

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**ANANDA CAROLINE VIEIRA FALCÃO
GUILHERME DE MELLO MORAES**

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM EVENTOS
ESTOCÁSTICOS E DISCRETOS EM UMA LINHA DE ENVASE**

PONTA GROSSA

2022

**ANANDA CAROLINE VIEIRA FALCÃO
GUILHERME DE MELLO MORAES**

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM EVENTOS
ESTOCÁSTICOS E DISCRETOS EM UMA LINHA DE ENVASE**

**Application of computational simulation in stochastic and discreet events in a
pilling line**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Everton Luiz de Melo

PONTA GROSSA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ANANDA CAROLINE VIEIRA FALCÃO
GUILHERME DE MELLO MORAES**

**APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM EVENTOS
ESTOCÁSTICOS E DISCRETOS EM UMA LINHA DE ENVASE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 03 de Junho de 2022

Everton Luiz de Melo
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fábio José Ceron Branco
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Yslene Rocha Kachba
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PONTA GROSSA
2022**

RESUMO

Este trabalho é o estudo de uma linha de produção inserida no setor de envase de emulsões de maquiagem. Partindo-se dos conceitos teóricos de sistemas produtivos, ambientes de produção e de arranjo físico de fábrica, utilizou-se modelos de simulação computacional para fornecer soluções e eliminar a causa dos problemas detectados no sistema produtivo. A pesquisa buscou otimizar os elementos de trabalho classificados como atividades que Não Agregam Valor ao produto (NAV), avaliou a capacidade da linha, identificou os erros com mais rapidez, minimizou os desperdícios de tempo, materiais de embalagem e granel, e buscou reduzir os gargalos no processo produtivo. Os resultados indicaram ser possível obter ganhos de produção de até 14%, considerando toda a fábrica.

Palavras-chave: Sistemas produtivos; Sequenciamento de atividades; Métodos estocásticos; Modelagem e simulação computacional.

ABSTRACT

The present work in the study of a production line inserted in the make-up emulsions filling sector. Starting from the theoretical concepts of production systems, production environments and physical plant arrangement, mathematical models of computational simulation are used to provide analytical solutions and eliminate the cause of problems detected in the production system. The research seeks to optimize the work elements classified as activities that do not add value to the product, evaluate and determine the capacity of the line, highlight errors more quickly, minimize waste of time, packaging and bulk materials, as well as reduce bottlenecks in the production process. The results indicate that it is possible to obtain production gains of up to 14%, considering the entire factory.

Keywords: Productive systems; Activity sequencing; Stochastic methods; Computational modeling and simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Prazos, atividades e objetivos para tomada de decisão nas empresas .	12
Quadro 1 - Classificação dos sistemas de produção	13
Figura 2 - Representação de um fluxo linear	16
Figura 3 - Representação de um fluxo em lote	17
Figura 4 - Representação das categorias de simulação	21
Figura 5 - Comparação entre as diferentes metodologias de simulação	24
Figura 6 - Evolução dos softwares de simulação	26
Figura 7 - Modelo similar de envasadora	34
Figura 8 - Fluxograma do Processo Produtivo	37
Figura 9 - Exemplo de frasco de batom líquido	39
Figura 10 - Modelo Conceitual	42
Figura 11 - Lógica dos Eventos dos Objetos	44
Figura 12 - Localização da Distribuição Empírica no FlexSim	45
Figura 13 - Propriedades da Distribuição Empírica.....	45
Figura 14 - Atribuição da Distribuição Empírica como Tempo de Processo	46
Figura 15 - Referenciação da distribuição.....	46
Figura 16 - Ociosidade geral dos Colaboradores - Cenário 1.....	49
Figura 17 - Tamanho médio das Filas - Cenário 1	50
Figura 18 - Cadência do sistema - Cenário 1.....	51
Figura 19 - Tempo de Permanência na Fila - Cenário 1	51
Figura 20 - Percentual de Utilização dos Colaboradores - Cenário 1	52
Figura 21 - Status dos Colaboradores - Cenário 1	53
Figura 22 - Exemplo de Mesa acumuladora	54
Figura 23 - Ociosidade geral dos Colaboradores - Cenário 2.....	54
Figura 24 - Tamanho médio das filas - Cenário 2	55
Figura 25 - Cadência do Sistema - Cenário 2	56
Figura 26 - Tempo de Permanência na fila - Cenário 2	57
Figura 27 - Percentual de Utilização dos Colaboradores - Cenário 2	57
Figura 28 - Figura 28: Status do Colaborador - Cenário 2	58
Figura 29 - Comparação dos Resultados Obtidos na Simulação	59
Figura 30 - Representação Gráfica do Cenário 1	60
Figura 31 - Representação Gráfica do Cenário 2	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATO	<i>Assemble to Order</i>
ETO	<i>Engineer to Order</i>
GPSS	<i>General Purpose Simulation System</i>
MTO	<i>Make to Order</i>
MTS	<i>Make to Stock</i>
NAV	Não Agregam Valor
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PO	Pesquisa Operacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	10
1.1.1	Objetivo geral	10
1.1.2	Objetivos específicos	10
1.3	Justificativa	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Sistemas produtivos	11
2.1.1	Classificação de Sistemas Produtivos	12
2.1.1.1	Grau de Padronização dos Produtos	13
2.1.1.2	Tipos de Operação.....	14
2.1.1.3	Ambiente de Produção.....	15
2.1.1.4	Fluxos de Processo.....	16
2.1.2	Balanceamento de Linhas de Montagem.....	18
2.1.2.1	Tempo de Ciclo	18
2.1.2.2	Número de Operadores e Número Real de Operadores	19
2.1.3	Pesquisa Operacional e Simulação	19
2.2	Simulação	20
2.2.1	Classificações	21
2.2.2	Aplicações	22
2.2.3	Vantagens, Desvantagens e Riscos da Simulação.....	22
2.2.4	Etapas de um Estudo de Simulação	24
2.2.5	Simulação Computacional.....	25
3	METODOLOGIA	29
3.1	Classificação	29
3.2	Etapas	29
3.2.1	Levantamento Bibliográfico	29
3.2.2	Levantamento dos Dados	30
3.2.3	Tratamento de dados	30
3.2.4	Implementação do modelo	31
3.2.5	Verificação e validação	31
3.2.6	Análise de resultados	32
4	DESENVOLVIMENTO	33
4.1	Processo produtivo	33
4.1.1	Recursos	33
4.1.2	Arranjo Físico e Fluxo Produtivo	36
4.1.3	Classificação do Sistema	38
4.2	Planejamento	38
4.2.1	Mapeamento e Agrupamento dos Itens Acabados	38
4.2.2	Elaboração do Cronograma de Coleta de Dados	39

4.3	Modelagem Computacional.....	40
4.3.1	Software	40
4.3.2	Formulação e análise do problema	40
4.3.3	Formulação do modelo conceitual	41
4.3.4	Coleta de macro informações	42
4.3.5	Coleta de dados	43
4.3.6	Tradução do modelo	43
4.3.7	Verificação e validação do modelo.....	47
4.4	Análise dos resultados da simulação	47
4.4.1	Replicações.....	47
4.4.2	Experimentação e Análise de Resultados.....	48
4.4.3	Comparação das Alternativas	58
4.4.4	Testes Pilotos.....	60
5	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

Em um mercado onde o consumidor vem exigindo cada vez mais excelência na qualidade do produto, ou do serviço prestado, as empresas vêm buscando uma constante otimização e adaptação dos seus processos em busca de satisfazer as exigências vindas deste mercado. A ciência e a pesquisa são ferramentas fundamentais para que as empresas possam acompanhar o desenvolvimento da humanidade e atender, de maneira inteligente, as necessidades de todos os seus clientes.

A produção de um item, ou a prestação de um serviço, exige uma gama de necessidades, que abrangem uma série de processos, sendo esses processos: logísticos; de produção; de envase/embalagem; de limpeza; etc. Variando o tipo de produto final ou do mercado em que a empresa está inserida, variam-se também as necessidades envolvidas no processo. Lobo e Silva (2014) definem sistemas de produção como um sistema que tem como função converter um conjunto de entradas em um conjunto de saídas desejadas.

Sistemas produtivos apresentam diversas características e variáveis que dependem do tipo de processo, disponibilidade de recursos, tecnologia empregada na produção e especificidades do produto final. Combinar todas essas variáveis em um único sistema produtivo de maneira ótima é um dos principais desafios do Engenheiro de Produção, profissional que atua na busca constante de possibilidades de melhoria, além de atuar em outras áreas estratégicas como o Planejamento e Controle da Produção (PCP), qualidade, sustentabilidade e desenvolvimento.

A modelagem e simulação computacional (discreta) é uma técnica-chave da Pesquisa Operacional (PO) comumente utilizada em sistemas produtivos (HILLIER; LIEBERMAN, 2013), pois ela possibilita um entendimento amplo do sistema com a aplicação de suas funcionalidades, que viabilizam a visualização de diversos cenários, além do entendimento de quais são as partes críticas do sistema produtivo estudado e ainda permite evidenciar as possibilidades de melhoria no sistema.

O sistema produtivo estudado neste trabalho é uma linha de envase de uma das maiores empresas de cosméticos do Brasil que, assim como suas concorrentes, busca constantemente aprimorar seu sistema produtivo e entregar excelência ao seu consumidor. Este trabalho busca responder se a aplicação da modelagem e simulação

computacional discreta na análise do sistema produtivo de uma linha de envase de cosméticos possibilita a otimização do processo de envase estudado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Propor melhorias em uma linha de envase de cosméticos pastosos e viscosos, como base, corretivo, rímel e batom líquido, a partir da aplicação de técnicas de modelagem e simulação discreta.

1.1.2 Objetivos específicos

- I. Realizar uma revisão bibliográfica sobre Sistemas Produtivos e Simulação.
- II. Compreender detalhes do funcionamento da linha de envase.
- III. Identificar uma possibilidade de aplicação de estudo de simulação em uma linha de envase.
- IV. Desenvolver um modelo de simulação.
- V. Obter, por meio de experimentos com o modelo, soluções para a linha de envase.

1.3 Justificativa

De maneira geral, os sistemas produtivos envolvem muitas variáveis que impactam diretamente no desempenho da produção, e isso não é diferente no sistema estudado neste trabalho. A simulação discreta possibilita um melhor entendimento das variáveis do sistema e viabiliza a simulação de possíveis cenários para o melhor aproveitamento do sistema produtivo, identificando gargalos e possibilidades de melhoria. A realização deste trabalho se justifica pelas vantagens da aplicação da simulação discreta na linha de produção de envase de cosméticos, a fim de aprimorar o sistema produtivo e trazer à companhia maior competitividade, lucratividade e desempenho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, realiza-se uma pesquisa dos principais conceitos envolvidos no trabalho, que são sistemas produtivos e simulação, com o objetivo de embasar a pesquisa com o conhecimento técnico e permitir obter os resultados esperados.

2.1 Sistemas produtivos

A Engenharia de Produção é a área dentre as engenharias que se preocupa com os problemas relacionados às operações produtivas (LUSTOSA; DE MESQUITA; OLIVEIRA, 2008). Essas operações podem ser simples ou complexas, e o que diferencia uma das outras são os processos incluídos no sistema produtivo e as necessidades do mesmo. O engenheiro tem o papel de entender todo o sistema em questão, e buscar através de ferramentas da Engenharia de Produção possibilidades de melhoria nesse sistema, para que ele ocorra de maneira fluida, planejada e utilizando os recursos disponíveis de maneira eficiente.

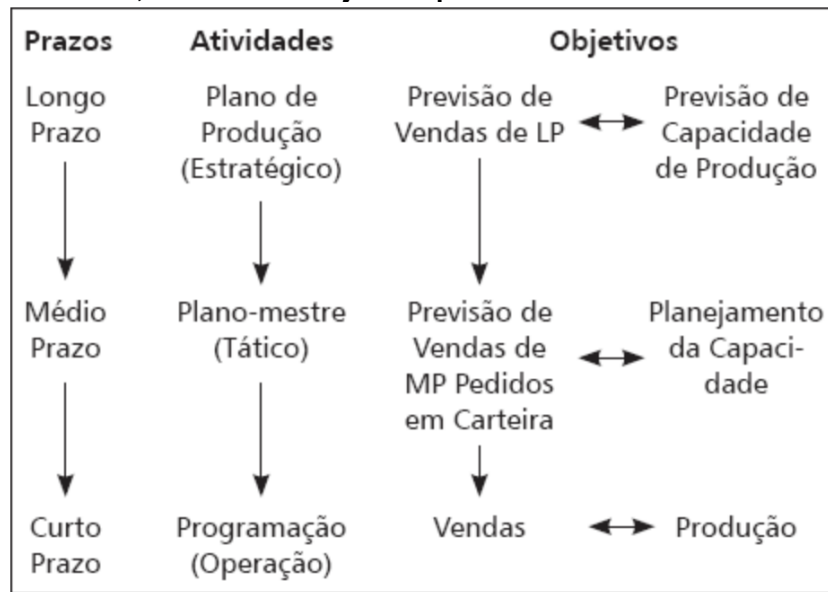
Turbino (2017) define sistemas produtivos como o sistema de transformação, via um processamento, de entradas (insumos) em saídas (produtos) úteis aos clientes. O desafio do engenheiro é trabalhar com a multiplicidade de fatores que envolvem esse sistema, sejam estas questões ligadas diretamente com o sistema produtivo, como quantidade de recursos, demanda e planejamento, ou até mesmo ao tipo de saídas (produtos), seja ele em forma de serviço (hospitais, hotelarias, restaurantes, etc) ou em forma de bens (indústria automobilística, alimentícia, têxtil, etc).

A definição de prazos, atividades e objetivos dos sistemas produtivos são de grande importância para que tais sistemas sejam efetivos e também para que a dinâmica do planejamento e controle da produção do sistema seja estabelecida. Turbino (2017, p.02), traz no seguinte trecho, a lógica da dinâmica do sistema produtivo:

Para que um sistema produtivo transforme insumos em produtos (bens e/ou serviços), ele precisa ser pensado em termos de prazos, em que planos são feitos e ações são disparadas com base nestes planos, para que, transcorridos esses prazos, os eventos planejados pelas empresas venham a se tornar realidade. De forma geral, pode-se dividir o horizonte de planejamento de um sistema produtivo em três níveis: o longo, o médio e o curto prazo.

Para o autor, o planejamento a longo prazo é determinado pelo plano estratégico de produção, que tem como objetivo provisionar as vendas de longo prazo assim como a capacidade de produção nesse período. A relação entre prazos, atividade e objetivos é demonstrada na Figura 1.

Figura 1 - Prazos, atividades e objetivos para tomada de decisão nas empresas



Fonte: Turbino (2017)

A médio prazo é deliberado o plano mestre de produção que planeja a capacidade produtiva do período e busca prever as vendas de médio prazo e atender os pedidos em carteira já realizados pelos clientes. E a curto prazo, a operação é programada para que seja possível dar início a produção e o produto final chegue ao consumidor.

2.1.1 Classificação de Sistemas Produtivos

Os sistemas produtivos são classificados de diversas formas a fim de facilitar o entendimento de suas características e a relação entre as atividades produtivas do sistema (LUSTOSA; DE MESQUITA; OLIVEIRA, 2008). Segundo os autores, as classificações mais conhecidas são por grau de padronização de produção, tipo de operação, ambiente de produção, fluxo dos processos, natureza dos produtos.

No Quadro 1, Lustosa, De Mesquita e Oliveira (2008) apresentam os tipos de classificação dos sistemas produtivos e as principais características de cada classificação.

Quadro 1 - Classificação dos sistemas de produção

TIPO DE CLASSIFICAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Grau de padronização dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Produtos padronizados • Produtos sob medida ou personalizados
Tipo de operação	<ul style="list-style-type: none"> • Processos contínuos (larga escala) • Processos discretos • Repetitivos em massa (larga escala) • Repetitivos em lote (<i>flow shop</i>, linha de produção) • Por encomenda (<i>job shop</i>, <i>layout</i> funcional) • Por projeto (unitária, <i>layout</i> posicional fixo)
Ambiente de produção	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Make-to-stock (MTS)</i> • <i>Assemble-to-order (ATO)</i> • <i>Make-to-order (MTO)</i> • <i>Engineer-to-order (ETO)</i>
Fluxo dos processos	<ul style="list-style-type: none"> • Processos em linha • Processos em Lote • Processos por projetos
Natureza dos produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Bens • Serviços

Fonte: Lustosa, de Mesquita e Oliveira (2008)

Classificar e caracterizar sistemas produtivos são atividades fundamentais para um entendimento mais robusto dos processos em questão. O grau de padronização dos produtos é um dos tipos de classificação e será apresentado na seção 2.1.1.1.

2.1.1.1 Grau de Padronização dos Produtos

O grau da padronização do produto é, para Lustosa, De Mesquita e Oliveira (2008), uma forma de classificar os sistemas produtivos. Produtos ou serviços padronizados tem um alto grau de uniformidade e é geralmente produzido em larga escala. Entretanto, produtos personalizados têm características opostas, sendo que eles podem assumir diversas especificações para atender a necessidade do cliente, fazendo com que sua produção ocorra em baixa escala. Além disso, a dificuldade de padronização do processo produtivo traz aos produtos personalizados um aumento significativo nos custos de produção.

Turbino (2017) exemplifica que um mesmo produto pode assumir diferentes graus de padronização, como por exemplo um carro, que pode ser produzido em uma

mesma fábrica junto a outros milhares de carros ou produzido em uma oficina com altos níveis de personalização.

2.1.1.2 Tipos de Operação

No PCP comumente os sistemas produtivos são classificados a partir do tipo de suas operações. Lustosa, De Mesquita e Oliveira (2008) e Turbino (2017) apresentam as mesmas definições para sistemas contínuos e sistemas discretos.

- **Sistemas Contínuos**

Sistemas contínuos são denominados dessa forma pois não se consegue facilmente identificar ou separar uma unidade do produto entre as demais que estão sendo produzidas. Esse tipo de sistema tem uma alta uniformidade da produção e de demanda, o que possibilita a automatização do processo e a altas escalas de produção. Exemplo desses tipos de sistemas são produtos comuns a várias cadeias produtivas, bens de base como combustível, energia, produtos químicos, etc. Alguns serviços podem também ser produzidos dessa forma, como por exemplo rede de internet, limpeza contínua, sistemas de segurança e monitoramento.

- **Sistemas Discretos**

Diferentemente dos sistemas contínuos, os sistemas discretos podem ser isolados em lotes ou em unidades do produto (LUSTOSA; DE MESQUITA; OLIVEIRA, 2008). Os sistemas discretos então são classificados a partir do tipo de processo de produção.

- **Processos repetitivos em massa**

Turbino (2017, p.09) destaca a semelhança entre processos repetitivos em massa e sistemas contínuos onde ambos tem produtos altamente padronizados, “contudo, estes produtos não são passíveis de automatização em processos contínuos, exigindo participação de mão de obra especializada na transformação do produto”. O autor classifica dentro desse sistema as empresas que estão na ponta da cadeia produtiva, com linha de montagens, como montadoras de carros e eletrodomésticos, empresas do ramo alimentício, têxtil, entre outras. Normalmente esse tipo de produto apresenta uma demanda estável, o que possibilita a montagem

de uma linha produtiva altamente especializada, o que a torna pouco flexível (TURBINO, 2017).

- Processos repetitivos em lote

Sistemas de produção repetitivos em lote, como define Turbino (2017, p.12) “se caracterizam pela produção de um volume médio de bens ou serviços padronizados em lotes, sendo que cada lote segue uma série de operações que necessita ser programada à medida que as operações anteriores forem sendo realizadas”. Esse tipo de sistema necessita ter maior flexibilidade para atender os diferentes pedidos dos clientes e a flutuação da demanda, logo, são utilizados na produção, equipamentos poucos especializados e uma mão de obra mais polivalente.

- Processo por projetos

Sistemas de produção por projeto, ou sob encomenda, apresentam uma baixa demanda e possuem altos níveis de especificação do produto (TURBINO, 2017). Sistemas desse tipo exigem grandes estoques para diminuir o tempo de produção, e uma vez finalizado o projeto, o sistema produtivo se volta para um novo.

2.1.1.3 Ambiente de Produção

A classificação de sistemas produtivos pelo ambiente de produção se dá com base na posição do estoque no processo produtivo (LUSTOSA; DE MESQUITA; OLIVEIRA, 2008) e também informa sobre a complexidade no fluxo de materiais. São quatro as classificações dos sistemas de produção:

- *Make To Stock* (MTS): produzido para estocar, são produtos padronizados com rápido atendimento ao cliente. Ex: itens de supermercado; loja de roupas.
- *Assemble To Order* (ATO): montagem sob encomenda, são produtos com os componentes previamente produzidos e ocorre a montagem a partir do pedido do cliente. Ex: computadores pessoais.
- *Make To Order* (MTO): o processo de produção só é iniciado a partir do pedido do cliente. Ex: produtos personalizados.
- *Engineer To Order* (ETO): o cliente participa de todo o processo de desenvolvimento do produto, o que dá ao produto um elevado grau de personalização. Ex: grandes projetos como obras; navios; aviões.

2.1.1.4 Fluxos de Processo

Os processos produtivos podem ser classificados a partir do fluxo em que o mesmo ocorre, e esse fluxo pode variar por diversos fatores, como demanda, tipo de produto, custo, especificações do produto final, entre outras. São três os principais tipos de fluxo:

- Em Linha

Processos em linha são caracterizados por serem bem definidos e as operações são dependentes umas das outras, o que faz com que a linha de produção siga um fluxo pelas operações pré definidas. Lustosa, De Mesquita e Oliveira (2008) afirmam que em operações desse tipo, os produtos devem ser padronizados, assim como os processos, para que o fluxo seja contínuo e uma operação/tarefa não acabe por retardar as demais. As operações em linha são muito eficientes devido a padronização do processo e aos equipamentos especializados, entretanto, esse tipo de operação é pouco flexível.

A Figura 2 demonstra uma linha de produção com as tarefas/operações e o fluxo do produto entre as tarefas/operações.

Figura 2 - Representação de um fluxo linear

**Fluxo do
produto**

Tarefas

Fonte: Autoria própria (2022)

Vemos que as tarefas ou postos de trabalho são organizados em linha enquanto o fluxo de produtos passa por cada uma das tarefas, caracterizando-se desta forma como processo em linha.

- Em Lote

Lustosa, De Mesquita e Oliveira (2008) caracterizam a produção em lote por um fluxo com uma variedade de produtos, no qual cada um tem uma própria sequência de tarefas. Devido ao tipo de operação, existe um baixo volume de produção e uma alta flexibilidade do processo, demandando uma mão de obra qualificada para atender as necessidades dessas variações na produção. Um ponto fraco desse tipo de operação é a dificuldade de controle devido ao fluxo desordenado da produção, o que impacta negativamente em estoque e qualidade.

A Figura 3 demonstra um fluxo de produção em lote dos produtos A, B e C, e as variações pelos quais tipos de tarefa/operação cada um deles passa em seu processo de produção.

Figura 3 - Representação de um fluxo em lote

Fluxo do produto A
Fluxo do produto B
Fluxo do produto C

Fonte: Autoria própria (2022)

Percebe-se que na Figura 3 cada produto tem um fluxo de produção diferente e com isso passa por atividades distintas em ordens distintas de acordo com as suas especificações de produção.

- Por Projeto

Sistemas de produção por projeto é caracterizado por produtos finais únicos como um edifício, navio, avião, ponte, entre outros. Normalmente, nesse tipo de produção, o produto final fica estabilizado, e são as operações que trabalham ao seu redor, seguindo o escopo do projeto, com um cronograma previamente definido, e respeitando as ordens que as operações devem seguir.

2.1.2 Balanceamento de Linhas de Montagem

O balanceamento de linha é uma das técnicas existentes para melhoria contínua de processos e simplificação da gestão da produção (DEMBOGURSKI ET. AL, 2008).

Gestores da produção buscam, através de cálculos, proporcionar o fluxo constante de um processo pela quantidade de postos de trabalho e com a redução da ociosidade da linha, afirma Rocha (2005). Reduzindo as perdas e otimizando os postos de trabalho é possível impactar diretamente a produtividade e os custos de uma organização, além de, conseqüentemente, aumentar a competitividade da empresa no mercado ao qual está inserida.

Para explicar o que é o balanceamento de linha, Rocha (apud Festugato, *et. al.*, 2006, p. 3):

Para Rocha (2005), balancear uma linha de produção e ajustá-la às necessidades da demanda, maximizando a utilização dos seus postos ou estações, buscando unificar o tempo unitário da 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. Nas etapas de fabricação de um produto, cada posto ou estação de trabalho gasta determinado tempo para executar a tarefa que lhe cabe.

Para a aplicação do balanceamento de linha alguns conceitos básicos do PCP se fazem necessários, entre eles temos o tempo de ciclo e o número de operadores.

2.1.2.1 Tempo de Ciclo

O tempo de ciclo pode ser definido como o tempo total de produção de uma única peça incluindo gargalos e esperas da linha de produção.

Alvarez *et. al* (2001 p.7) definem o tempo de ciclo em função de dois elementos:

Em um sistema de produção, o tempo de ciclo é determinado pelas condições operativas da célula ou linha. Considerando-se uma célula ou linha com 'n' postos de trabalho, o tempo de ciclo é definido em função de dois elementos:

- i. Tempos unitários de processamento em cada máquina/posto (tempo-padrão);*
- ii. Número de trabalhadores na célula/linha.*

Para analisar a distribuição da quantidade de trabalho entre os operadores são utilizadas as medições de tempo de ciclo.

2.1.2.2 Número de Operadores e Número Real de Operadores

O número de operadores da linha de produção é definido por:

$$N = \text{o tempo total para produzir uma peça (tempo padrão)} / \text{tempo de ciclo (1)}$$

O resultado da razão representa a quantidade mínima de operadores na linha. Entretanto, em alguns casos essa quantidade não condiz com a realidade, é por meio da simulação que se encontra o número real de operadores.

2.1.3 Pesquisa Operacional e Simulação

À medida que aumentou-se a complexidade, a especialização dos problemas das organizações ao longo da história, tornou-se mais difícil alocar recursos disponíveis para as diversas atividades de maneira eficiente. Sendo assim, a PO surgiu como uma possibilidade de encontrar o melhor caminho para solução desses problemas (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

Hillier e Lieberman (2013, p.24) definem a PO como uma ferramenta que “é aplicada a problemas que compreendem a condução e a coordenação das operações/atividades em uma organização”. O processo de aplicação da PO tem algumas etapas fundamentais como a observação e formulação do problema, a construção de um modelo científico (tipicamente matemático), o teste das hipóteses criadas (assumindo que o modelo representa de maneira efetiva o problema real) e a validação do modelo (HILLIER; LIEBERMAN, 2013).

A simulação é uma técnica-chave da PO e se destaca por ser a mais utilizada entre as demais técnicas, como declaram Hillier e Lieberman (2013). Os autores ainda destacam que a simulação é uma ferramenta muito flexível, poderosa e intuitiva.

2.2 Simulação

De acordo com o Michaelis (2001), dicionário brasileiro de língua portuguesa, algumas definições propostas para a palavra simulação são:

1. *Ação ou efeito de simular.*
2. *Reprodução do funcionamento de um processo através de funcionamento de outro.*

Nesse estudo, uma abordagem específica e técnica é formada a partir dos significados apresentados, elucidando conceitos, classificações, aplicações e vantagens da simulação, bem como sua aplicação computacional, funcionalidade e técnicas de verificação e validação.

Um sistema pode ser definido como um conjunto de partes que operam em conjunto, tendo em vista um objetivo comum. A simulação executa um exercício de modelar tais sistemas e estudar os seus comportamentos, analisando e buscando características funcionais que possam trazer resultados ágeis para resolução de problemas e implementação de melhorias. A utilização desse recurso é aplicada principalmente em cenários que apresentam alto custo de resolução de problemas mediante a experimentação e em contextos que apresentam problemas complexos para a abordagem analítica.

Além de entender a definição do que é um sistema, a compreensão do significado de um modelo também se fez necessário e, segundo Medina e Chwif (2007), é possível entender que um modelo deve conectar o abstrato à realidade a fim de aproximar o modelo do real comportamento do sistema, criando assim, uma versão simplificada do sistema real.

A simulação experimenta o desenvolvimento de hipóteses e teses ligadas a um modelo real, prevendo seu comportamento futuro, investigando em busca de informações ou comparando alternativas. Esse método de utilização de computadores para reproduzir operações de um sistema ou processo, pode ser empregado em sistemas estocásticos de acordo com Hillier e Lieberman (2013, p. 896) e "para esses sistemas, o computador gera e registra, de maneira aleatória, as ocorrências dos vários eventos que dirigem o sistema como se eles estivessem operando fisicamente", podendo simular operações de anos em segundos.

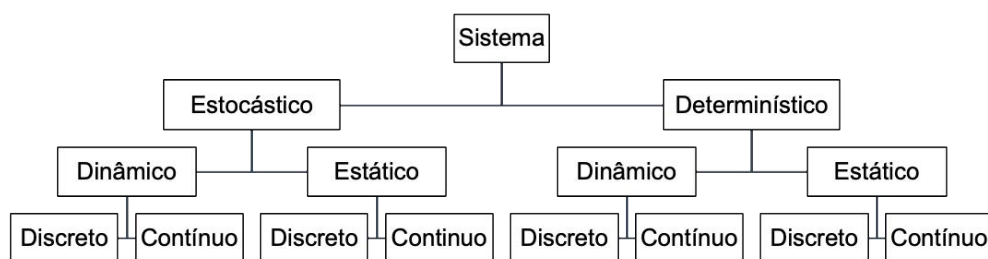
A construção de um modelo que considera que a chegada de clientes em um estabelecimento comercial ocorre aleatoriamente e pode variar de acordo com o

horário do dia, o dia do mês e da semana, permite que a simulação seja aplicada para entender como as medidas de desempenho de tamanho de fila de clientes, tempo gasto por cliente na fila e no sistema se comportam. O exemplo mencionado é genérico, no entanto, a simulação é utilizada em casos probabilísticos como esse, podendo ser aplicada tanto em estabelecimentos comerciais, como em plantas industriais com máquinas, transportes, esteiras e pessoas, bancos, aeroportos, armazéns, hospitais, uma rede de computadores com servidores, dentre outros.

2.2.1 Classificações

As amplas categorias da simulação podem ser classificadas de maneira hierárquica, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Representação das categorias de simulação



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os modelos de sistema desenvolvidos podem ser específicos ou genéricos que correspondem, respectivamente, a modelos de uso único ou recorrente. A escolha do modelo, sendo ele genérico ou específico, ramifica suas classificações em simulações estocásticas ou determinísticas, dinâmicas e estáticas, e por eventos discretos e simulação contínua.

Em modelos determinísticos as variáveis inseridas não possuem o caráter randômico e os atributos operacionais tendem a ser relações exatas e não probabilísticas. Além disso, técnicas analíticas se adaptam bem para a solução desses problemas, pois os mesmos não são computacionalmente exigentes.

Em contrapartida, os modelos estocásticos são particularizados por operações com funções probabilísticas, geração de dados aleatórios e alta complexidade em

comparação aos modelos determinísticos. Posto isto, o método de análise que utiliza simulação é mais adequado a estes modelos.

Modelos em que o tempo não exerce nenhuma função são denominados estáticos e o modelo de Monte Carlo pode ser mencionado como exemplo, já que examina funções matemáticas e modelos financeiros. Em contrapartida, sistemas que progridem no tempo, são considerados dinâmicos e um sistema fabril pode ser considerado um exemplo (ALMEIDA, 2016).

Hillier e Lieberman (2013, p. 898) apresentam em sua obra as classificações de simulação por eventos discretos e simulação contínua, sendo "a simulação por eventos discretos aquela em que as mudanças no estado do sistema ocorrem instantaneamente em pontos aleatórios no tempo como resultado da ocorrência de eventos discretos. "

Um exemplo que pode ser dado é um sistema de filas que apresenta o mesmo número de clientes na fila e no estado do sistema, isso significa que os eventos discretos que modificam esse estado são a entrada e saída de um cliente em consequência a finalização do atendimento.

Hillier e Lieberman (2013) também descrevem a simulação contínua como sendo a simulação que as mudanças no estado do sistema acontecem continuamente durante o tempo.

2.2.2 Aplicações

Uma simulação, sendo ela computacional ou não, executa modelos de sistemas e sistemas são lugares ou processos, reais ou planejados (KELTON, SADOWSKI E ZUPICK, 2015).

2.2.3 Vantagens, Desvantagens e Riscos da Simulação

Em sua obra, Banks *et. al* (2010) apresentam as vantagens e as desvantagens da simulação e disserta sobre a simulação como um apelo intuitivo para clientes, uma vez que são capazes de simular um cenário real e prever as saídas dos sistemas simulados.

Vantagens

- A avaliação dos sistemas reais, na maioria das vezes, não pode ser feita através de análise analítica com acurácia, direcionando a simulação como a melhor alternativa.
- Possibilita o controle das condições experimentais, isolando custos de experimentações reais físicas.
- Em operações projetadas é possível presumir o desempenho do sistema.
- Trata de maneira comparativa projetos de sistemas operacionais.
- Possibilita o estudo cronológico de operações prolongadas.

Desvantagens

- A simulação feita a partir de eventos discretos e estocásticos fornece uma aproximação dos resultados e dependem de inúmeras rodadas.
- Apesar de existirem softwares gratuitos, os de melhor qualidade podem ser de alto valor.
- A elaboração do modelo pode levar um tempo considerável e demanda estudo ou treinamento.
- Animações podem não ser válidas.

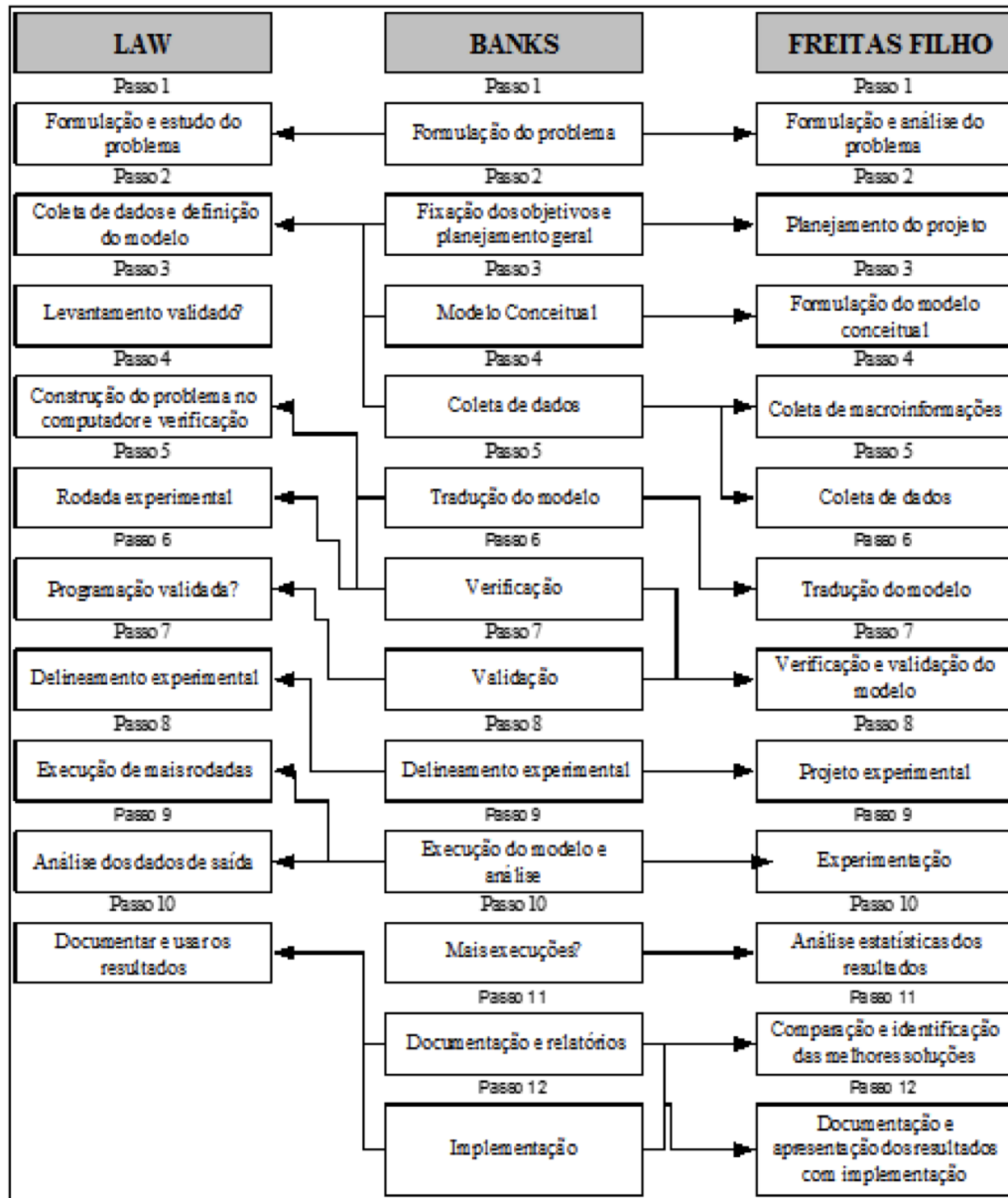
Dentre os riscos que um projeto de simulação está sujeito, Almeida (2016) menciona:

- A não definição dos objetivos ao iniciar o estudo.
- O não envolvimento de todas as partes interessadas do projeto desde o início.
- Detalhes inadequados em especificações.
- A equipe não compreender a replicação.
- Considerar a simulação da mesma forma que programação.
- Falta de conhecimento de metodologia de simulação.
- Pobre coleta de dados.
- Utilizar software de simulação inadequado e mal documentado.
- Pressupor que um *software* de simulação não requer muita competência técnica.
- Animação mal utilizada.
- Desconsiderar o tempo de *warm-up*.
- Utilizar as medidas de desempenho erradas.

2.2.4 Etapas de um Estudo de Simulação

Em seu estudo, Rangel e Nascimento (2014) discorrem sobre algumas metodologias que fracionam a construção de modelos de simulação em etapas, e também elaboram a comparação dessas metodologias, de Banks et al. (2010), Law (2007) e Freitas Filho (2008), presente na Figura 5.

Figura 5 - Comparação entre as diferentes metodologias de simulação



Fonte: Rangel, Rangel e Nascimento (2014)

A análise realizada pelos autores sobre as metodologias apresentadas conclui que os resultados de todas elas convergem para o mesmo resultado e que a qualidade e desempenho das três técnicas são equivalentes.

2.2.5 Simulação Computacional

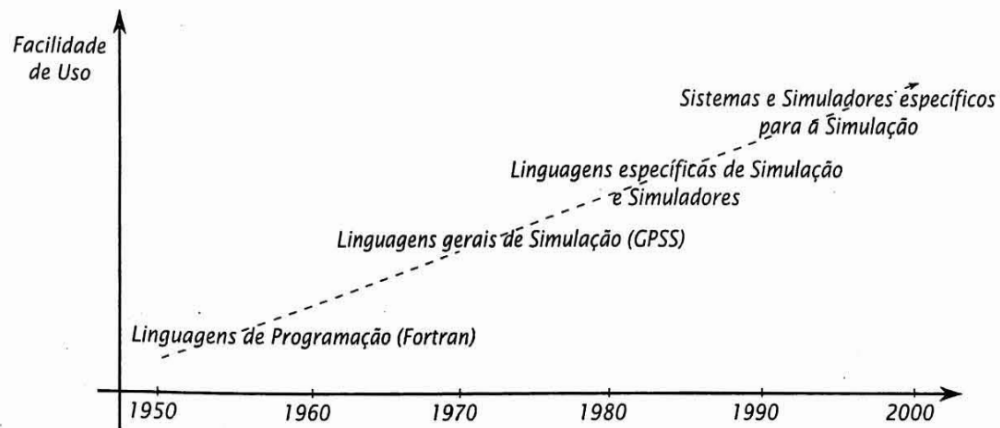
A simulação computacional se refere a técnicas para analisar uma ampla gama de modelos de sistemas do mundo real por meio de avaliação numérica usando um software projetado para reproduzir as operações ou recursos do sistema, frequentemente ao longo do tempo. Na prática, simulação é o processo de elaborar um modelo computadorizado de um sistema real ou planejado para conduzir experimentos numéricos para obter uma melhor compreensão do comportamento do sistema sob um conjunto específico de condições. Embora possa ser usado para analisar sistemas básicos, seu verdadeiro valor é revelado quando o utilizamos para investigar sistemas complexos (KELTON, SADOWSKI E ZUPICK, 2015).

- Linguagens de Programação e Softwares de Programação

Desde o início da década de 50 até meados de 1980 a simulação era executada por meio de linguagens de programação, e todas as funções que atualmente um software realiza, como criação de números pseudoaleatórios, meios de simulação e tratamento de dados, eram programadas pelo desenvolvedor. Em 1980 surgiu então o GPSS (*General Purpose Simulation System*) que é uma linguagem de programação direcionada para simulação e desde então foi possível a criação de modelos por meio de interfaces interativas, possibilitando a ágil elaboração de cenários e versatilidade em relação a alteração dos modelos. A Figura 6 apresenta um gráfico com a evolução dos softwares de simulação no decorrer do tempo e o aumento da facilidade de uso.

É de consenso geral que a linguagem de programação traz mais flexibilidade a um modelo de simulação que um software com interface própria. Entretanto, a maioria dos simuladores permitem que o desenvolvedor do modelo realize a programação em linguagens específicas (CHWIF e MEDINA, 2007).

Figura 6 - Evolução dos softwares de simulação



Fonte: Chwif e Medina (2007)

Uma das principais vantagens da criação de um modelo de simulação por linguagem de simulação é o desenvolvimento do mesmo para fins específicos. Porém, para isso, o analista deve ter domínio da linguagem selecionada, seja ela C, C++, Python, Java, VBA, entre outras. Junto a isso, o conhecimento sobre simulação também se faz necessário para que um modelo eficaz seja produzido.

O software de simulação requer conhecimento do ambiente que será inserido no modelo e permite, após o desenvolvimento, um acompanhamento visual da evolução do sistema. Apesar da maior facilidade, se comparado a criação de um modelo por meio da linguagem de programação, a maioria dos softwares limita o acesso gratuito para fins comerciais, e o usualmente o valor da licença é elevado. Alguns exemplos de softwares para simulação discreta são: Arena, FlexSim, Simul8, Anylogic, Simio, ProModel e JaamSim (*free*).

- **Verificação e Técnicas de Verificação**

Apesar de serem feitas ao longo do desenvolvimento do projeto, após a elaboração e funcionalidade do modelo, é necessário realizar a verificação e validação do modelo computacional a fim de garantir o comportamento almejado do modelo. Nessa fase, a verificação é feita para evitar erros de sintaxe, como desrespeito às regras da linguagem, e erros de lógica, que pode ser o desvio do comportamento desejado. De acordo com a obra de Chwif e Medina (2007), há algumas técnicas e procedimentos que podem ser utilizadas na retirada de *bugs* do modelo, sendo elas:

- Implementação modular/verificação modular. Essa técnica consiste na verificação parcial do modelo de simulação produzido, ou seja, implementar parte do modelo e rodar somente essa parte.
 - Valores constantes ou simplificados vs. cálculos manuais. A utilização de distribuições probabilísticas é comum em simulações e como ferramenta de verificação, é possível utilizar a média dessas distribuições no modelo desenvolvido e comparar o resultado com uma planilha de cálculos.
 - Utilização do *debugger*, *trace* ou depurador. Esse procedimento permite que a simulação rode "passo a passo" a fim de criar uma visualização mais clara dos eventos atuais e futuros, bem como os valores das variáveis.
 - Simulação manual. Para modelos grandes esse procedimento não se faz viável, porém para sistemas pequenos, a simulação manual sensibiliza o desenvolvedor do modelo e permite uma maior percepção da acurácia do mesmo.
 - Animação gráfica. A animação gráfica possibilita a visualização do modelo desenvolvido e facilita a detecção de erros.
 - Revisão em grupo. A percepção dos próprios erros é um processo complicado, e por esse motivo, a apresentação do modelo para outro indivíduo possibilita o conhecimento do problema por um segundo ponto de vista.
- Validação e Técnicas de Validação

A etapa de validação executa a atividade de garantir que o sistema projetado é compatível ao sistema atual, e que ambos possuem o mesmo comportamento. Os estudos de simulação são periódicos e alcançar a validação do mesmo não é um processo simples. Almeida (2016) menciona que os modelos podem ser gradativamente refinados, utilizando o princípio da parcimônia, que significa, opção pelo mais simples. Almeida (2016) também destaca que a comparação de modelos de simulação com sistemas reais só é viável no estado atual e não é possível declarar que o modelo é apropriado para todas as situações. Para isso, é necessário experimentar, comparar e assegurar que a etapa de verificação foi finalizada com sucesso.

Segundo Chwif e Medina (2007) na fase de validação é possível cometer três tipos, que são eles:

- Erro Tipo I. O modelo é válido, mas é rejeitado.
- Erro Tipo II. O modelo é inválido, mas é aceito.
- Erro Tipo Zero. O modelo se desvia dos objetivos estabelecidos.

Algumas técnicas de validação de modelos são:

- *Black-box*: é a comparação entre a resolução do modelo e o modelo real por inferências estatísticas. Essa análise é feita utilizando as observações como testes de hipóteses, a significância estatística como uma probabilidade de valor e avaliando a autocorrelação entre as observações e ocorrências do erro do Tipo I, Tipo II e Tipo III.
- *White-box*. Essa técnica geralmente valida o modelo no momento de sua criação. Eles são usados para simular componentes e suas interações em relação ao sistema real. O exame é feito dentro da estrutura interna do modelo. A estrutura interna de ambos os sistemas deve ser completamente conhecida nesta situação. Como resultado, a validação na caixa branca se concentra na avaliação na distribuição de entrada, lógica estática e lógica dinâmica. (ALMEIDA, 2016)
- Conhecimento e intuição de especialistas. Um especialista recebe dois conjuntos de descobertas, um do sistema real e outro do modelo, e se ele não puder identificar os resultados do modelo a partir dos resultados do sistema real, os argumentos para rejeitar o esforço de modelagem são diminuídos.
- Resultados teóricos. Os resultados da modelagem analítica, como os modelos da Teoria das Filas, podem ser usados para validar os resultados da simulação. Deve-se notar que, mesmo que os resultados da modelagem analítica sejam consistentes com os resultados da simulação, nenhum deles pode refletir com precisão o sistema real.

3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é apresentar a classificação do trabalho desenvolvido, assim como as etapas para a realização da pesquisa.

3.1 Classificação

Sistemas produtivos geralmente têm um grande potencial para melhorias, sendo que esses processos são complexos e envolvem muitas variáveis. Foi a partir da observação do funcionamento da linha de envase estudada neste trabalho que percebeu-se a possibilidade de melhorias na mesma e os potenciais ganhos com a aplicação da modelagem e simulação da linha.

Pesquisas no campo da modelagem e simulação são classificadas por Bertrand e Fransoo (2002) e Cauchick (2018) como empírica ou axiomática e, além disso, podem se classificar como pesquisa normativa e descritiva.

Este trabalho é classificado como uma pesquisa empírica descritiva de acordo com a tipologia de metodologia quantitativa proposta por Cauchick (2018). Esse tipo de pesquisa tem como característica a criação de um modelo que descreve as relações casuais que podem existir na realidade, o que possibilita a compreensão dos processos reais. Pesquisas que envolvem problemas reais que são por demais complexos para se utilizar análise matemática formal, como por exemplo, teoria das filas ou rede de filas, são classificados como pesquisa empírica descritiva.

Para Bertrand e Fransoo (2002) a pesquisa empírica descritiva está interessada na criação de um modelo que descreva adequadamente as relações causais que podem existir na realidade, o que leva à compreensão dos processos em andamento.

3.2 Etapas

Nesta seção da metodologia são apresentadas as etapas para a realização da pesquisa desenvolvida nesse trabalho.

3.2.1 Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico acontecerá posteriormente à delimitação dos dois principais tópicos da engenharia de produção presentes na situação problema: o PCP e a PO. Além disso, caso se faça necessário, pesquisas bibliográficas podem ser

realizadas durante a formulação de outras etapas da pesquisa com o propósito de aperfeiçoar os temas abrangidos e atingir melhores resultados,

Por se tratar de um sistema produtivo, a pesquisa foi iniciada pelas definições básicas do planejamento e controle da produção a fim de embasar as principais características de um sistema produtivo e definir os pontos de ações para um bom funcionamento dele. Sendo a modelagem e simulação a ferramenta utilizada na pesquisa, tópicos da PO foram levantados com foco maior na simulação, seus benefícios e resultados.

3.2.2 Levantamento dos Dados

Como o estudo se trata de uma pesquisa quantitativa, a coleta de dados contabiliza os dados numéricos criando uma base de dados e utilizando-a para analisar o comportamento sistêmico da operação. Através da observação estruturada, orientada e especificada, a probabilidade de atingir um alto fator de acurácia no levantamento dos dados aumenta, facilitando as etapas de validação e verificação e garantindo resultados mais próximos da realidade.

Uma câmera capaz de gravar vídeos e um *software* especializado para análise e edição dos vídeos são as ferramentas utilizadas para a coleta dos dados. Esses recursos possibilitaram a acurácia dos dados e o método de integração de ambos consiste na gravação das atividades repetitivas dos postos de trabalho utilizando a câmera, seguido pela análise minuciosa dos tempos de cada atividade, utilizando a ferramenta de cronômetro no *software* escolhido. Utilizando essa metodologia, além de ser garantida a precisão dos dados, garante-se, também, uma vasta quantidade de dados coletados já que as atividades levam segundos para serem concluídas.

3.2.3 Tratamento de dados

Com o intuito de analisar situações de longo prazo, a condução do tratamento de dados utiliza ferramentas capacitadas a reproduzir aleatoriamente, com base nos dados coletados, o comportamento do sistema real por meio de distribuições probabilísticas compatíveis com a distribuição do levantamento, as quais devem representar matematicamente as possibilidades de ocorrência de diversos valores ao longo da simulação.

Na prática, isso significa que os dados coletados são inseridos em uma ferramenta integrada de estatística do simulador que analisa as informações inseridas mostrando a distribuição mais compatível ao comportamento dos dados, gerando também a equação de entrada do tempo das atividades.

3.2.4 Implementação do modelo

A simulação permite prever resultado e, assim, identificar melhores parâmetros, antecipando, assim, construções e alterações de sistemas que já operam. No atual estudo, a conjugação dos dados coletados em um software de simulação implementa no modelo a situação escolhida e estuda o comportamento do sistema com modelos e hipóteses determinadas. Ou seja, utilizando a implementação do modelo do software, os processos podem ser computacionalmente representados, calculando parâmetros importantes para mudanças de processos.

3.2.5 Verificação e validação

As técnicas mais convenientes ao processo escolhido para verificação dos resultados do estudo de caso incluem a revisão dos resultados em conjunto com a equipe desenvolvedora, animação gráfica que é um recurso do *software* utilizado e verificação modular que verifica parcialmente todas as etapas do modelo desenvolvido. Ou seja, após feita a implementação do modelo no sistema operacional a análise da simulação em prática será feita com a equipe, analisando através das animações e *dashboards* produzidos os resultados instantâneos do sistema. Feito isso, a verificação modular consistirá em analisar etapa por etapa a execução da simulação a fim de mitigar os possíveis equívocos dos desenvolvedores do modelo e identificar *bugs* do software.

A validação do projeto conta com o acompanhamento de especialistas do processo em conjunto com ferramentas analíticas desenvolvidas por eles. Isto é, com a comparação de duas metodologias, sendo elas a simulação computacional e as ferramentas analíticas desenvolvidas por especialistas, o modelo pode ser validado uma vez que ambas as metodologias apresentem o mesmo resultado. Além disso, um estudo de campo é possível e complementa as técnicas mencionadas a fim de garantir a tendência mais próxima de um cenário real.

3.2.6 Análise de resultados

Nessa etapa, os indicadores e as métricas coletados durante a simulação dos diversos cenários são mensurados e interpretados em coerência com os objetivos iniciais da pesquisa. Os resultados, sendo eles de sucesso ou fracasso, devem ser mensurados e apresentados com dados quantitativos para criar uma relação que expresse o percentual de melhorias.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo refere-se à apresentação do desenvolvimento da pesquisa no qual inclui a descrição do processo produtivo selecionado para ser simulado, bem como as características desse processo, o planejamento da pesquisa, o processo de amostragem e coleta de dados, a modelagem e simulação do processo e a análise dos resultados da simulação.

4.1 Processo produtivo

Para selecionar o recurso produtivo no qual a simulação seria desenvolvida busca-se aparato da equipe de Performance Financeira Operacional (PFO) da empresa, que forneceu dados a nossa equipe que mostram que os custos variáveis de transformação referentes às atividades que Não Agregam Valor (NAV) ao processo em conjunto com o desbalanceamento das linhas de produção são os custos que mais impactam nos processos produtivos.

Por esse motivo, determina-se que as linhas que possuem o pior indicador referente a esses custos, ou seja, as linhas menos automatizadas, devem ser o foco desta pesquisa. Posto isto, a linha simulada neste trabalho tem como característica um baixo índice de automatização e altos custos variáveis de transformação.

4.1.1 Recursos

Os fatores de produção, ou recursos produtivos, são partes que, unidas, compõem o processo produtivo. No processo produtivo que vem sendo estudado há quatro recursos fundamentais para seu funcionamento: o maquinário, o produto fabricado, o material de embalagem e a mão de obra.

- Maquinário

Figura 7: Modelo similar de envasadora



Fonte: Steel Horse (2021)

O conjunto maquinário da linha é constituído por uma envasadora de um bico, semiautomática por contrapressão (Figura 7), uma esteira e duas impressoras.

- Envasadora

A envasadora de um bico é utilizada para o envase semiautomático de produtos pastosos, com alta precisão na quantidade a ser envasada. A máquina possui um funil de 70cm de diâmetro por 1m de altura, com capacidade de até 35 litros. Os produtos que são processados nessa envasadora podem ser encontrados em 3 versões: 10 a 100ml, 100 a 1000ml e de 1000 a 5000ml. Baseando-se na ocupação de cada categoria no plano de produção da empresa e sua segmentação no mercado, definiu-se que a categoria de 10 a 100ml deveria ser avaliada pela equipe. Após o abastecimento do produto no funil, é feita a regulagem de dosagem por manípulo, onde é possível regular o volume de envase e os ajustes de pressão.

- Impressora

A impressora do processo é utilizada para a marcação da data de validade e lote dos produtos. A marcação é a laser de 60 watts com o controlador *touchscreen* para minimizar os erros de codificação. O sistema de impressão tem capacidade de velocidade de marcação de até 2.100 caracteres por segundo. O maior campo de

marcação da impressora reduz o número de lasers necessários para as aplicações em filmes flexíveis de grande largura com múltiplas fileiras, reduzindo o investimento e o custo de execução.

- Esteira

A esteira da linha de produção possibilita reduzir a logística do transporte manual, possibilitando maior eficiência na movimentação, minimização da interação humana no carregamento de cargas e aumento do fluxo de produtividade.

- Matéria Prima (MP)

Os produtos finais da linha de produção simulada são cosméticos com características similares, são produtos pastosos e viscosos, com diferentes densidades e colorações. Alguns destes produtos são maquiagens, como base, corretivo, rímel e batom líquido, mas a linha também envasa produtos como creme para cabelo e para pele.

A matéria prima desses produtos são todas disponibilizadas em granel que no momento da produção é inserida na envasadora para dosagem e envase. Essas características influenciam no detalhamento do roteiro de produção, que é definido no lançamento de cada produto. As ordens de produção são criadas a partir desses roteiros que definem a cadência de envase, eficiência da ordem de produção, quantidade de mão de obra, maquinários e materiais de embalagem necessários para produção do produto em questão. A equipe de planejamento e controle da produção organiza anualmente, mensalmente e diariamente, essas ordens de produção de forma eficiente com o intuito de diminuir o tempo de higienização e *setup* da máquina.

- Material de Embalagem (ME)

Outro recurso utilizado no processo de produção são os materiais de embalagem, que variam de forma, dimensão e cor. De maneira geral são dois tipos principais de embalagem: potes, utilizados para envasar cremes e frascos, comuns no envase de rímel, batom líquido e bases.

A significativa necessidade de inovação voltada ao material de embalagem, que dita a identidade do produto final, é controlada por uma equipe técnica composta por profissionais da área de Marketing, Pesquisa e Desenvolvimento de Embalagens e Engenharia de Produto, que é responsável pelo desenvolvimento, avaliação e teste

de toda inovação proveniente de materiais de embalagem. Em seguida, é feita uma avaliação com o time de Engenharia de Processos para melhor adequação dos recursos maquinários a serem utilizados.

- Mão de Obra (MO)

Como a linha de envase simulada tem baixo índice de automatização, a Mão de Obra é um recurso fundamental da mesma. Os colaboradores são treinados com os procedimentos básicos do processo e orientados por um líder da produção. Entretanto existem dois tipos de funcionários, os temporários e efetivos.

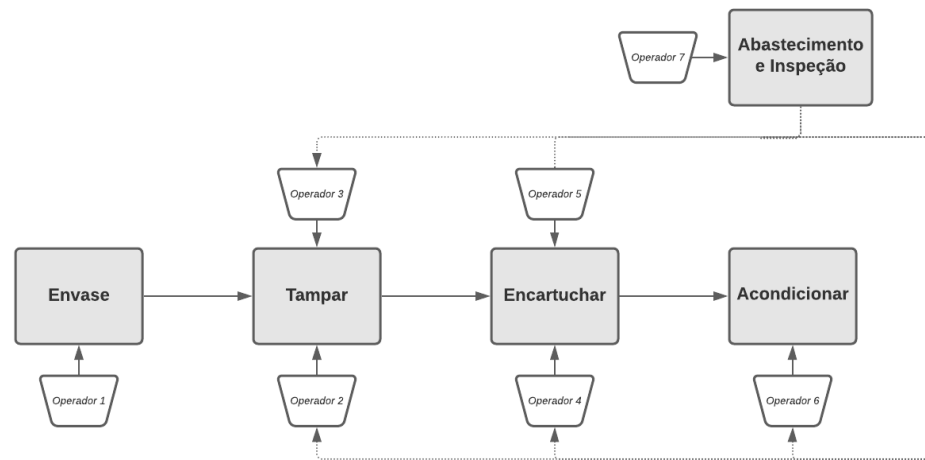
Funcionários efetivos são os contratados pela organização logo, esses normalmente têm maior qualificação e conhecimento do processo. Os funcionários temporários são contratados por terceiros para prestação de serviço, têm alta rotatividade e baixa qualificação, mas ainda assim são a opção mais vantajosa para a empresa, sendo que em momentos de pico de demanda esses funcionários são alocados na produção sem gerar nenhum vínculo empregatício com a organização.

Essas variações no fluxo da produção devido qualificação da Mão de Obra é um dos principais fatores de atenção para a coleta de dados, pois influenciam diretamente no resultado final dos obtido através da simulação computacional.

4.1.2 Arranjo Físico e Fluxo Produtivo

Caracterizado como um Sistema a Evento Discreto (SED), o fluxo produtivo em questão é dependente da ocorrência de eventos. A linha de produção escolhida recebe o produto já fabricado em granéis e é responsável pelo envase do mesmo. O fluxo é operado diante do encadeamento de atividades sequenciadas, conforme a Figura 8.

Figura 8: Fluxograma do Processo Produtivo



Fonte: Autoria Própria (2022)

Essas atividades sequenciadas são denominadas como postos de trabalho e a caracterização de cada um deles é:

1. **Envase manual:** Nesse posto de trabalho, o operador é responsável por definir a saída de produtos, e esse ajuste é possível fazer diretamente na máquina. Definida a cadência de saída, o mesmo operador tem a função de posicionar o frasco embaixo do bico da saída do fluido, quando preenchido o material de embalagem, na quantidade também programada previamente na máquina, o operador deve posicionar o produto na esteira para que a próxima atividade de transformação do produto ocorra.
2. **Tampar:** Ao receber o produto através da esteira de acabamento, os operadores desse posto de trabalho, coletam o produto da esteira, inserem a tampa, giram no sentido horário, manualmente, até o frasco esteja totalmente fechado e posicionam na esteira que o direciona para próxima atividade.
3. **Encartuchar:** O operador de produção, nesse posto, é responsável por montar cartucho manualmente, coletar o produto da esteira, posicionar o mesmo dentro do cartucho e disponibilizar na esteira de acabamento.
4. **Acondicionar:** O acondicionamento do produto é caracterizado pela coleta dele da esteira e posicionamento dentro de uma caixa de papelão, que armazena os produtos acabados. Feito isso, o operador completa a caixa com uma quantidade pré-determinada, fecha a caixa e a posiciona no pallet, que uma vez completo, é enviado para o armazenamento logístico.

5. **Abastecimento e Inspeção:** Antes de uma ordem de produção ser iniciada, o time de logística posiciona todos os materiais de embalagem próximo à linha de produção, o operador deste posto é responsável por coletar esses materiais e destiná-los a uma posição mais próxima do posto de trabalho que irá ser utilizado. Após realizar o abastecimento de todos os postos de trabalho, o operador é responsável pelas atividades de inspeção que devem ser feitas de hora em hora.

4.1.3 Classificação do Sistema

Para a análise dos resultados da simulação, segundo Freitas Filho, é necessária a classificação do sistema. Sistemas Terminais, segundo o autor, apresentam condições iniciais fixas e um evento que determina um fim natural para o processo de simulação (FREITAS FILHO, 2001), ou seja, o processo simulado é caracterizado por ter início e fim claros. O autor ainda salienta que as condições iniciais da maioria dos sistemas terminais apontam para um sistema vazio e disponível, isto é, todos os recursos do sistema estão disponíveis e não existem entidades ou clientes esperando em filas (FREITAS FILHO, 2001).

O sistema simulado neste trabalho é classificado como um sistema terminal e é assim analisado a partir dessa classificação.

4.2 Planejamento

O direcionamento e acompanhamento do estudo é de suma importância para a conquista de bons resultados, e por esse motivo, os esforços são reunidos nessa etapa para sistematizar o desenvolvimento do estudo. Com base na análise dos produtos acabados e do processo produtivo de cada um desses produtos é possível criar uma estratégia capaz de generalizar algumas categorias de produtos e utilizar esse mecanismo em união à ocupação desses produtos no plano de produção anual da empresa.

4.2.1 Mapeamento e Agrupamento dos Itens Acabados

A linha de produção escolhida para ser estudada é dedicada ao envase de produtos de maquiagem emulsificantes, como bases, batons líquidos, rímeis, corretivos líquidos e cremes. Para maior assertividade, tanto na coleta de dados como nos resultados do projeto, o início do desenvolvimento do estudo se dá mapeando e

classificando todos os produtos que são produzidos nesta linha de produção. Para realizar essa classificação, um relatório gerado pelo sistema de integração gerencial da empresa foi fornecido e com isso foi possível definir algumas características similares em diferentes *Stock Keeping Units* (SKU), como por exemplo, volumetria do ME, formato do ME, diferentes cores de MP e quantidade necessária de MO. Após definir os pré-requisitos de agrupamento, os SKU são dispostos em grupos, denominados de famílias e a partir dessa reunião de produtos, é possível direcionar a dispersão dos roteiros de produção, isso significa que, a amostragem de tempos coletados é direcionada a apenas um item da família de produtos, porém o resultado será semelhante para todos os SKU da família. Para exemplificar essa situação, consideramos o produto da Figura 9.

Figura 9: Exemplo de frasco de batom líquido



Fonte: DH Gate (2021)

O material de embalagem a ser utilizado é denominado como frasco, de volumetria 4ml, utilizado para o processo de envase de batons líquidos e a Mão de Obra necessária para o envase e acabamento do produto é atualmente de sete pessoas. A criação da família frasco para batom líquido de 4 ml é criada e a partir dessa informação, todos os produtos que possuem essas mesmas características, poderão desfrutar dos resultados adquiridos do estudo.

4.2.2 Elaboração do Cronograma de Coleta de Dados

Com o intuito de colher os resultados adquiridos da análise do balanceamento das linhas de produção, simuladas computacionalmente, tem-se um primeiro período onde a equipe do planejamento de produção da empresa fornece o plano de produção

industrial anual e, com base nisso e na ocupação do volume de produção de cada família registrada, um cronograma de atuação é elaborado constando a data e horário da coleta de dados, bem como sua prioridade baseada na ocupação anual da família de produtos em questão.

A análise resulta em um segundo período, no qual ocorre a união do agrupamento dos produtos em famílias com a análise do plano de produção industrial, e com isso, a equipe decide qual a família de produtos é analisada nesta pesquisa.

4.3 Modelagem Computacional

Nesta seção de modelagem computacional, é apresentado o software utilizado na simulação, a formulação e análise do problema, formulação do modelo conceitual coleta de macro informações e de dados, tradução do modelo e verificação e validação do modelo.

4.3.1 Software

FlexSim é um conjunto de softwares de simulação de eventos discretos elaborado pela FlexSim Software Products, Inc. O portfólio de produtos FlexSim atualmente inclui o produto FlexSim de uso geral e ambiente de modelagem de sistemas de saúde. Esse ambiente de software é guiado a objetos usados para desenvolver, modelar, simular, visualizar e acompanhar as atribuições de sistemas.

A utilização desse software, bem como da simulação computacional e análise de sistemas discretos, pode ser conduzida por diversos ramos como sistemas de manufatura padrão e flexíveis, células robóticas em ambientes de construção e manufatura, sistemas de saúde e até mesmo em sistemas acadêmicos.

4.3.2 Formulação e análise do problema

A utilização da simulação computacional permite uma abstração proposital de um sistema real que pode ser usado para responder perguntas ou resolver problemas. Dessa forma, com base no conhecimento sobre o comportamento das partes desse sistema com o objetivo de obter *insights* sobre o comportamento de todo o sistema produtivo, a equipe define quais os indicadores são necessários para mensurar o problema indicado pela empresa: o balanceamento da linha de produção.

A empresa não possui nenhuma maneira de visualizar a utilização dos postos de trabalho e balanceamento das linhas de produção. A definição de quantidade de

mão de obra alocada para produzir determinado produto, bem como sua taxa de processamento é determinada hoje pelos operadores da linha de produção de maneira empírica. Essa metodologia carece em dados e assertividade pois não estipula alguma medição e análise da ocupação de cada colaborador diante a atividade a ser realizada, e isso resulta em uma baixa utilização do sistema, ociosidade dos colaboradores e desbalanceamento das linhas de produção.

A equipe de programação de produção considera um número fixo de MO diário e, a partir dos roteiros dos produtos, alocam os recursos de maquinários e a mão de obra disponíveis para atender a demanda. Sabendo que nenhuma análise de balanceamento foi feita no momento de construção desses roteiros e que a alocação de recursos por produto pode estar sendo visualizada pela programação de produção de maneira inapropriada, a empresa fica refém de uma cultura organizacional operacional para alcançar uma melhor performance em produtividade definida por peças produzidas por colaborador a cada hora.

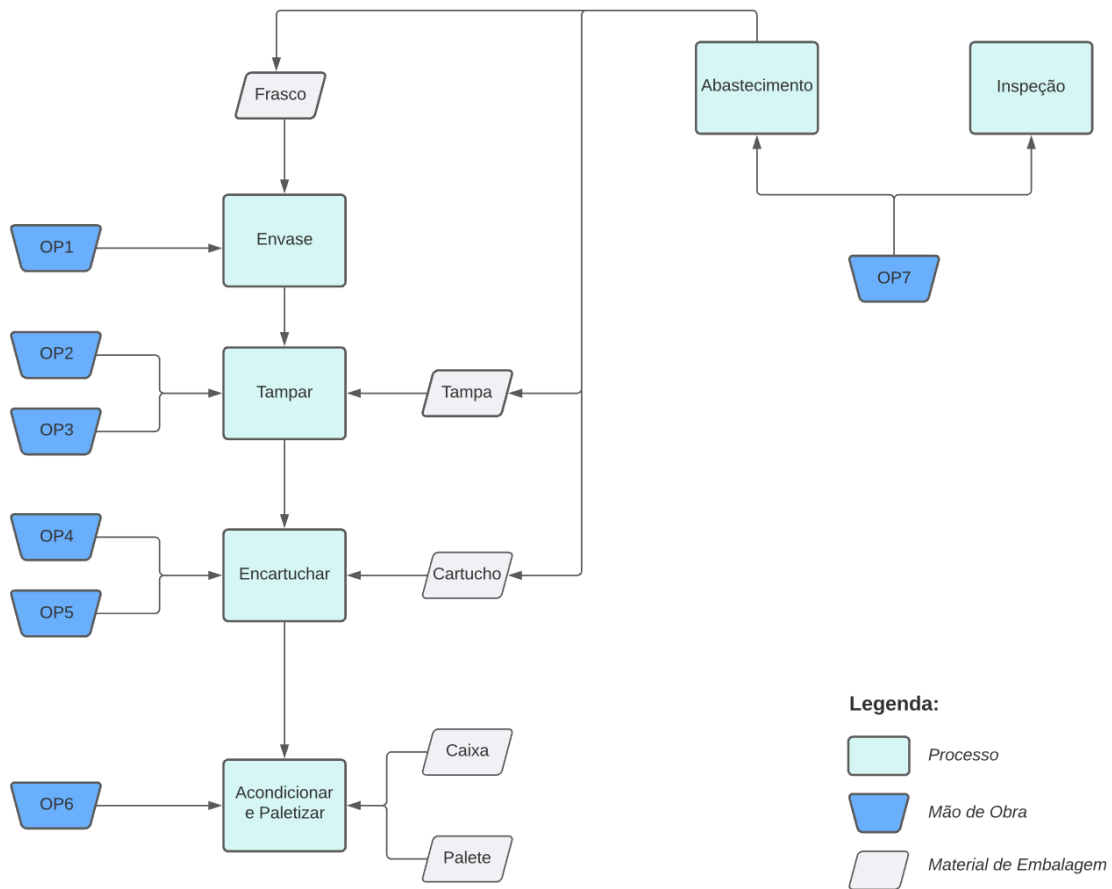
Utilizando apenas os elementos da realidade que são necessários para a resolução do problema em questão, a modelagem é desenvolvida com acuracidade para analisar a ocupação de cada posto da linha de produção mediante a todas as atividades que são realizadas neste posto de trabalho. Além disso, o sistema permite a utilização desses resultados para visualização geral de indicadores como utilização e ociosidade geral da linha de produção, identificação de gargalos e o tempo de ciclo do sistema.

4.3.3 Formulação do modelo conceitual

A etapa de formulação do modelo conceitual é de suma importância para o estudo de simulação. O mapeamento do processo tem o intuito de especificar a sequência lógica e pontos de decisão do processo e servir como referência para modelagem computacional. Essa boa prática auxilia na coleta de informações relevantes e baliza os esforços e tempos consumidos no desenvolvimento de um modelo de simulação.

A Figura 10 retrata as etapas lógicas sequenciadas do sistema e expressa os recursos que são utilizados em cada etapa de processamento, sendo eles Mão de Obra ou Material de Embalagem.

Figura 10: Modelo Conceitual



Fonte: Autoria Própria (2022)

No modelo, percebe-se que o processo é abastecido pelos insumos necessários para produção e a mão de obra se distribui dentro do processo de acordo com a necessidade da linha de produção.

4.3.4 Coleta de macro informações

Para entender o funcionamento do fluxo produtivo e todas as condições que operam no sistema, se fez necessário uma reunião com colaboradores da empresa. Durante a reunião definiu-se as informações que devem ser coletadas para alimentação do modelo computacional operar de maneira fiel ao cenário real. Informações como arranjo físico da linha de produção, disposição dos recursos, distâncias a serem percorridas e frequência das atividades são identificadas nesse momento. Define-se então que a taxa de chegada, número de recursos e tempo de processamento das atividades são informações que necessitam ser coletadas no local.

4.3.5 Coleta de dados

Após a análise do problema, formulação do modelo conceitual e coleta de macro informações, o próximo passo em direção otimização dos processos, alocação de recursos e redução de custos variáveis da empresa com o rebalanceamento das atividades de manufatura é a cronoanálise dos dados de entrada do modelo.

A cronoanálise é uma metodologia avançada que fundamenta-se na coleta e análise de tempos e movimentos operacionais. A metodologia aplicada consiste na filmagem, devidamente autorizada pela empresa, de todos os postos de trabalho e atividades associada à operação, a utilização do Kinovea como ferramenta, um software gratuito de detalhamento de vídeos e imagens, possibilita a identificação e cronometragem do tempo exato de cada movimento realizado pelo colaborador.

Sabendo-se que a qualificação do colaborador é um fator de grande influência no processo, as condições de coleta de tempos definidas foram:

1. Deve-se ao menos coletar dados de processamento de 4 operadores diferentes realizando a mesma atividade;
2. Dois operadores devem ser temporários e dois operadores devem ser efetivos;
3. A coleta deve ser feita, no mínimo, em dois turnos distintos.

Para utilização dos dados coletados é necessária avaliação imparcial dos resultados para análise do ritmo de trabalho. Define-se então pela equipe em conjunto com o time de Engenharia de Processos e de Saúde Ocupacional da empresa, a adição de uma margem de segurança de 10% dos dados coletados. Essa margem é inserida para garantir o trabalho operacional em boas condições ergonômicas.

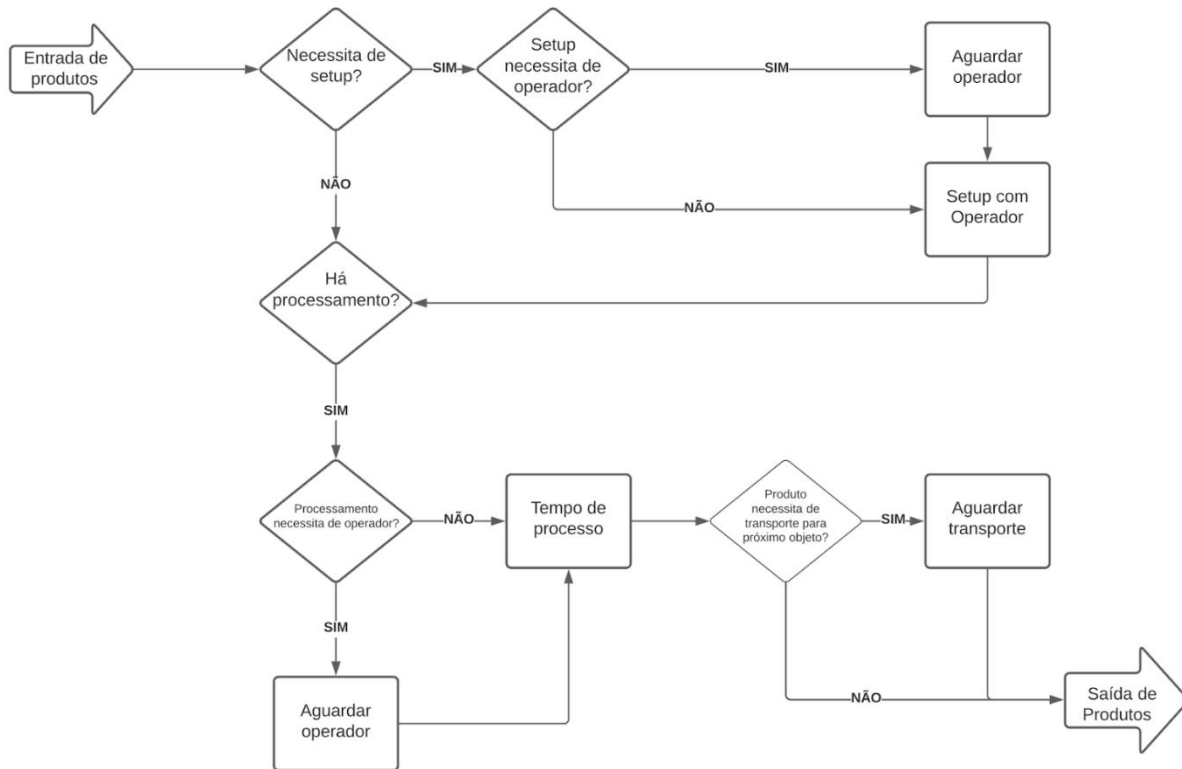
4.3.6 Tradução do modelo

Posteriormente à coleta de dados e análise dos resultados, há a construção do modelo. O início da construção do modelo, utilizando o FlexSim, é feito pela determinação das unidades de tempo e distância seguidos pela modelagem utilizando os objetos classificados abaixo:

1. Recursos fixos (objetos que enviam e/ou recebem itens do fluxo): fonte de chegada, processadores, filas e exterminadores.
2. Executores de tarefas (recursos móveis que executam tarefas atribuídas): operadores, paleteiras, etc.

A conexão gerenciada desses objetos define o comportamento do sistema, interagindo o processo com os produtos a serem processados. A Figura 11 explicita a lógica de cada processador ao receber um produto dentro do modelo computacional.

Figura 11: Lógica dos Eventos dos Objetos

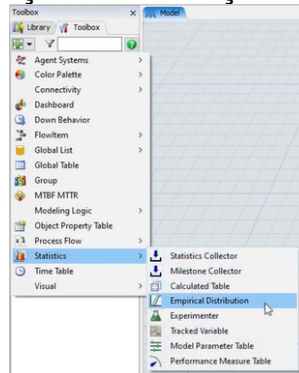


Fonte: Autoria Própria (2022)

Na sequência da construção do modelo há a inserção dos dados coletados e tratados. Para isso a equipe utilizou a inserção dos dados com a geração de uma probabilidade empírica, que relaciona o resultado de uma ocorrência em um evento e o número total de ensaios do experimento atual. Sinteticamente, a distribuição empírica utilizada afere as probabilidades das observações e utiliza-a como tempo de processamento do modelo.

Na versão atualizada de 2021 do FlexSim encontra-se, conforme a Figura 12, na área de estatística de dados, a ferramenta de distribuição empírica que impulsiona a amostragem de dados reais de maneira contínua ou discreta.

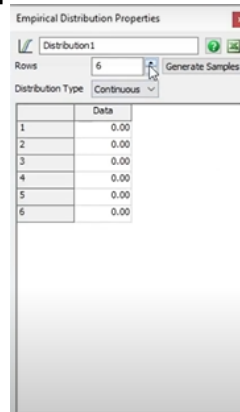
Figura 12: Localização da Distribuição Empírica no FlexSim



Fonte: Autoria Própria (2022)

A janela de propriedades da distribuição empírica representada na Figura 13 permite a nomeação da distribuição, a inserção da quantidade de linhas da tabela (tamanho da amostra) e a seleção do tipo de distribuição sendo elas discreta ou contínua. A distribuição discreta utiliza de maneira aleatória os dados da distribuição empírica para a simulação, já a distribuição contínua, a qual é utilizada no modelo em questão, traça uma curva com os dados inseridos no sistema e utiliza pontos da curva gerada como entradas.

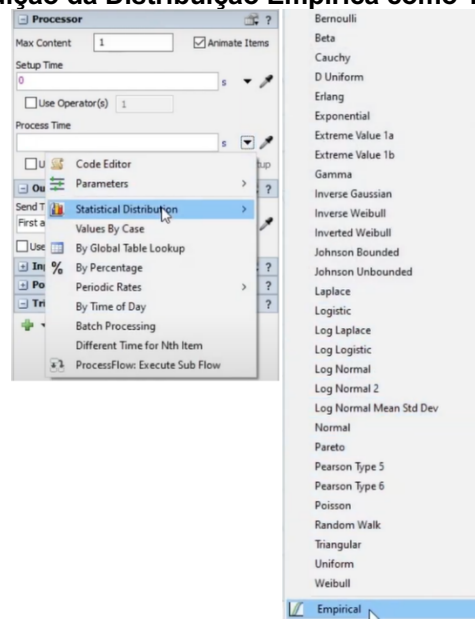
Figura 13: Propriedades da Distribuição Empírica



Fonte: Autoria Própria (2022)

Para a utilização dessa distribuição como tempo de processo é necessário seguir os passos apresentados na Figura 14, nela seleciona-se a distribuição empírica localizada no menu de distribuições estatísticas.

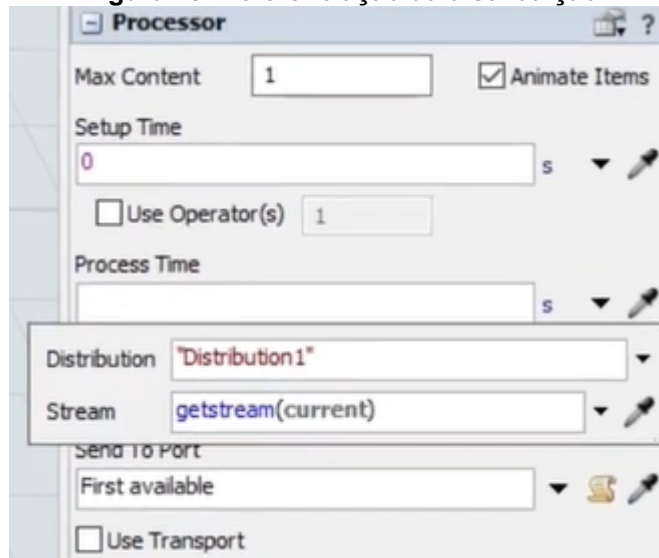
Figura 14: Atribuição da Distribuição Empírica como Tempo de Processo



Fonte: Autoria Própria (2022)

A Figura 15 mostra o passo seguinte à seleção da distribuição empírica como tempo de processo e para isso é necessário referenciar a distribuição de acordo com o nome dado para a distribuição em seu cadastro na ferramenta de distribuição empírica (Figura 13).

Figura 15: Referenciação da distribuição



Fonte: Autoria Própria (2022)

Após a coleta dos dados e construção do modelo, esse processo é feito para inserção dos dados coletados de cada posto de trabalho da linha de produção e segue-se para o próximo passo de validação e verificação do modelo.

4.3.7 Verificação e validação do modelo

A verificação modular e animação gráfica são utilizadas pela equipe para verificar a corretude do modelo. Ambas as metodologias são aplicadas durante a construção do modelo com intuito de eliminar todos os erros e garantir o comportamento similar ao sistema modelado.

Para validação do modelo, duas técnicas diferentes foram utilizadas, sendo elas:

- Acompanhamento com especialistas

A validação feita com acompanhamento de especialista de Engenharia de Processo da empresa compara o comportamento do sistema real com o comportamento do modelo desenvolvido, utilizando os mesmos parâmetros de taxa de chegada e tempos de processamento.

- Comparação de resultados com Gráfico de Yamazumi

A equipe de Engenharia de Processos da empresa em questão desenvolveu uma ferramenta de cronoanálise baseada no Gráfico de Yamazumi, que é um gráfico de barras empilhadas capaz de gerar a origem do tempo de ciclo do processo. A comparação dos resultados obtidos por essa ferramenta e os resultados do modelo computacional fazem parte da metodologia de validação do modelo computacional.

4.4 Análise dos resultados da simulação

Nesta seção é apresentado o cálculo do número de replicações, a análise dos resultados obtidos com a simulação e a comparação das alternativas propostas para a situação problema.

4.4.1 Replicações

Tratando-se de um sistema terminal em que as condições iniciais e o período simulado são fixos, replicações independentes são a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes (FREITAS FILHO, 2001). Determina-se a média e o desvio padrão das amostras das simulações de tempos de produção de itens que incluem os processos de envasar, tampar, encartuchar e acondicionar o produto.

Para determinar o número de replicações da simulação utilizou-se o que Freitas Filho (2001) chama de processo iterativo, sendo que inicialmente a simulação foi feita com 10 replicações piloto, sendo esse número determinado aleatoriamente. Conforme recomendação do autor, com os resultados obtidos para cada variável de interesse, aplicou-se a fórmula da nova estimativa para n (sendo n o número de replicações).

A nova estimativa n^* é determinada por Freitas Filho (2001) como:

$$n^* = \left[n \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Onde:

n^* = a nova estimativa para n

n = número de replicações já realizadas

h = semi-intervalo de confiança obtido

h^* = semi-intervalo de confiança desejado

Assumiu-se um nível de confiança de 95% e ao aplicar a fórmula percebeu-se que um número maior de replicações era necessário para que o resultado da simulação estivesse dentro do intervalo de confiança desejado. As variáveis de interesse resultaram em uma nova estimativa para n (n^*) no valor de 38 replicações.

Desta forma, a simulação foi executada novamente com 40 replicações e posteriormente, com os dados obtidos nas variáveis de interesse e o recálculo de n^* , certificou-se que a simulação com 40 replicações apresenta resultados dentro do intervalo de confiança determinado. Portanto, a análise dos resultados é feita com tal número de replicações independentes.

4.4.2 Experimentação e Análise de Resultados

Para a experimentação e análise de resultados, determina-se cinco variáveis de interesse para o entendimento do sistema de produção, sendo elas:

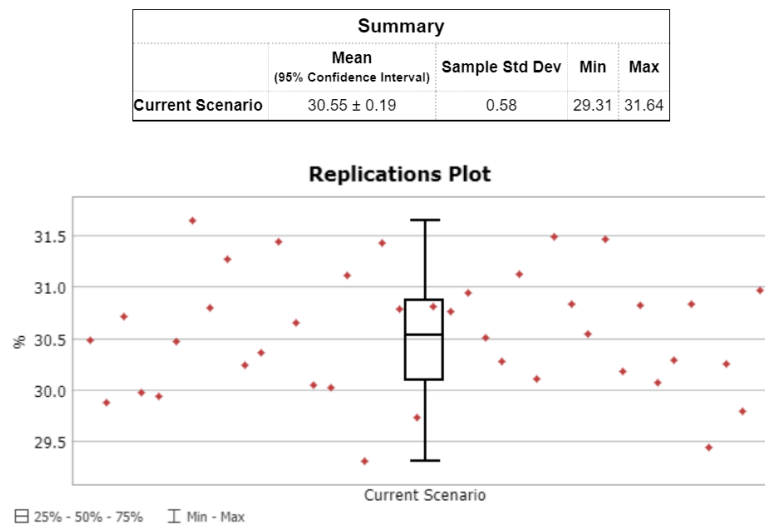
- Ociosidade geral dos colaboradores (percentual ocioso);
- Tamanho médio das filas (número de itens);
- Cadência do sistema (número de itens produzidos por hora);
- Tempo de permanência na fila (segundos);
- Percentual de Utilização dos colaboradores (percentual).

Esses indicadores conduzem à análise dos resultados obtidos. Os experimentos foram conduzidos considerando dois cenários, sendo o Cenário 1 a situação atual da linha e o Cenário 2 uma proposta de alteração. A simulação do cenário inicial (Cenário 1) da linha de produção de envase conta com 7 colaboradores, sendo eles distribuídos da seguinte forma: 1 no envase, 2 na tapagem, 2 no encartuchamento, 1 no acondicionamento e 1 no abastecimento da linha.

A ociosidade média no Cenário 1 é de 30,55%, como mostrado na Figura 16. Esse percentual não está dentro do desejado, considerando que os colaboradores passam em media 30% do tempo ociosos em seus postos de trabalho.

Figura 16: Ociosidade geral dos Colaboradores - Cenário 1

Ociosidade Geral dos Colaboradores



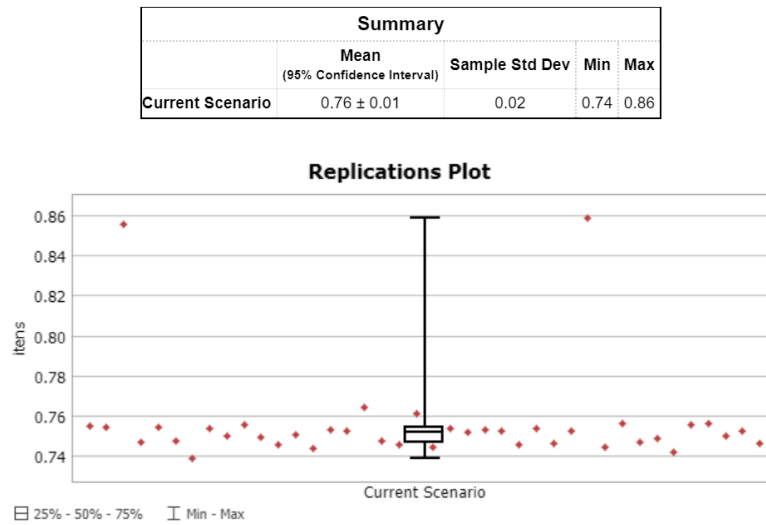
Fonte: Autoria Própria (2022)

O desvio padrão na ociosidade geral dos colaboradores no Cenário 1 é de 0,58%, enquanto o valor mínimo encontrado foi de 29,31%.

O tamanho médio das filas no Cenário 1 é de 0,76 itens, ou seja, o sistema não apresenta, em geral, grandes filas e está ocioso pois tem um valor menor do que 1, como evidencia a Figura 17. A inexistência de fila no sistema é um ponto de atenção, sendo que como os colaboradores estão ociosos, a ausência de fila evidencia que a linha de produção está operando com desbalanceamento nos postos de trabalho.

Figura 17: Tamanho médio das Filas - Cenário 1

Tamanho médio das filas



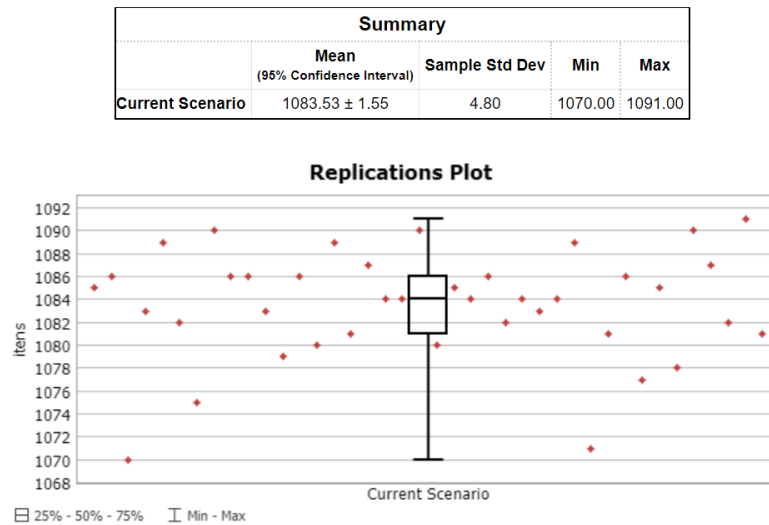
Fonte: Autoria própria (2022)

Ao analisar o gráfico percebe-se que a grande maioria dos resultados obtidos na simulação encontram-se entre 0,74 e 0,76 itens no tamanho médio da fila.

A cadência do sistema produtivo é de 1083,53 peças por hora, o que é demonstrado na Figura 18. A cadência do sistema é a quantidade de peças produzidas por hora, podendo ser analisada também como a capacidade produtiva do sistema.

Figura 18: Cadência do sistema - Cenário 1

Cadência do sistema



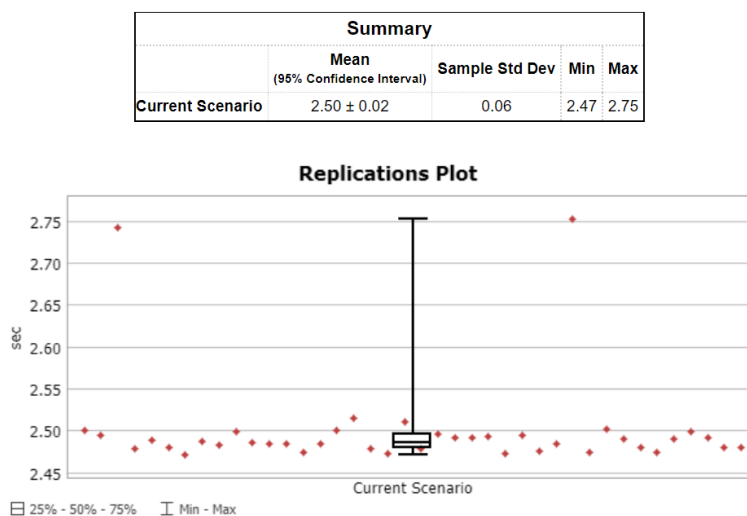
Fonte: Autoria própria (2022)

O máximo de peças produzidas no Cenário 1 são 1091 peças e o mínimo produzido é 1070 peças. O desvio padrão entre as replicações é de 4,8 peças.

O tempo médio de permanência na fila no Cenário 1 é de 2,5 segundos, como demonstra a Figura 19. Como o sistema está ocioso, o tempo que os produtos ficam em fila é muito baixo pois os colaboradores estão operando com uma capacidade inferior ao que o sistema poderia operar.

Figura 19: Tempo de Permanência na Fila - Cenário 1

Tempo permanência na fila



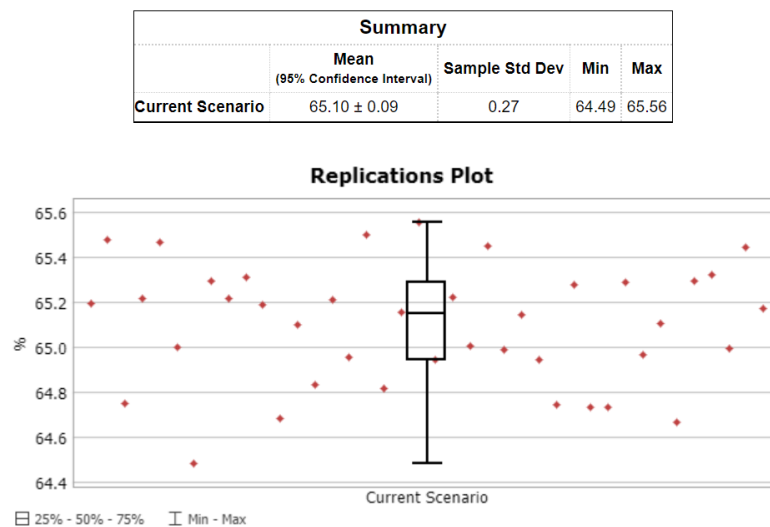
Fonte: Autoria própria (2022)

O tempo de permanência na fila no Cenário 1 apresenta resultados majoritariamente entre 2,53 e 2,45 segundos, a baixa variação entre as replicações resulta em um desvio padrão de 0,06 segundos.

E por fim, o percentual de utilização dos colaboradores no Cenário 1 é em média de 65,1%, demonstrado na Figura 20. A utilização dos colaboradores esta baixa, refletindo a ociosidade do sistema, e fortalecendo a ideia de que o sistema poderia operar de maneira melhor, utilizando os recursos que são disponibilizados para o mesmo de uma forma eficaz e com menos desperdícios.

Figura 20: Percentual de Utilização dos Colaboradores - Cenário 1

% de Utilização dos Colaboradores

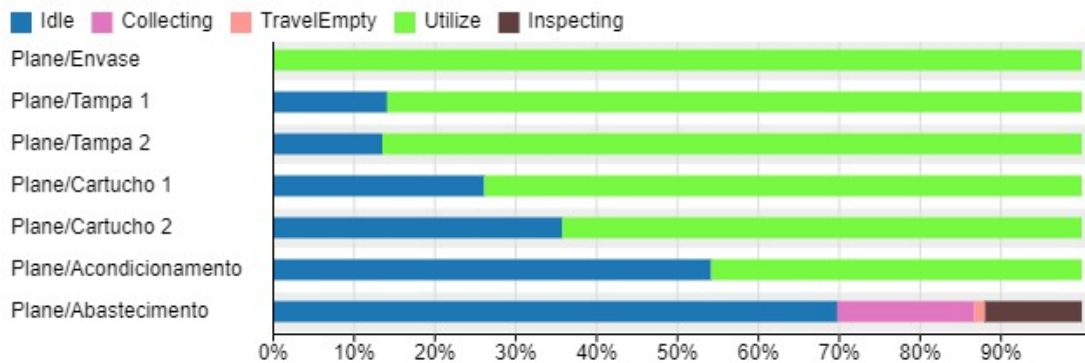


Fonte: Autoria própria (2022)

Ao analisar o Cenário 1 percebe-se um alto índice de ociosidade dos colaboradores e portanto, um baixo percentual de utilização dos mesmos. O tamanho médio e o tempo de permanência na fila fortalecem essa análise sendo que ambos indicadores apresentam valores baixos na simulação do Cenário 1.

Ao analisar o status do colaborador, apresentado na Figura 21, é possível perceber o quanto o sistema produtivo opera de maneira ociosa.

Figura 21: Status dos Colaboradores - Cenário 1
Status do Colaborador



Fonte: Autoria própria (2022)

Em verde temos a utilização de cada colaborador e em azul a ociosidade. As demais atividades (abastecimento, transporte e inspeção) estão em roxo, rosa e marrom, respectivamente. Percebe-se então que o colaborador responsável pelo abastecimento da linha está 70% do seu tempo ocioso e, com exceção dos colaboradores de envase e tapagem, todos os outros apresentam um índice considerável de ociosidade, o que caracteriza um desbalanceamento de linha.

Considerando os resultados obtidos no Cenário 1, o Cenário 2 é proposto de modo que a linha de produção de envase tem 6 colaboradores e não 7 como no cenário inicial. A nova distribuição dos colaboradores no sistema é a seguinte: 1 no envase, 2 na tapagem, 2 no encartuchamento e 1 no acondicionamento. O colaborador da sessão de acondicionamento passa agora a assumir a função de abastecimento, transporte e inspeção.

Para que o Cenário 2 seja executado, adiciona-se, ao fim do sistema, uma mesa acumuladora de itens (Figura 22), que dá flexibilização ao último posto de trabalho, possibilitando que o colaborador da área de acondicionamento desempenhe as atividades de abastecimento e transporte e inspeção sem que prejudique as demais atividades.

Figura 22: Exemplo de Mesa acumuladora

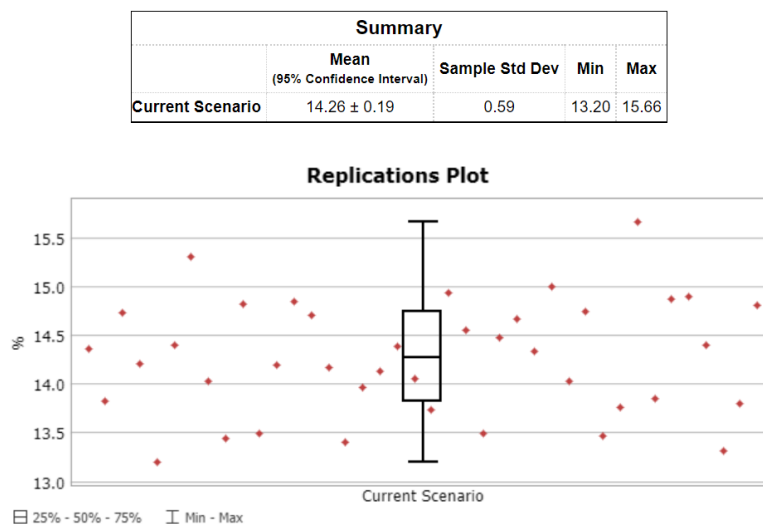


Fonte: Autoria própria (2022)

No Cenário 2 a ociosidade média dos colaboradores, de forma geral, diminuiu 30,55% (Cenário 1), e passou a ser de 14,26%, demonstrado na Figura 23. Com essa redução na ociosidade garante-se que o sistema esteja utilizando seus recursos de forma eficaz.

Figura 23: Ociosidade geral dos Colaboradores - Cenário 2

Ociosidade geral dos colaboradores



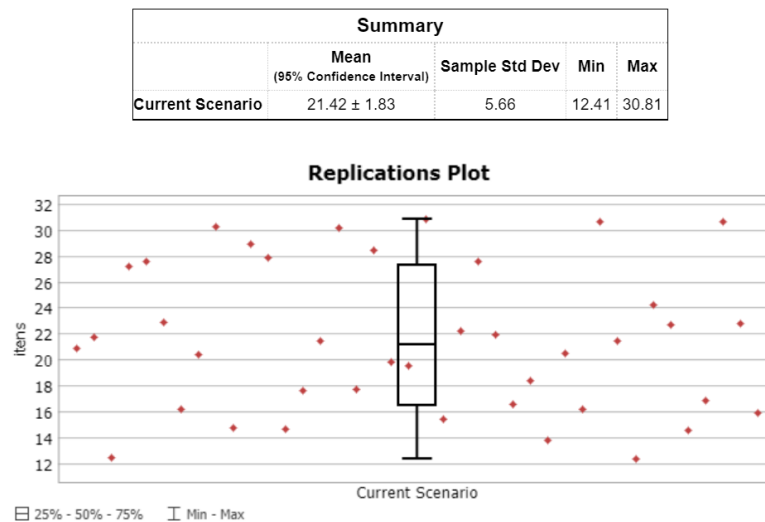
Fonte: Autoria própria (2022)

No Cenário 2, a ociosidade mínima dos colaboradores é de 13,2% enquanto a ociosidade máxima é de 15,66%. O desvio padrão entre as replicações da simulação é de 0,59%.

O tamanho médio da fila foi de 0,76 itens (Cenário 1) a 21,42 itens (Cenário 2), como mostra a Figura 24. O aumento da fila é reflexo da instalação da mesa giratória ao final do sistema produtivo, sendo que a mesa tem como função acumular os itens já finalizados, para que o operador responsável pelo último posto consiga contribuir com outras atividades na linha enquanto a mesa acumula os itens produzidos.

Figura 24: Tamanho médio das filas - Cenário 2

Tamanho médio das filas



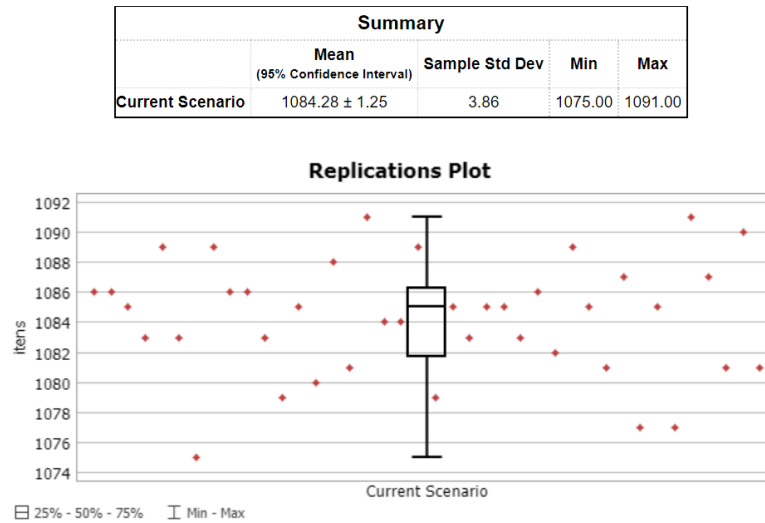
Fonte: Autoria própria (2022)

O aumento no tamanho da fila representa uma maior e melhor utilização dos colaboradores do processo, considerando que alguns postos de trabalho estavam ociosos no Cenário 1.

A cadência do sistema sofreu um leve aumento e passou a ser de 1084,28 itens por hora no Cenário 2, demonstrado na Figura 25. As alterações realizadas no Cenário 2 não impactaram a cadencia do sistema, ou seja, o sistema continua produzindo a mesma quantidade de itens que produzia quando tinha um colaborador a mais na operação. Esse resultado é muito significativo, pois além de usar de maneira ótima os recursos do sistema, a simulação tem como objetivo manter ou até melhorar a capacidade produtiva do sistema de produção.

Figura 25: Cadência do Sistema - Cenário 2

Cadência do sistema



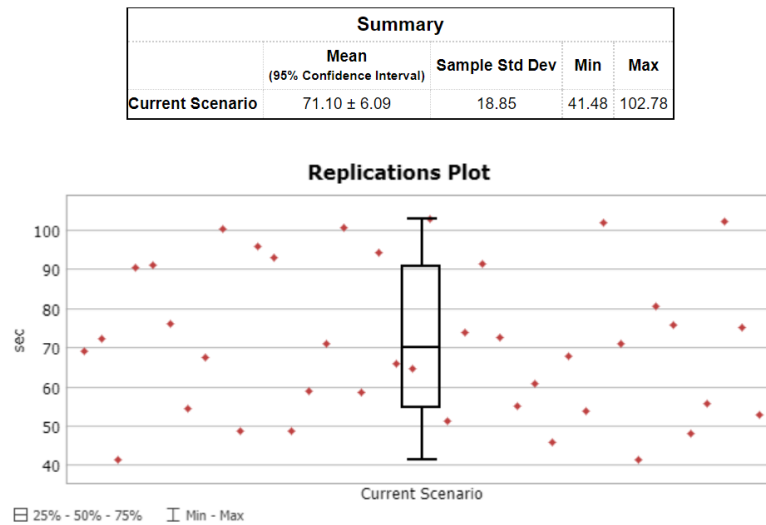
Fonte: Autoria própria (2022)

O número máximo de itens produzidos nas replicações da simulação foi de 1091 itens enquanto o número mínimo produzido foi 1075 itens.

O tempo de permanência na fila também sofreu um aumento no Cenário 2 e passou de 2,5 segundos para 71,1 segundos, como mostra a Figura 26. O aumento do tempo de permanência também se justifica pela inserção da mesa giratória, sendo que a mesa acumula os itens, logo eles ficam por mais tempos parados na produção. Importante destacar que o acúmulo dos produtos na última etapa do processo traz maior flexibilidade ao operador, e desta forma é possível que o mesmo atue em outras atividades antes exercidas pelo colaborador retirado da linha.

Figura 26: Tempo de Permanência na fila - Cenário 2

Tempo permanência na fila

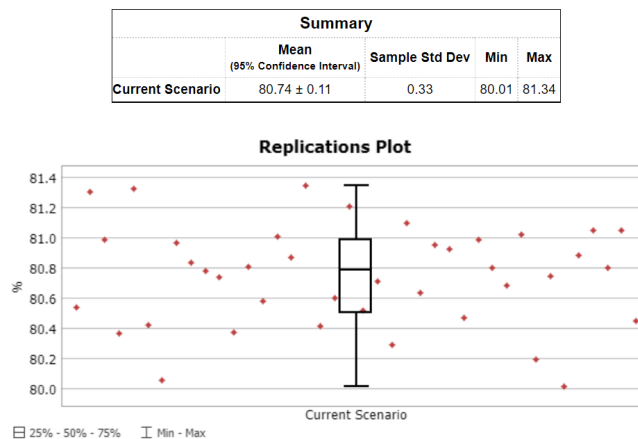
**Fonte: Autoria própria (2022)**

Comparando com as demais variáveis de interesse, o tempo de permanência na fila apresenta resultados que variam mais a cada replicação, o que resulta em um desvio padrão de 18,85 segundos.

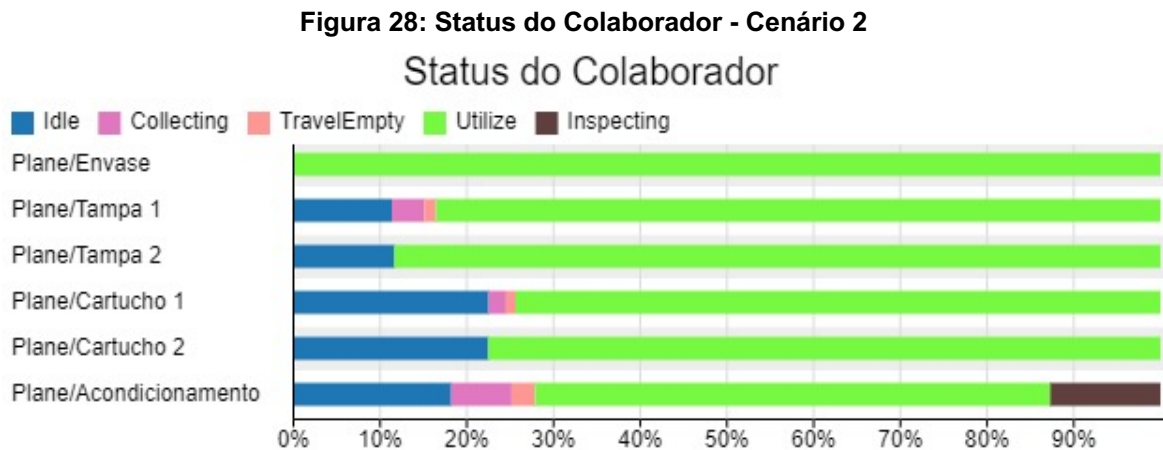
E por fim a utilização dos colaboradores passou a ser maior no Cenário 2, tendo um índice de em média 80,74%, como mostra a Figura 27. O aumento na utilização dos colaboradores demonstra que a linha opera no Cenário 2 de maneira mais eficaz que o Cenário 1, reduzindo em 15% de desperdício de recursos do sistema produtivo.

Figura 27: Percentual de Utilização dos Colaboradores - Cenário 2

% de Utilização dos Colaboradores

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Com as alterações propostas para o Cenário 2, percebe-se nos resultados obtidos uma otimização da utilização dos colaboradores o que indica um melhor aproveitamento dos recursos produtivos além de reduzir as atividades que não agregam valor ao produto balanceando a linha de produção. Na Figura 28, é apresentado o status do colaborador no Cenário 2.



Fonte: Autoria própria (2022)

Em comparação com o Cenário 1, o índice de ociosidade reduziu consideravelmente apresentando agora uma alta ocupação dos colaboradores e um melhor aproveitamento do sistema.

4.4.3 Comparação das Alternativas

A simulação dos Cenários 1 e 2 permite uma comparação de possibilidades no sistema estudado visto que os cenários apresentam diferentes características e os seus respectivos resultados da simulação viabilizam mudanças e melhorias no sistema produtivo.

Na Figura 29 temos a comparação dos resultados de cada variável de interesse determinada neste estudo.

Figura 29: Comparação dos Resultados Obtidos na Simulação

	Cenário 1	Cenário 2
Ociosidade Geral dos Colaboradores	30,55%	14,26%
Tamanho Médio de Fila (segundos)	0,76	21,42
Cadência do Sistema (unidades de produtos)	1083,5	1084,3
Tempo de Permanência na Fila (segundos)	2,5	71,1
Percentual de Utilização dos Colaboradores	65,10%	80,74%

Fonte: Aatoria própria (2022)

A redução da ociosidade junto ao aumento da utilização dos colaboradores refletem um melhor desempenho da linha de produção, dado que com um colaborador a menos, a companhia reduz custos de produção e balanceia a linha de maneira efetiva, usando seus recursos de maneira ótima e otimizando a dinâmica de trabalho. Destaca-se que mesmo com a redução de um colaborador a cadência do sistema não decaiu.

O aumento no tamanho médio e no tempo de permanência da fila não são fatores prejudiciais ao sistema produtivo neste caso, visto que com o fim do posto de trabalho de “abastecimento” (uma atividade que não agrega valor ao produto), o acúmulo ou a fila gerada na mesa giratória ao final da linha de produção possibilita uma melhor utilização do sistema e não um gargalo na produção.

As Figuras 30 e 31 demonstram, respectivamente, *layouts* da linha de envase, antes e depois da modificação proposta. A diferença visual entre ambos os cenários mostram um colaborador adicional no Cenário 1 e a mesa giratória ao final da linha de produção no Cenário 2.

Figura 30: Representação Gráfica do Cenário 1

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 31: Representação Gráfica do Cenário 2

Fonte: Autoria própria (2022)

4.4.4 Testes Pilotos

Os resultados obtidos na simulação são apresentados aos engenheiros de processo e coordenadores da fábrica para que os mesmos possibilitem a operação do projeto assim como as alterações sugeridas no Cenário 2 para implementação das melhorias propostas.

Após aprovação, a empresa disponibiliza o equipamento necessário (mesa giratória) para a implementação do projeto. Os ajustes e adaptações necessárias para a inserção da máquina são conduzidas por eles e assim é possível comprovar as melhorias obtidas na simulação, mas agora na prática, dentro do ambiente fabril.

As consequências positivas das melhorias obtidas poderiam ser melhor exploradas. Este estudo focou na solução possibilitada com inserção da mesa giratória no sistema de produção, portanto outros cenários não foram testados.

5 CONCLUSÃO

A simulação aplicada em sistemas produtivos é uma possibilidade de entendimento do sistema muito eficaz, considerando que a simulação permite a testagem de diversos cenários de um mesmo sistema sem que haja interferência na produção, ou seja, é possível estudar a linha sem a necessidade de interromper a produção.

O estudo desenvolvido nesse trabalho permitiu a análise ampla de um sistema que, até então, parecia perfeito. Porém, com uso da simulação e a testagem de novas configurações da linha, foi possível certificar-se que melhorias poderiam ser feitas no processo, trazendo ganhos significativos para corporação.

A comprovação na prática da melhoria proposta no Cenário 2 desta pesquisa com a inserção da mesa acumuladora na linha de produção estudada foi o resultado efetivo deste trabalho, cumprindo assim o objetivo geral do mesmo de propor melhorias na linha de envase a partir da aplicação de técnicas de modelagem e simulação discreta.

Os objetivos específicos também foram atingidos, sendo que este trabalho foi pautado em uma revisão bibliográfica sobre Sistemas Produtivos e Simulação, além da compreensão do funcionamento da linha de envase e, a aplicação e desenvolvimento de um modelo de simulação na linha, para que desta forma fosse possível propor soluções que alavancassem o desempenho do sistema estudado.

Inúmeros podem ser os ganhos ao utilizar a tecnologia na resolução de problemas físicos, e isso se aplica não só ao ambiente fabril mas também a outras necessidades da sociedade. A simulação é uma ferramenta com aplicabilidade ampla, possuindo assim um considerável poder de impacto se aplicada a problemas físicos que possam trazer consequências aos sistemas aos quais estão inseridos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, João Flávio de Freitas. **SIMULAÇÃO POR EVENTOS DISCRETOS: Teoria & prática**. Universidade Federal do Pampa. Bambuí, 2016. 55 p. Disponível em: <http://cursos.unipampa.edu.br/cursos/engenhariadeproducao/files/2016/08/apostila-sim-simulacao-por-eventos-discretos.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2021.

ALVAREZ, R. dos R.; JR, J. A. V. A. **Takt-Time: Conceitos e Contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.**, p7, Gestão & Produção, 2001.

BANKS, Jerry *et al.* **Discrete-event System Simulation**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2010. 625 p.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. **Operations management research methodologies using quantitative modeling**. *International Journal of Operations & Production Management*, 2002.

CAUCHICK, P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Barueri: Grupo GEN, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595153561/>. Acesso em: 2021 ago. 12.

CHWIF, LEONARDO; MEDINA, AFONSO CELSO. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Afonso C. Medina, f. 160, 2007. 320 p.

DEMBOGURSKI, R. A.; OLIVEIRA M. de; NEUMANN C. **Balanceamento de Linha de Produção**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, 2008.

DH GATE. **Frasco de batom**. 2021. Disponível em: <https://pt.dhgate.com/>. Acesso em: 01 de jun. 2022.

FESTUGATTO, J. R.; BRAMBILLA, N.; FOLLMANN, A. F.; OLIVEIRA, G. A. **Aplicação da metodologia de balanceamentos de linhas na empresa Atlas Eletrodomésticos Ltda**. XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 41 Fortaleza, 2006.

FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena**. Visual Books, 2001.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 9. ed. McGraw Hill Brasil, f. 503, 2013. 1006 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/cfi/9261/4/4@0.00:29.0>. Acesso em: 16 jul. 2021.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall; ZUPICK, Nancy. **Simulation with Arena**. 6. ed. New : McGraw-Hill Education, f. 328, 2014. 656 p.

LOBO, R. N.; SILVA, D.L. D. **Planejamento e Controle da Produção**. Editora Saraiva, 2014. 9788536513287. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536513287/>. Acesso em: 2021 ago. 23.

LUSTOSA, Leonardo Junqueira; DE MESQUITA, Marco Aurélio; OLIVEIRA, RODRIGO J. **Planejamento e controle da produção**. Elsevier Brasil, 2008.

RANGEL, Cíntia de Lima ; DO NASCIMENTO, Janaina Ribeiro; RANGEL, Joao Jose de Assis . **Uma abordagem para construção de modelos de simulação a eventos discretos para aplicação como um recurso didático**. Portal de Periódicos Científicos UFRGS. 26 p. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/viewFile/48192/34143>. Acesso em: 18 jul. 2021.

ROCHA, D. R. **Balanceamento de Linha – Um enfoque Simplificado**. 2005

SASSI JUNIOR, Ilson Antonio. **Balanceamento de linha estudo de caso para otimização de recursos em uma linha de produção**. 2012. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2012.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Editora Atlas Ltda., f. 95, 2008. 190 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013726/>. Acesso em: 16 jul. 2021..

STEEL HORSE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS. **Produtos**. BM Web Design. 2021. Disponível em: <https://www.steelhorse.ind.br/>. Acesso em: 01 de jun. 2022.