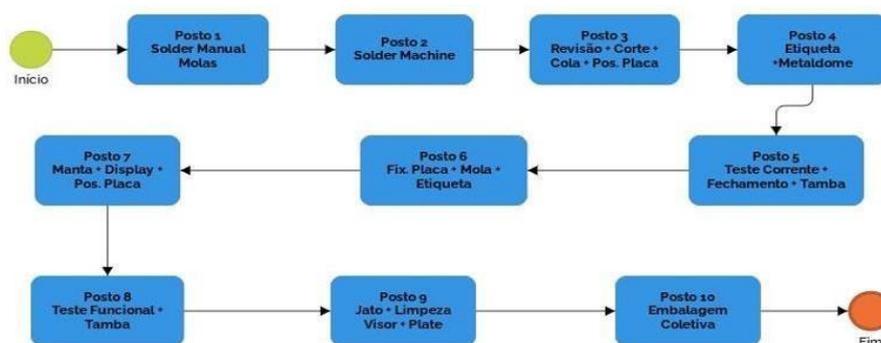
- **Posto 1:** nesta etapa a montagem dos componentes é feita nas bases fixas da máquina robô e a máquina realiza a soldagem de cinco componente, sendo eles um led, um termistor, um cristal, uma mola positiva e uma mola negativa;

- **Posto 2:** nesta etapa é feita a revisão da solda e sua correção caso necessário, também é cortado o excesso dos terminais dos componentes e aplicado cola com o auxílio de uma pistola nos terminais do cristal e do termistor;
- **Posto 3:** nesta etapa são aplicadas etiquetas e o metaldome nas PCIs(placas de circuito impresso);
- **Posto 4:** nesta etapa são aplicadas a manta nas laterais da PCI, o encaixe do Display na PCI e o encaixe da PCI no gabinete superior;
- **Posto 5:** nesta etapa o gabinete superior é fixado no gabinete inferior e é aplicado uma etiqueta no gabinete;
- **Posto 6:** é realizado o teste de corrente e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba (sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 7:** é realizado o teste das funções do controle e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba (sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 8:** é realizado a limpeza do Display com um jato de ar ionizado e a aplicação de uma película de proteção;
- **Posto 9:** os produtos são embalados em caixas coletivas.

4.5.2 Cenário 2 – Soldagem de Dois Componentes

O processo original foi balanceado e passou a ter dez postos de montagem (Figura 12), incluindo a utilização da máquina robô de soldagem.

Figura 12 – Fluxograma de processo Cenário 2

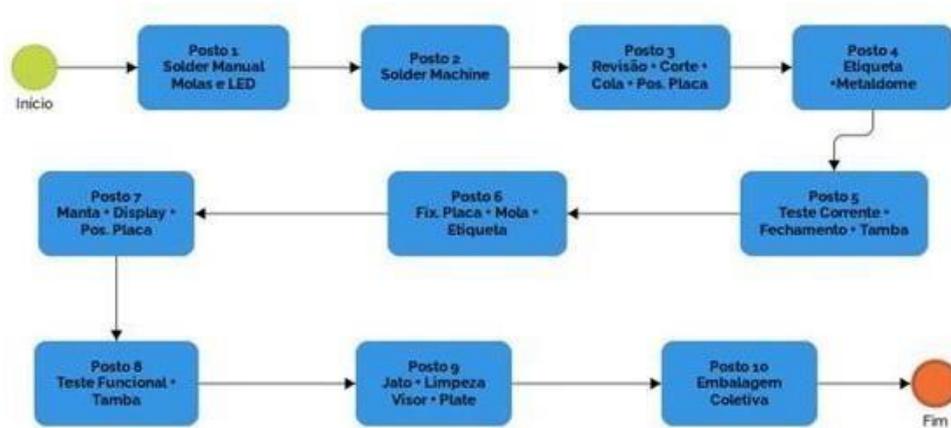


- **Posto 1:** nesta etapa a montagem e a soldagem de três componentes, sendo eles um led, uma mola positiva e uma mola negativa são feitas manualmente;
- **Posto 2:** nesta etapa a montagem dos componentes é feita nas bases fixas da máquina robô e a máquina realiza a soldagem de dois componentes, sendo eles um termistor, um cristal;
- **Posto 3:** nesta etapa é feita a revisão da solda e sua correção caso necessário, também é cortado o excesso dos terminais dos componentes e aplicado cola com o auxílio de uma pistola nos terminais do cristal e do termistor;
- **Posto 4:** nesta etapa são aplicadas etiquetas e o metaldome nas PCIs (placas de circuito impresso);
- **Posto 5:** nesta etapa são aplicadas a manta nas laterais da PCI, o encaixe do Display na PCI e o encaixe da PCI no gabinete superior;
- **Posto 6:** nesta etapa o gabinete superior é fixada no gabinete inferior e é aplicado uma etiqueta no gabinete;
- **Posto 7:** é realizado o teste de corrente e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba(sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 8:** é realizado o teste das funções do controle e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba (sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 9:** é realizado a limpeza do Display com um jato de ar ionizado e a aplicação de uma película de proteção;
- **Posto 10:** os produtos são embalados em caixas coletivas.

4.5.3 Cenário 3 – Soldagem de Três Componentes

O processo original foi balanceado e passou a ter dez postos de montagem (Figura 13), incluindo a utilização da máquina robô de soldagem.

Figura 13 – Fluxograma de processo Cenário 3



- **Posto 1:** nesta etapa a montagem e a soldagem de dois componentes, sendo eles uma mola positiva e uma mola negativa são feitas manualmente;
- **Posto 2:** nesta etapa a montagem dos componentes é feita nas bases fixas da máquina robô e a máquina realiza a soldagem de dois componentes, sendo eles um termistor, um crista e um led;
- **Posto 3:** nesta etapa é feita a revisão da solda e sua correção caso necessário, também é cortado o excesso dos terminais dos componentes e aplicado cola com o auxílio de uma pistola nos terminais do cristal e do termistor;
- **Posto 4:** nesta etapa são aplicadas etiquetas e o metaldome nas PCIs(placas de circuito impresso);
- **Posto 5:** nesta etapa são aplicadas a manta nas laterais da PCI, o encaixe do Display na PCI e o encaixe da PCI no gabinete superior;
- **Posto 6:** nesta etapa o gabinete superior é fixado no gabinete inferior e é aplicado uma etiqueta no gabinete;
- **Posto 7:** é realizado o teste de corrente e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba (sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 8:** é realizado o teste das funções do controle e o status do teste é vinculado a etiqueta pelo Tamba(sistema desenvolvido pela empresa para gerar controle de indicadores do processo);
- **Posto 9:** é realizado a limpeza do Display com um jato de ar ionizado e a aplicação de uma película de proteção;
- **Posto 10:** os produtos são embalados em caixas coletivas;

4.6 SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS POR MEIO DO FLEXSIM

4.6.1 Simulação Cenário Atual

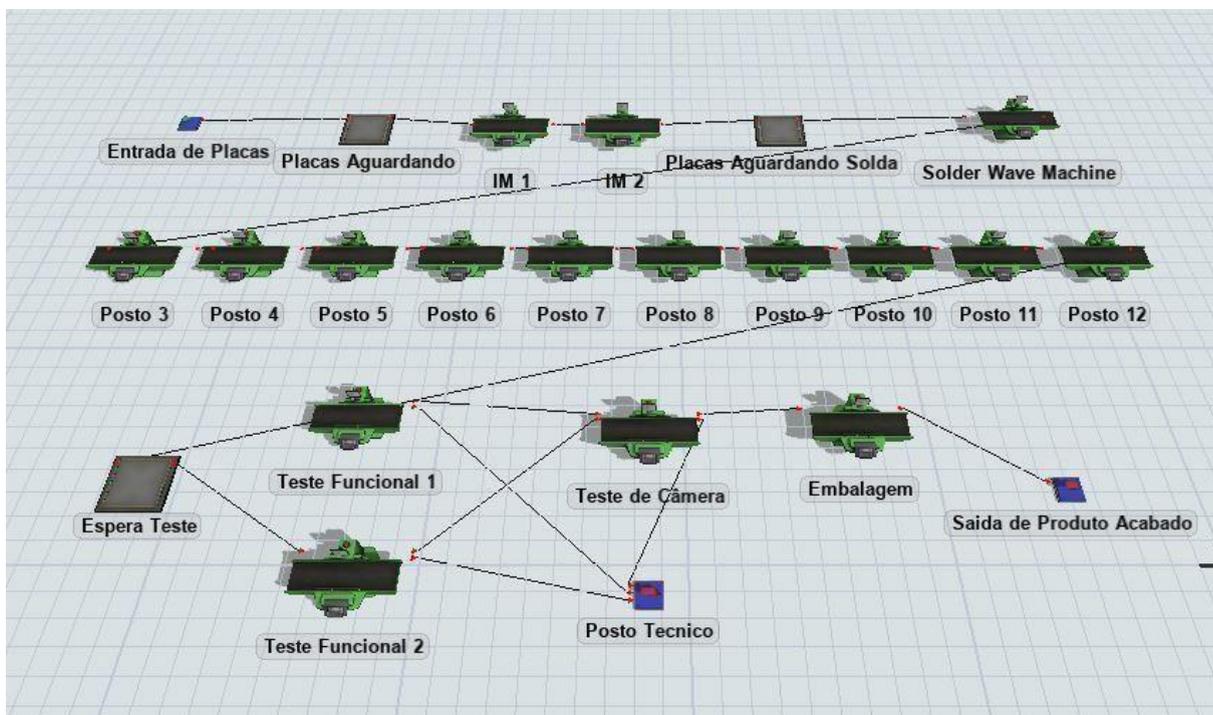
Com base na coleta de tempos das atividades foi gerado a Tabela 4.1, a mesma consiste em 10 medições de tempo para cada atividade, cada medição é uma média referente a 15 dias.

Tabela 4.1 – Tempos das atividades do Cenário Real

MODELO: CR BETA	PRODUÇÃO:					2000 PÇS/DIA					TEMPO TAKT:	15,8s	
FASE: M.I. E ACABAMENTO	TEMPO DISPONÍVEL:					8,75 H					TEMPO DE CICLO:	14,5s	
ATIVIDADES	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	MÉDIA	% PERDA	TEMPO PADRÃO
POSTO 1 Inserção Manual	70,2	72,4	73,7	74,3	74,6	70,2	72,4	73,7	74,3	74,6	73,1	10%	11,5
POSTO 2 Inserção Manual	65,2	64,2	64,6	65,2	66,4	65,2	64,2	64,6	65,2	66,4	65,1	10%	10,2
Soldagem máquina wave	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	10%	18,9
Posto 3 Revisão de solda	94,3	90,2	89,6	91,2	92,4	94,3	90,2	89,6	91,2	92,4	91,6	10%	14,4
Posto 4 Soldagem do Led	42,6	42,3	44,6	44,1	45,2	42,6	42,3	44,6	44,1	45,2	43,8	10%	12,0
Posto 5 Aplicação da cola	7,5	7,7	7,8	8,0	7,1	7,5	7,7	7,8	8,0	7,1	7,6	10%	8,4
Posto 6 Metaldome	18,2	17,8	19,1	18,8	18,8	18,2	17,8	19,1	18,8	18,8	18,3	10%	10,1
Posto 7 Manta + mola	13,3	12,6	12,4	12,4	11,3	13,3	12,6	12,4	12,4	11,3	12,4	10%	13,6
Posto 8 Montagem do display + conector zebra + encaixe da PCI	34,2	33,2	33,5	34,5	35,2	34,2	33,2	33,5	34,5	35,2	34,2	10%	18,8
Posto 9 Montagem do display + conector zebra + encaixe da PCI	36,2	35,3	35,4	34,8	36,9	36,2	35,3	35,4	34,8	36,9	35,7	10%	19,7
Posto 10 Máquina de parafusar	13,2	13,2	13,3	14,2	12,5	13,2	13,2	13,3	14,2	12,5	13,3	10%	7,3
Posto 11 Substituição + fechamento	11,2	12,4	11,8	12,4	12,0	11,2	12,4	11,8	12,4	12,0	12,0	10%	13,2
Posto 12 Jato de ar + adesivo decorativo	10,1	11,2	9,2	10,2	11,3	10,1	11,2	9,2	10,2	11,3	10,4	10%	11,4
Posto 13 Teste funcional + Tamba	18,5	17,0	17,6	17,7	17,2	18,5	17,0	17,6	17,7	17,2	17,5	10%	9,7
Posto 14 Teste funcional + Tamba	19,3	19,4	18,8	19,5	18,6	19,3	19,4	18,8	19,5	18,6	19,1	10%	10,5
Posto 15 Teste de câmera + tamba	13,1	13,4	12,5	13,5	13,0	13,1	13,4	12,5	13,5	13,0	13,1	10%	14,4
Embalagem final	12,3	11,2	12,3	13,1	12,5	12,3	11,2	12,3	13,1	12,5	12,3	10%	13,5

A simulação foi criada no software FlexSim com base nos dados da Tabela 4.1, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 14.

Figura 14 – Simulação FlexSim do Cenário Real



Com base na simulação de um turno de 8,75h conseguimos resultados semelhantes aos reais com e com isso foi considerado válido o cenário atual.

4.6.2 Simulação Cenário 1 – Soldagem de Cinco Componentes

Para realizar a simulação do cenário 1 foram consideradas as informações referentes a Tabela 4.2. Nesse novo cenário as atividades foram balanceadas devido a retirada da Inserção Manual e considerando o uso da máquina robô de soldagem.

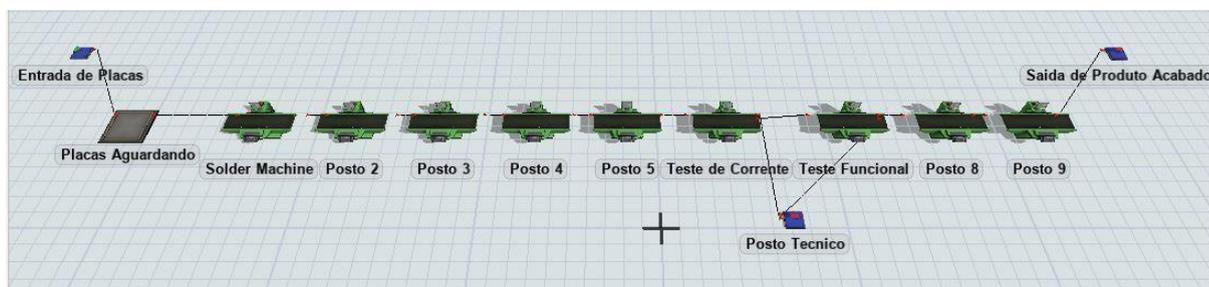
Tabela 4.2 – Tempos das atividades do Cenário 1

MODELO: CR BETA	PRODUÇÃO:									1280 PÇS/DIA			TEMPO TAKT:	24,6s
FASE: M.I. E ACABAMENTO	TEMPO DISPONÍVEL:									8,75 H			TEMPO DE CICLO:	22,6s
Atividades	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	AVERAG E	% LOS S	STANDAR D TIME	
Workstation 1 Máquina robô com 5 componentes	140,2	145,2	144,4	142,8	144,9	140,2	145,2	144,4	142,8	144,9	143,5	10%	13,1	
Posto 2	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	5%	11,9	

Revisão + corte+ cola+ tamba														
Posto 3 Aplicação de estiqueta + Metaldome	18,4	18,6	19,0	18,2	18,1	18,4	18,6	19,0	18,2	18,1	18,5	10%	15,5	
Posto 4 Manta + Mont. do display + Pos. placa	18,5	19,0	17,3	18,7	19,0	18,5	19,0	17,3	18,7	19,0	18,5	10%	15,7	
Posto 5 Fix. da placa + mola+ Subst. Etiqueta.	20,1	19,3	20,3	20,4	19,5	20,1	19,3	20,3	20,4	19,5	19,9	10%	14,9	
Posto 6 Teste de corrente + fechamento + Tamba	17,5	17,2	17,0	17,6	17,5	17,5	17,2	17,0	17,6	17,5	17,4	10%	15,5	
Posto 7 Tetse funcional + Tamba	18,5	19,2	20,1	19,7	20,3	18,5	19,2	20,1	19,7	20,3	19,6	5%	15,8	
Posto 8 Jato + limpeza do visor + aplicação de Plate	16,2	15,5	16,4	15,7	16,5	16,2	15,5	16,4	15,7	16,5	16,1	5%	14,7	
Posto 9 Embalagem coletiva	15,2	15,4	15,3	16,0	15,7	15,2	15,4	15,3	16,0	15,7	15,5	10%	15,5	

A simulação foi criada no software FlexSim com base nos dados da Tabela 4.2, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 15.

Figura 15 – Simulação FlexSim do Cenário 1



Com base na simulação de um turno de 8,75h conseguimos os seguintes resultados:

- A capacidade produtiva ficou limitada a 1500 peças por turno, esse resultado se deu devido a limitação da máquina robô;
- Sua produtividade reduziu 25% referente ao cenário real.

4.6.3 Simulação Cenário 2 – Soldagem de Três Componentes

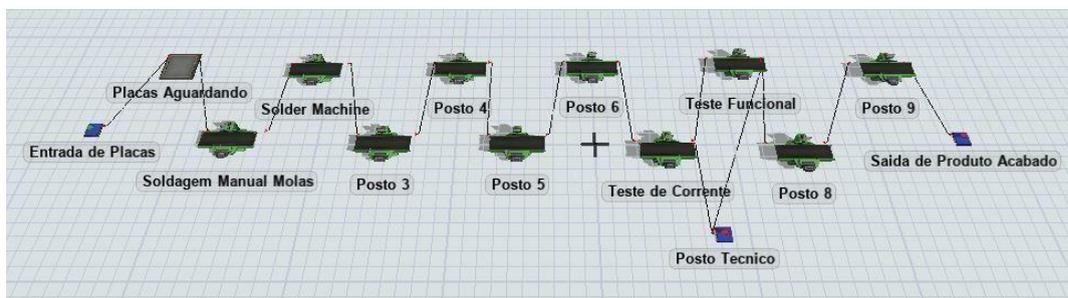
Para realizar a simulação do cenário 2 foram consideradas as informações referentes a Tabela 4.3. Nesse novo cenário as atividades foram balanceadas devido a retirada da Inserção Manual e considerando o uso da máquina robô fazendo a soldagem de três componentes.

Tabela 4.3 – Tempos das atividades do Cenário 2

MODELO: CR BETA	PRODUÇÃO:					2000 PÇS/DIA					TEMPO TAKT:		15,8s
FASE: M.I. E ACABAMENTO	TEMPO DISPONÍVEL:					8,75 H					TEMPO DE CICLO:		14,5s
Atividades	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Média	% Perda	Tempo Padrão
Posto 1 máquina robô com 3 componentes	10,5	11,1	10,9	11,2	10,8	10,5	11,1	10,9	11,2	10,8	11,9	10%	12,0
Posto 2 Solder Machine	120,2	125,2	124,4	122,8	124,9	120,2	125,2	124,4	122,8	124,9	123,5	5%	13,0
Posto 3 Revisão + Corte + Cola+ Tamba	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	10%	15,5
Posto 4 Aplicação de Etiq + Metaldome	14,3	14,5	14,4	14,2	14,1	14,3	14,5	14,4	14,2	14,1	14,3	10%	15,7
Posto 5 Manta + Mont.do display +Pos.placa	13,5	14,0	12,3	13,7	14,0	13,5	14,0	13,3	12,7	14,0	13,5	10%	14,9
Posto 6 Fix. da placa+ mola + Subst.etq.	14,1	14,3	14,3	14,4	13,5	14,1	14,3	14,3	14,4	13,5	14,1	10%	15,5
Posto 7 Teste de corrente + fechamento + tamba	15,1	14,8	14,9	15,2	15,0	15,1	14,8	14,9	15,2	15,0	15,0	5%	15,8
Posto 8 Teste funcional + tamba	14,5	13,2	14,1	13,7	13,3	14,5	13,2	15,1	14,7	13,3	14,0	5%	14,7
Posto 9 Jato + Limpeza do visor + aplicação de Plate.	13,2	14,5	13,4	14,7	13,5	13,2	14,5	13,4	14,7	15,5	14,1	10%	15,5
Posto 10 Emb. Coletiva	13,2	13,4	13,3	14,0	13,7	13,2	13,4	13,3	14,0	13,7	13,5	10%	14,9

A simulação foi criada no software *FlexSim* com base nos dados da Tabela 4.3, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 16.

Figura 16 – Simulação FlexSim do Cenário 2



Com base na simulação de um turno de 8,75h conseguimos os seguintes resultados:

- A capacidade produtiva ficou limitada a 2650 peças por turno, esse resultado se deu devido a retirada de dois componentes da máquina robô;
- Sua produtividade aumentou em 32,5% referente ao cenário real.

4.6.4 Simulação Cenário 3 – Soldagem de Dois Componentes

Para realizar a simulação do cenário 3 foram consideradas as informações referentes a Tabela 4.4. Nesse novo cenário as atividades foram balanceadas devido a retirada da Inserção Manual e considerando o uso da máquina robô fazendo a soldagem de dois componentes.

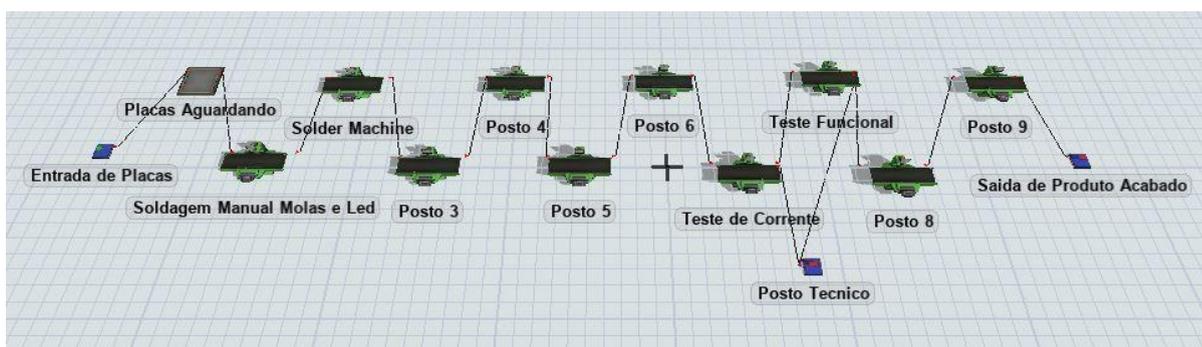
Tabela 4.4 – Tempos das atividades do Cenário 3

MODELO: BETA	CR	PRODUÇÃO:				2000 PÇS/DIA					TEMPO TAKT:		15,8s
FASE: ACABAMENTO	M.I. E	TEMPO DISPONÍVEL:				8,75 H					TEMPO DE CICLO:		14,5s
ACTIVITY	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	AVERAGE	% LOSS	STANDARD TIME
Posto 1 máquina robô com 2 componentes	11,5	12,1	11,9	12,2	11,8	11,5	12,1	11,9	12,2	11,8	11,9	10%	13,1
Posto 2 Solder Machine	110,2	115,2	114,4	112,8	114,9	110,2	115,2	114,4	112,8	114,9	113,5	5%	11,9
Posto 3 Revisão + Corte + Cola+ Tamba	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	14,4	14,2	13,7	14,2	14,1	10%	15,5
Posto 4 Aplicação de Etiq + Metaldome	14,3	14,5	14,4	14,2	14,1	14,3	14,5	14,4	14,2	14,1	14,3	10%	15,7
Posto 5 Manta + Mont.do display +Pos.placa	13,5	14,0	12,3	13,7	14,0	13,5	14,0	13,3	12,7	14,0	13,5	10%	14,9
Posto 6 Fix. da placa+ mola + Subst.etq.	14,1	14,3	14,3	14,4	13,5	14,1	14,3	14,3	14,4	13,5	14,1	10%	15,5
Posto 7	15,1	14,8	14,9	15,2	15,0	15,1	14,8	14,9	15,2	15,0	15,0	5%	15,8

Teste de corrente + fechamento + tampa														
Posto 8 Teste funcional + tampa	14,5	13,2	14,1	13,7	13,3	14,5	13,2	15,1	14,7	13,3	14,0	5%	14,7	
Posto 9 Jato + Limpeza do visor + aplicação de Plate.	13,2	14,5	13,4	14,7	13,5	13,2	14,5	13,4	14,7	15,5	14,1	10%	15,5	
Posto 10 Emb. Coletiva	13,2	13,4	13,3	14,0	13,7	13,2	13,4	13,3	14,0	13,7	13,5	10%	14,9	

A simulação foi criada no software FlexSim com base nos dados da Tabela 4.4, ficando no seguinte layout de acordo com a Figura 17.

Figura 17 – Simulação FlexSim do Cenário 3



Com base na simulação de um turno de 8,75h conseguimos os seguintes resultados:

- A capacidade produtiva ficou limitada a 2800 peças por turno, esse resultado se deu devido a retirada de dois componentes da máquina robô;
- Sua produtividade aumentou em 40% referente ao cenário real.

4.7 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.7.1 Inovações em Relação ao Cenário Atual

Os cenários propostos apresentam como principais inovações o uso da simulação de processos por meio do FlexSim para tomada de decisão e o desenvolvimento de bases de soldagem mais resistentes e a utilização da máquina robô de soldagem que permite a uma maior precisão na soldagem dos componentes PTH.

4.7.2 Vantagens e Desvantagens dos Cenários Propostos

4.7.2.1 Cenário 1

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Melhor distribuição das atividades.• Redução de custo por não utilização de solda em barra;• Redução de custo por não utilização de fluxo NC215;• Redução de custos com energia por não utilização de IM's (Linha de Inserção Manual) e Máquina de Solda Wave;• Baixa taxa de falha de soldagem	<ul style="list-style-type: none">• Capacidade produtiva limitada;• Máquina com uso dedicado• Uso de mão de obra direta na operação da máquina robô

4.7.2.2 Cenário 2

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Número reduzido de mão de obra;• Melhor distribuição das atividades;• Redução de custo por não utilização de solda em barra;• Redução de custo por não utilização de fluxo NC215;• Eliminação de defeitos causados pela utilização do fluxo NC215;• Redução de custos com energia por não utilização de IM's (Linha de Inserção Manual) e Máquina de Solda Wave;• Baixa taxa de falha de soldagem.	<ul style="list-style-type: none">• Máquina com uso dedicado;• Uso de mão de obra direta na operação da máquina robô;• Necessidade de uma mão de obra direta a mais para soldagem manual de componentes PTH.

4.7.2.3 Cenário 3

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Número reduzido de mão de obra;• Melhor distribuição das atividades;• Redução de custo por não utilização de solda em barra;• Redução de custo por não utilização de fluxo NC215;• Eliminação de defeitos causados pela utilização do fluxo NC215;• Redução de custos com energia por não utilização de IM's (Linha de Inserção Manual) e Máquina de Solda Wave;• Baixa taxa de falha de soldagem.	<ul style="list-style-type: none">• Máquina com uso dedicado;• Uso de mão de obra direta na operação da máquina robô;• Necessidade de uma mão de obra direta a mais para soldagem manual de componentes PTH.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÕES

O estudo conseguiu obter resultados positivos de modo que todos os objetivos determinados previamente foram alcançados. Sendo eles os seguintes:

- Foram realizadas às simulações do cenário atual do processo;
- Foram simulados cenários de processos que possibilitem averiguar todas as hipóteses levantadas;
- Foi analisado a possibilidade de uso de uma Máquina Robô de Soldagem no lugar da Máquina de Solda Por Onda;
- Foi verificado o balanceamento das etapas (procedimentos) do processo da linha de produção a fim de melhorar o planejamento da produção;
- Propor ações para elencar na Simulação a redução dos custos com mão-de-obra direta, energia e matéria prima afim de tornar viável o investimento no processo.

O cenário atual que representa o processo de produção de controles remotos foi simulado com sucesso de modo que foi possível identificar gargalos, verificar a capacidade produtiva do processo, verificar a semelhanças da simulação com o cenário real e usar a mesma de parâmetros para validar as demais simulações propostas. O estudo teve como um de seus objetivos propor cenários de produção nos quais o problema principal gerado pelo residual de fluxo NC215 fosse eliminado e também que proporciona-se um aumento na capacidade produtiva. Para eliminar o residual de fluxo NC215 é necessário que haja a troca de maquinário para a realização de soldagem dos componentes PTH, nesse caso a máquina de solda *wave* será trocada pela máquina robô de soldagem.

Para que a simulação no *Flexsim* retorne valores próximos aos reais, foi criada uma simulação do cenário atual que serviu como base para a criação de três cenários propostos:

- **Cenário 1:** Máquina Robô Realiza a Soldagem de Cinco Componentes;
- **Cenário 2:** Máquina Robô Realiza a Soldagem de Três Componentes;
- **Cenário 3:** Máquina Robô Realiza a Soldagem de Dois Componentes.

Cada cenário apresentava uma configuração na qual o processo havia sido balanceado de modo a evitar gargalos observados na simulação do cenário real e a reduzir mão-de-obra direta de modo que não impactasse de maneira negativa na capacidade produtiva de cada cenário. Vale lembrar que os cenários propostos, por não utilizarem a máquina de solda *wave*, geram redução de custos de energia pois a máquina robô de soldagem tem um consumo

reduzido em comparação ao da máquina *wave*. Há ainda uma redução de custos com insumos já que não será necessário o uso do Fluxo NC215.

Com base nos resultados da simulação o Cenário 3 apresenta os melhores resultados e se mostra o ideal como solução para o problema pois o mesmo não apresenta a presença de defeitos gerados pelo fluxo NC215 e apresenta uma capacidade produtiva de 2800 peças por dia, sendo superior ao cenário atual e aos demais cenários propostos.

Portanto, conclui-se que houve uma *performance* na realização desse estudo possibilitando novas simulações de tais cenários para até novos temas para trabalhos futuros usando este como base porque os resultados possam ser mais satisfatórios visando maior competitividade com relação aos custos de produção no meio fabril industrial.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO

Uma vez que esse estudo foi concluído com sucesso, propõem-se que para trabalhos futuros os seguintes temas sejam abordados:

- Utilização do *FlexSim* para simular o comportamento do processo por longos períodos;
- Utilização do *FlexSim* para simular o retorno do investimento necessário para aquisição de maquinário;
- Utilização do *FlexSim* para simular aumento de capacidade produtiva;
- Utilização do *FlexSim* como base para a criação de processos de novos produtos e introdução de linhas pilotos;
- Utilização do *FlexSim* para simular comportamento de processo com mudanças de matéria prima e mudança de mão-de-obra direta treinada por mão-de-obra direta em treinamento;
- Utilização do *FlexSim* para simular comportamento de processo com mudança de layout de processo e verificando necessidade de instalações elétricas, pneumáticas e de exaustão.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, F. A., & RAJGOPAL, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236.

ATZORI, LUIGI; IERA, ANTONIO; MORABITO, GIACOMO. The internet of things: A survey. *Computer networks*, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

BECKER, C., & SCHOLL, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694– 715.

BECKER, C., & SCHOLL, A. (2009). Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure. *European Journal of Operational Research*, 199(2), 359–374.

BEER, JENAY M.; FISK, ARTHUR D.; ROGERS, WENDY A. Toward a framework for levels of robot autonomy in human-robot interaction. *Journal of human-robot interaction*, v. 3, n. 2, p. 74, 2014.

BLACK, J. T., & HUNTER, S. L. (2003). Lean manufacturing system and cell design. (M. Migliore, H and Randhawa, S and Sullivan, WG and Ahmad, Ed.) *Flexible Automation And Intelligent Manufacturing*, 1998. Begell House, Inc.

BOETTCHER, M. Revolução Industrial -Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em:<<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>>. Acesso em: 10 maio 2108.

BOYSEN, N., FLIEDNER, M., & SCHOLL, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183(2), 674–693.

BRAGA Tadeu, Hugo Ferreira et al. Digital transformation: Digital maturity applied to study Brazilian perspective for industry 4.0. In: **Best Practices in Manufacturing Processes**. Springer, Cham, 2019. p. 3-27.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. da. A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia. In: Encontro Internacional de Produção Científica, 7. 2011.

Maringá. Anais eletrônico. Maringá. 2011. Disponível em:<https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2018

CHALMETA, Ricardo; CAMPOS, Christina; Grangel, Reyes. References architectures for enterprise integration. **Journal of Systems and Software**, v. 57, n. 3, p. 175-191, 2001.

CHE, DUNREN; SAFRAN, MEJDL; Peng, Zhiyong. From big data to big data mining: challenges, issues, and opportunities. In: **International conference on database systems for advanced applications**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. p. 1-15.

CHOW, W.-M. (1990). *Assembly Line Design: Methodology and Applications*. (M. Dekker, Ed.). Inc. New York.

CHWIF, L.; Medina, A. C. (2010). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*:

CHWIF, L.; Medina, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. São Paulo, Editora dos Autores, 2006.

CHWIF, L.; Medina, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. 4 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CORALLO, Angelo; Lazoi, Mariangela; Lezzi, Marianna. Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and business impacts. *Computers in industry*, v. 114, p. 103165, 2020.

DAHLGAARD, J. J., & Dahlgaard-Park, S. M. (2006). Lean production, six sigma quality, TQM and company culture. *The TQM Magazine*, 263–281.

DAHLGAARD-PARK, S. M., & Dahlgaard, J. J. (1999). *Developing a culture for innovation, creativity and learning*. Sheffield, UK.

DAVIS, MARK; Aquilano, Nicholas; CHASE Richard, *Fundamentos da Administração da Produção*. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DRISCOLL, J., & Thilakawardana, D. (2001). The definition of assembly line balancing difficulty and evaluation of balance solution quality. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 17(1-2), 81–86.

EGAN, J. (1998). *Rethinking Construction - the report of the Construction Task Force*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Municipal Engineer, 127(4), 199–203.

GHOSH, S., & Gagnon, R. J. (1991). *Manufacturing and Automation Systems: Techniques and Technologies* (V.46 ed.). Control and Dynamic Systems.

GIACHETTI, Ronald E. A framework to review the information integration of the enterprise. *International Journal of Production Research*, v. 42, n. 6, p. 1147-1166, 2004.

GUERRA-ZUBIAGA, David et al. An approach to develop a digital twin for industry 4.0 systems: manufacturing automation case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 34, n. 9, p. 933-949, 2021.

JAVAID, MOHD; Haleem, Abid. Current status and applications of additive manufacturing in dentistry: A literature-based review. *Journal of oral biology and craniofacial research*, v. 9, n. 3, p. 179-185, 2019.

JOHANSSON, P. E. C., LEZAMA, T., MALMSKÖLD, L., Sjögren, B., & Ahlström, L. M. (2013). Current State of Standardized Work in Automotive Industry in Sweden. *Procedia CIRP*, 7, 151–156.

KAMRANI, A. K., HUBBARD, K., Parsaei, H. R., & Leep, H. R. (1998). Simulation-based methodology for machine cell design. *Computers and Industrial Engineering*, 34(1), 173–188.

Law, Averill M.; Kelton, W. David; Kelton, W. David. *Simulation modeling and analysis*. New York: Mcgraw-hill, 2007.

LEZZI, M.; LAZOI, Mariangela; CORALLO, Angelo. Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Computers in Industry*, v. 103, p. 97-110, 2018.

MARTINS, Petronio e LAUGENI Fernando P. *Administração da Produção*. São Paulo: Saraiva, 1998.

MEIRING, Gys ALBERTUS Marthinus; MYBURGH, Hermanus Carel. A review of intelligent driving style analysis systems and related artificial intelligence algorithms. *Sensors*, v. 15, n. 12, p. 30653-30682, 2015.

MEYERS, F. E., & STEWART, J. R. (2011). *Motion and Time study for Lean Manufacturing*.

MIORANDI, Daniele et al. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, v. 10, n. 7, p. 1497-1516, 2012.

PERUZZINI, Margherita et al. Using virtual manufacturing to design human-centric factories: an industrial case. *The international journal of advanced manufacturing technology*, v. 115, n. 3, p. 873-887, 2021.

RIMAL, BHASKAR Prasad; Choi, Eunmi; Lumb, Ian. A taxonomy and survey of cloud computing systems. In: 2009 Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC. Ieee, 2009. p. 44-51.

RITZMAN, Larry. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pearson, 2004.

ROCHA, Duilio. Fundamentos da Administração da Produção. Fortaleza: Editra LCR, 2002.

SAIYEDA, Anam; MIR, Mansoor Ahmad. Cloud computing for deep learning analytics: A survey of current trends and challenges. International Journal of Advanced Research in Computer Science, v. 8, n. 2, 2017.

SARKER, B. R., & Pan, H. (1998). Designing a mixed-model assembly line to minimize the costs of idle and utility times. Computers and Industrial Engineering, 34(3), 609–628.

SCHLUSE, Michael; Rossmann, Juergen. From simulation to experimentable digital twins: Simulation-based development and operation of complex technical systems. In: 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE). IEEE, 2016. p. 1-6.

SIMARIA, A. S., Xambre, A. R., Filipe, N. A., & Vilarinho, P. M. (2010). A Decision Support System for Assembly and Production Line Balancing.

SIMOENS, Pieter; Dragone, Mauro; Saffiotti, Alessandro. The Internet of Robotic Things: A review of concept, added value and applications. International Journal of Advanced Robotic Systems, v. 15, n. 1, p. 1729881418759424, 2018.

SINGH, Sunpreet; Ramakrishna, Seeram; Singh, Rupinder. Material issues in additive manufacturing: A review. Journal of Manufacturing Processes, v. 25, p. 185-200, 2017.

Stevenson, W. (2011). Operations Management. McGraw-Hill College.

SILVA, M. C. A. Da.; Gasparin, J. L. A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a Educação Escolar Brasileira. 2015. Disponível em:<http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2018

SILVEIRA, C. B.O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo. Citisystems. 2017. Disponível em:<<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 10 jun. 2018

STOFFELS, Marius Alexander. Digitalization in the process industries–Evidence from the German water industry. 2017.

SUZAKI, K. (2010). *Gestão de Operações Lean - Metodologias Kaizen para a melhoria contínua. Teoria e Aplicações*. 3. Ed. rev. São Paulo: Ed. do Autor.

TOURI, Maria et al. Additive manufacturing of biomaterials– the evolution of rapid prototyping. *Advanced Engineering Materials*, v. 21, n. 2, p. 1800511, 2019.

TRNKA, Andrej. Big data analysis. *European Journal of Science and Theology*, v. 10, n. 1, p. 143-148, 2014.

URBACH, Nils et al. The impact of digitalization on the IT department. *Business & information systems engineering*, v. 61, n. 1, p. 123-131, 2019.

VENTURELLI, M. Indústria 4.0: uma visão da automação industrial. *Automação Industrial*, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 10 jul. 2108.

WOMACK, J. P., & Jones, D. T. (1996). *Lean Thinking - Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. (Schuste & Simon, Eds.). London.

WOMACK, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. World.

ДАВИЙ, Анна Олеговна; Паклина, София Николаевна; Прокофьева, Алия Сергеевна. Digital manufacturing: New challenges for marketing and business models. *Российский журнал менеджмента*, v. 15, n. 4, p. 537-552, 2017.

HERSEY, Paul e BLANCHARD, Kenneth H. *Psicologia para administradores: a teoria e a prática da liderança situacional*. São Paulo: EPU, 1986. p. 04.

WREN, Daniel A.; BEDEIAN, Arthur G.; BREEZE, John D. The foundations of Henri Fayol's administrative theory. *Management Decision*, 2002.

FAYOL, Henri; TAYLOR, Frederick W.; DRUCKER, Peter F. *Management and Decision-Making in Organizations*.

TAYLOR, Frederick. *THEORIES OF MANAGERIAL EFFICIENCY*. Public Administration: An Introduction, p. 50, 2011.

CHIAVENATO, Idalberto. *Teoria geral da administração*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1979.

PARK, Kill Hyang et alli. Introdução ao estudo da administração. São Paulo: Pioneira. 1997. p. 34.

JURAN, Joseph M. et al. **Juran on quality by design: the new steps for planning quality into goods and services**. Simon and Schuster, 1992.

MORGAN, Colin; MURGATROYD, Stephen. **Total quality management in the public sector: An international perspective**. McGraw-Hill Education (UK), 1994.