

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

WESLEE LUIZ DE LIMA PINTO

**APLICAÇÃO DO FLEXSIM EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA
DE INJEÇÃO PLÁSTICA NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: propostas de
melhorias e análise de desempenho.**

**MANAUS
2025**

WESLEE LUIZ DE LIMA PINTO

**APLICAÇÃO DO FLEXSIM EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA
DE INJEÇÃO PLÁSTICA NO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: propostas de
melhorias e análise de desempenho.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Produção da Escola Superior de
Tecnologia da Universidade do Estado do
Amazonas, como parte dos requisitos
para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção

Orientadora: Profa. Dra. Renata da
Encarnação Onety.

**MANAUS
2025**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

P659a

Pinto, Weslee Luiz de Lima

Aplicação do flexsim em uma linha de produção de uma empresa de injeção plástica : proposta de melhoria e análise de desempenho / Weslee Luiz de Lima Pinto . Manaus : [s.n], 2025.

50 f.: color.; 21,0 cm.

TCC - Graduação em Engenharia de Produção- Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025.

Orientador: Onety, Renata da Encarnação.

1. Flexsim. 2. Linha de produção. 3. injeção plástica. 4. Simulação.
I. Onety, Renata da Encarnação (Orient.) II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Título

CDU(1997)658.5

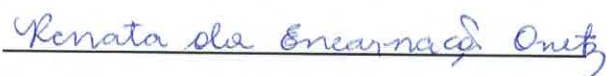
WESLEE LUIZ DE LIMA PINTO

**APLICAÇÃO DO FLEXSIM EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE UMA EMPRESA
INJEÇÃO PLÁSTICA: proposta de melhoria e análise de desempenho.**

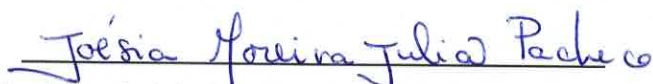
Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 10 de junho de 2025.

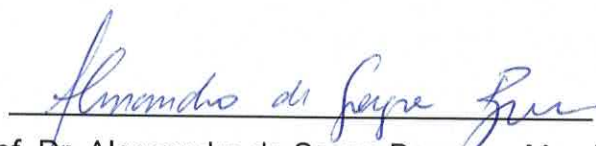
Banca examinadora:



Profa. Dra. Renata da Encarnação Onety – Orientadora
Universidade do Estado do Amazonas



Profa. Dra. Joésia Moreira Julião Pacheco - Membro
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Dr. Alessandro de Souza Bezerra - Membro
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar aonde cheguei, por ter me dado forças e motivação para estar aqui, não tem como mencionar o suporte da minha família, que sempre me incentivou a estudar e a nunca desistir, oferecendo todo suporte necessário e sempre acreditando em mim. Em especial a minha mãe, que sempre me mostrou que o melhor caminho sempre será a educação, que passou várias noites em claro trabalhando para que eu pudesse estudar da melhor forma. Agradeço à minha orientadora e professores pela valiosa contribuição não somente no âmbito acadêmico, mas no profissional também.

Quero agradecer a Brenda Serrão Braga, meu grande amor, por toda ajuda, que mesmo nos momentos difíceis ela sempre respeitou o meu espaço e me motivava a fazer o meu TCC.

Se você tem a capacidade de fazer o extraordinário, por que se contentar com o ordinário ?

RESUMO

A simulação computacional apresenta-se como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão, ao possibilitar a avaliação de diferentes hipóteses em ambiente virtual, sem a necessidade de alterações no processo real. Neste trabalho, utilizou-se o *FlexSim*, um *software* de modelagem e simulação, para representar uma linha de produção de uma empresa do setor de injeção plástica voltada à fabricação de peças para terceiros. A peça analisada corresponde ao gabinete frontal de uma máquina de passar cartão, destacando-se por apresentar o maior ciclo de produção entre os componentes do conjunto, o que gerava insatisfação por parte do cliente. Com o objetivo de atender à demanda, foi desenvolvido um estudo para reestruturar a linha de produção, propondo a semi-automação de dois postos e a eliminação do posto de fixação da serrilha, componente que atua como uma lâmina dentada utilizada no corte de papel, que passará a ser injetada diretamente na peça. Os resultados da simulação mostraram-se satisfatórios; entretanto, recomenda-se a análise da viabilidade do projeto, pois, além da necessidade de modificação do molde de injeção, limitações tecnológicas podem comprometer a aplicação da melhoria.

Palavras chave: *Flexsim*; Simulação; Linha de produção; injeção plástica.

ABSTRACT

Computer simulation presents itself as a support tool for decision-making by enabling the evaluation of different hypotheses in a virtual environment, without the need for changes in the real process. In this study, FlexSim, a modeling and simulation software, was used to represent a production line of a company in the plastic injection sector focused on manufacturing parts for third parties. The analyzed part corresponds to the front housing of a card-punching machine, standing out for having the longest production cycle among the components of the set, which led to customer dissatisfaction. In order to meet demand, a study was developed to restructure the production line by proposing the semi-automation of two workstations and the elimination of the serration fixation station, a component that acts as a serrated blade used for cutting paper, which will be directly injected into the part. The simulation results proved satisfactory; however, a feasibility analysis of the project is recommended, as in addition to the need to modify the injection mold, technological limitations may hinder the implementation of the improvement.

Keywords: FlexSim; Simulation; Production line; Plastic injection

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Máquina injetora.....	17
Figura 2 - Fluxo de um processo de modelagem e simulação.....	21
Figura 3 - Bancada para cravamento manual de insertos.....	27
Figura 4 - Cravamento manual de insertos.....	28
Figura 5 - Remanche da serrilha.....	28
Figura 6 - Montagem das espumas de proteção.....	29
Figura 7 - Serrilha incorporada na peça.....	30
Figura 8 - Modelo conceitual atual.....	31
Figura 9 - Modelo conceitual proposto.....	32
Figura 10 - Cenário atual no Flexsim.....	37
Figura 11 - Cenário com a implementação da proposta da melhoria.....	38
Figura 12 - Status do processo atual.....	39
Figura 13 - Status do processo com o cenário proposto.....	41
Figura 14 - Comparação de ociosidade entre o cenário atual e o proposto.....	42
Figura 15 - Comparação entre ocupação do cenário atual e o proposto.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos medidos no posto 1.....	33
Tabela 2 - Tempos de setup do posto 1.....	34
Tabela 3 - Ciclo do posto com as máquinas semi-automáticas.....	34
Tabela 4 - Distribuição estatística do processo.....	35
Tabela 5 - Resultado detalhado do processo atual.....	40
Tabela 6 - Resultados detalhados do cenário proposto.....	42
Tabela 7 - Comparação do resultado entre os cenários.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA.....	13
1.2	HIPÓTESE.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	13
1.4	OBJETIVOS.....	14
1.4.1	Objetivo geral	14
1.4.2	Objetivos específicos	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA.....	16
2.2	CRONOANÁLISE.....	17
2.3	MAPEAMENTO DE PROCESSOS COM BPMN.....	18
2.4	MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	18
2.4.1	Modelo de simulação	19
2.4.2	Modelagem do estado atual (AS IS) e o proposto (TO BE)	20
2.4.3	Fluxo de um processo de modelagem	21
2.5	FLEXSIM.....	22
2.6	ESTADO DA ARTE.....	23
3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	26
3.1	DESCRIÇÃO DO CENÁRIO ATUAL.....	26
3.2	DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO.....	29
3.3	MODELO CONCEITUAL.....	30
3.4	COLETA DE DADOS.....	33
3.5	TRATAMENTO DE DADOS.....	35
3.6	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....	35
3.7	MODELAGEM.....	36
3.7.1	Simulação do cenário atual	36

3.7.1.1 Validação da simulação.....	37
3.7.2 Simulação do cenário proposto.....	38
4 RESULTADOS.....	39
4.1 CENÁRIO ATUAL.....	39
4.2 CENÁRIO PROPOSTO.....	41
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS.....	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A busca por eficiência impulsiona as empresas a investirem cada vez mais em novas tecnologias que auxiliem na tomada de decisões. Nesse contexto, a modelagem e a simulação surgem como ferramentas indispensáveis para a análise e otimização de processos, permitindo identificar gargalos, testar melhorias e obter estimativas de desempenho ao realizar mudanças no processo..

Desse modo, a simulação permite reproduzir o cenário atual em um ambiente virtual e testar diferentes contextos, o que possibilita a verificação de hipóteses antes de implementá-las. Também é possível fazer mudanças no *layout* sem precisar parar a produção, além de possibilitar a adaptação de indicadores de desempenho, onde, através deles, será possível estudar o impacto ao implementar melhorias. No entanto, é importante destacar que a simulação só funciona com base nos dados que são inseridos nela. Dessa forma, é essencial que os dados sejam corretamente coletados, organizados e validados, para que os resultados fiquem o mais próximo do cenário real.

Diante disso, o item analisado neste trabalho é fabricado por uma empresa que atua no segmento de injeção de peças plásticas para terceiros e conta com três etapas principais: injeção (fase inicial), semiacabamento (fase intermediária, onde são realizadas gravações ou inserção de componentes) e acabamento (fase final, em que os últimos componentes são montados antes do envio das peças).

O foco deste estudo é a parte frontal de uma máquina de passar cartão, montada em uma linha com cinco postos de trabalho. Durante a análise do processo, foi identificado um desbalanceamento na linha, causado pela utilização inadequada do tempo, o que gera gargalos.

Como resposta a esse problema, a empresa estuda a proposta da semi-automação de dois postos responsáveis pelo cravamento de insertos - parafusos com dimensões pequenas - e a eliminação de um posto destinado à fixação da serrilha - serra dentada usada para cortar o papel da impressão - uma vez que o molde de injeção seria modificado para injetar o componente diretamente na peça.

Para avaliar os impactos dessa mudança, foi coletado *in loco* os tempos de produção em cada posto. Os dados coletados foram utilizados para desenvolver um

ambiente virtual no *software FlexSim*, uma ferramenta de modelagem e simulação de linhas de produção.

Portanto, o modelo virtual serviu como referência para a elaboração e teste do cenário da proposta de melhoria no ambiente virtual. A fim de analisar o efeito das modificações citadas anteriormente, os resultados de ambos os cenários foram comparados.

1.1 PROBLEMA

Será estudado o gabinete frontal, que é uma das cinco partes que compõem uma máquina de passar cartão. Este componente envolve operações manuais que podem gerar retrabalho e, conseqüentemente, aumento de custos de produção. Além disso, devido a má utilização do ferro de solda muitas dessas peças podem estar avariadas com danos irreversíveis, o que gera a necessidade de produzir novas peças para atender à demanda.

Outra problemática se encontra na montagem de um dos componentes do gabinete, que atualmente depende de um equipamento de fixação. O ciclo alto, somado à necessidade de fabricar novas peças em decorrência de avarias, contribui para atrasos na entrega das cinco partes que compõem a máquina. Todavia, há a possibilidade de realizar modificações, no processo de fabricação, que eliminem a necessidade dessa etapa de montagem.

Dessa forma, este trabalho pretende responder à seguinte questão: Quais são os impactos da semi-automatização de dois postos e da eliminação de um posto de trabalho em uma linha de produção?

1.2 HIPÓTESE

A eliminação de um posto e a semi-automatização de dois outros devem aumentar a eficiência e diminuir a ociosidade em uma linha de produção.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O gabinete frontal é uma das cinco partes de uma máquina de passar cartão, sendo ele uma das que possuem o maior ciclo de produção dentre as demais, por

conta desse desbalanceamento, a empresa optou por estudar e analisar a possibilidade de uma reformulação completa da linha de produção.

A automação e a padronização de processos são metas estratégicas para empresas que visam à produtividade. No entanto, é necessário realizar um estudo aprofundado antes de implementar melhorias ou alterar processos, pois mudanças não planejadas podem não apresentar o resultado esperado, seja em ganho de produtividade ou retorno financeiro. Portanto, através da modelagem e simulação, é possível realizar um estudo no ambiente virtual, a fim de reduzir os impactos no processo ao implementar as hipóteses de melhoria.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 **Objetivo geral**

Analisar, por meio de simulação e modelagem, os impactos operacionais decorrentes da substituição do processo manual por um sistema semi-automático em dois postos de montagem de componentes e da eliminação de um posto de fixação da serrilha em uma linha de produção industrial.

1.4.2 **Objetivos específicos**

- a) Mapear o fluxo de produção;
- b) Validar o modelo conceitual;
- c) Coletar e validar os tempos de execução das atividades em cada posto de trabalho;
- d) Realizar a simulação do cenário atual e da proposta de melhoria;
- e) Comparar os resultados da hipótese de melhoria com o processo atual;

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 seções, onde, a 1° seção apresenta uma introdução sobre o objetivo do estudo, a problemática encontrada, os objetivos e a justificativa da pesquisa.

A 2° seção apresenta a fundamentação teórica, na qual são explorados os conceitos de modelagem e simulação, notação BPMN, cronoanálise, processo de injeção plástica e o *FlexSim*. Esses conceitos servem de base para a 3° seção,

denominado procedimento metodológico, em que são descritas a elaboração e validação do modelo conceitual, o método de coleta de dados e a análise dos tempos de ciclo obtidos. Esses dados foram empregados na construção do cenário simulado no *FlexSim*.

Com base na metodologia aplicada, a 4° seção opera de forma complementar, analisando e comparando os resultados da simulação, a 5° seção aborda as considerações finais da simulação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, será desenvolvida a fundamentação teórica que sustenta este trabalho e os principais conceitos relacionados ao seu desenvolvimento. São apresentados temas como o processo de injeção plástica, cronoanálise e o mapeamento de processos por meio da notação BPMN (*Business Process Model and Notation*).

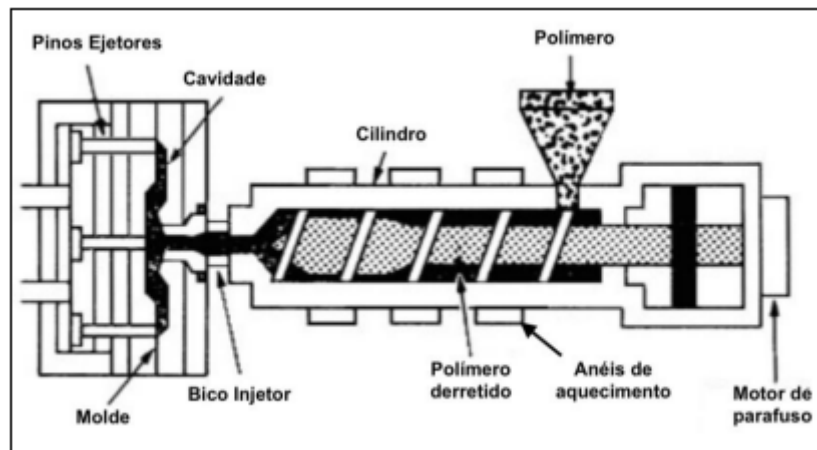
Além disso, serão apresentados os fundamentos de modelagem e simulação, incluindo a construção de cenários futuros e o uso de ferramentas específicas, com destaque para o *FlexSim*, *software* dedicado à modelagem e simulação, utilizado como principal ferramenta neste estudo. Por fim, serão discutidos os estudos relevantes da área, com o intuito de contextualizar os métodos utilizados para o aprimoramento da eficiência produtiva.

2.1 PROCESSO DE INJEÇÃO PLÁSTICA

O processo de injeção plástica ocorre quando um polímero é aquecido até o estado de fluido e injetado em uma cavidade que determina o formato da peça (Granada, 2012). A Figura 1, a seguir, ilustra o funcionamento básico de uma máquina de injeção plástica. Inicialmente, os polímeros são colocados no funil de alimentação que, em seguida, caem no cilindro de injeção. Através dos anéis de aquecimento e do movimento de atrito das roscas, o material se torna fluido. Ao atingir o estado necessário, o movimento rotativo para e a rosca atua como um pistão, que empurra a resina para o molde.

Posteriormente, ocorre a compressão, na qual o molde é completamente fechado e faz com que a resina preencha completamente a cavidade do molde através do bico injetor. Como consequência, toda a cavidade é preenchida, a movimentação molecular é reduzida e originam-se peças com uma menor tensão residual, ou seja, peças com menor propensão à deformação. Ao final do processo, o molde é aberto e a peça solidificada é removida através dos pinos extratores. Após isso, reinicia-se o ciclo. (Kiam; Pereira, 2006).

Figura 1 - Máquina injetora



Fonte: Anole, 2017.

2.2 CRONOANÁLISE

Segundo Monteguitti (2021), a cronoanálise é uma importante ferramenta de análise do tempo necessário para a produção de um item, com foco em examinar cada etapa do processo e destrinchar os tempos produtivos e não produtivos. Dessa maneira, é possível avaliar os tempos de produção e balancear as linhas a partir da transferência de atividades dos colaboradores sobrecarregados para postos menos exaustivos, além de eliminar atividades desnecessárias. Assim, aumenta-se a produtividade sem comprometer a qualidade do produto e a saúde dos trabalhadores.

Lopes (2015) afirma que foi a partir dos estudos de Frederick Taylor e Frank Gilbreth que surgiram os primeiros passos da cronoanálise. Taylor defendia o estudo do tempo e acreditava que, ao cronometrar e analisar o tempo de produção, era possível encontrar a melhor forma de executar as atividades. Além disso, as tarefas passaram a ser padronizadas com um operador responsável por uma única função. Esse enfoque contribuiu para o surgimento de diversas melhorias, como a padronização do trabalho, a redução do número de colaboradores, a melhor mensuração da capacidade produtiva e a redução de custos.

Por sua vez, segundo Vieira (2016), o casal Frank Bunker Gilbreth e Lillian Moller Gilbreth aprofundou os estudos sobre tempos e movimentos. Eles observaram que, em uma indústria, grande parte dos colaboradores realizava movimentos desnecessários nas linhas de produção. Após conduzir experimentos,

notaram que diversas atividades não agregavam valor ao trabalho. Embora não fosse possível eliminar completamente essas atividades, eles conseguiram reduzi-las significativamente, o que resultou em um grande aumento da produtividade. Dessa forma, ambos defendiam a necessidade de um intervalo fixo de descanso durante o trabalho, pois isso possibilitaria a redução da fadiga e do cansaço, além de promover a recuperação dos colaboradores.

2.3 MAPEAMENTO DE PROCESSOS COM BPMN

Nascimento *et al.* (2024) explica que BPMN (Modelo e Notação de Processos de Negócio) é uma notação gráfica representada por símbolos padronizados e é uma parte fundamental da BPM (Gerenciamento de Projetos de Negócios). Enquanto o BPM trata de gerir, melhorar, analisar e monitorar processos completos, o BPMN é a representação visual do processo, na qual são incluídos todos os setores envolvidos no desenvolvimento da cadeia produtiva.

Pizza (2012) argumenta que o BPMN surgiu em 2004 e foi criado originalmente pela *Business Process Management Initiative* (BPMI) nos Estados Unidos. Esse modelo tem como objetivo padronizar a forma como os processos eram modelados, pois, cada empresa possuía suas ferramentas e notações, e era necessário aprender e entender o funcionamento de cada metodologia. Em 2005 houve a fusão da BPMI com a *Object Management Group* (OMG).

Após isso, em 2011 ocorreu o lançamento da BPMN 2.0, uma versão que permite que modelos fossem criados a partir da execução em tempo real do processo, que criava não apenas representações gráficas do processo, mas também a execução por sistemas automatizados. Assim, houve a integração da modelagem e a implementação em plataformas de gerenciamento de processos (BPMS) em tempo real.

2.4 MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A modelagem busca representar a produção por meio de modelos matemáticos que permitem realizar modificações sem impactar a operação real (Morais, 2017). Assim, o objetivo da simulação é criar um modelo que permita

analisar, experimentar e prever o comportamento do sistema, mesmo que a complexidade dos sistemas reais impeçam sua representação exata.

Para Filho (2008), um dos principais benefícios da modelagem é a capacidade de redesenhar as linhas de produção e buscar o modelo mais eficiente, além de possibilitar adicionar ou remover postos de trabalho e alterar a velocidade da linha, sem a necessidade de interromper a produção ou realocar colaboradores

Como destacado por Trebesquim (2008), existem diversas vantagens na implementação da modelagem e simulação, conforme representado no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da simulação

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de salvar os modelos para futuras modificações, melhorias e análises	Necessidade de análise criteriosa dos dados para evitar interpretações equivocadas
Identificação de gargalos e atividades com maior tempo de execução em cada posto de trabalho	Necessidade de treinamento específico ou contratação de profissionais especializados;
Maior liberdade para remodelar as linhas produtivas	Programas avançados demandam elevado nível de detalhamento, e eventuais erros na modelagem tornam difícil a identificação e a correção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2.4.1 Modelo de simulação

A simulação é uma forma de representar o comportamento de sistemas reais em um ambiente virtual e possibilita a alteração do cenário de um processo, sem a necessidade de interferir diretamente nele. Para estruturar e classificar os tipos de simulação, são utilizados três critérios principais: a forma como o tempo é considerado durante o processo, a variabilidade e natureza dos dados, e a evolução das variáveis ao longo do tempo (Law, 2007). Cada critério possui dois tipos de comportamento, conforme apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos modelos de simulação

Critério	Tipos	Descrição
Tempo	Estático	Não há mudança significativa com o tempo
	Dinâmico	Muda com o tempo, depende de eventos anteriores
Natureza	Determinístico	Sem variabilidade, resultados previsíveis
	Estocástico	Envolve incerteza e aleatoriedade, resultados imprevisíveis
Evolução das variáveis	Contínuo	Variáveis mudam suavemente (ex: temperatura)
	Discreto	Mudanças em pontos específicos (ex: chegada de peças)

Fonte:Elaborado pelo autor (2025)

Robinson *et al.* (2012) argumentam que em processos industriais, especialmente em linhas de produção, um dos métodos mais utilizados é o modelo discreto. Isso se deve à natureza do seu comportamento, que se caracteriza por mudanças ocorridas em pontos específicos no tempo. Essas alterações acontecem, em geral, em resposta a eventos bem definidos, como a chegada de um item, o início ou término de uma operação, ou ainda a movimentação de produtos entre estações.

2.4.2 Modelagem do estado atual (*AS IS*) e o proposto (*TO BE*)

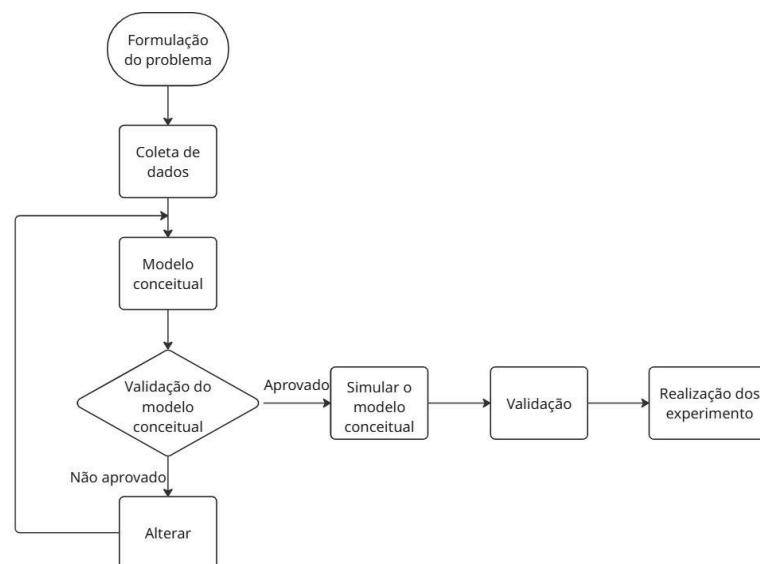
Como apontado por Florentino (2016), a análise de processos em simulação é dividida em duas fases principais: o modelo *As Is*, que representa o estado atual do processo, validado a partir de resultados reais; e o modelo *To Be*, que representa o cenário futuro, proposto com base na aplicação de melhorias estratégicas.

O modelo *As Is* tem como objetivo compreender o funcionamento real do processo e ajuda a identificar gargalos, retrabalhos e ineficiências. Essa análise servirá de base para a construção do modelo *To Be*, construído a partir de hipóteses de melhorias, como a redistribuição de atividades entre os postos, balanceamento dos tempos entre os postos ou a implementação de novas tecnologias. Essa abordagem permite testar, em um ambiente virtual, os impactos das mudanças antes de sua aplicação em um ambiente real. Desse modo, torna-se viável comparar os resultados entre os dois cenários que visam auxiliar uma tomada de decisão mais eficiente e fundamentada.

2.4.3 Fluxo de um processo de modelagem

Como abordado por Law (2006), para que uma simulação apresente resultados compatíveis com o processo real, é necessário seguir um conjunto de etapas bem definidas. Além disso, o desenvolvimento da simulação não se resume apenas à elaboração do sistema em si, mas também envolve uma série de fases que devem ser seguidas, a fim de garantir a coerência e a coesão da simulação com o processo real. A Figura 2 apresenta o fluxo típico de um processo de modelagem e simulação.

Figura 2 - Fluxo de um processo de modelagem e simulação



Fonte: Adaptado de Law (2006)

A primeira etapa consiste na formulação do problema, em que se define o objetivo da simulação, os indicadores a serem analisados e as perguntas que o modelo deverá responder. Em seguida, realiza-se a coleta e análise de dados, com o objetivo de entender o comportamento atual do sistema e identificar variáveis relevantes.

A partir disso, inicia-se a elaboração do modelo conceitual, no qual o processo é descrito com base em suas principais etapas. Na sequência, são executadas as fases de verificação e validação. A verificação tem como objetivo assegurar que os elementos do cenário real foram representados de forma fiel no

modelo. Por sua vez, a validação consiste em comparar o comportamento do modelo conceitual com o sistema real, verificando se a representação virtual reflete adequadamente as características do processo analisado.

Caso os resultados da validação indiquem inconsistências, a simulação é reavaliada e um novo modelo conceitual é elaborado, sendo submetido novamente ao processo de validação. Esse ciclo se repete até que o conceito represente um comportamento compatível com o sistema real.

Por fim, com o modelo verificado e validado, inicia-se a fase de experimentação, em que são testados diferentes cenários no ambiente virtual para prever os impactos das mudanças propostas. Essa análise permite comparar os resultados dos cenários e, assim, apoiar a tomada de decisão com base em dados.

2.5 FLEXSIM

O *Flexsim* é um *software* da empresa Autodesk, a empresa é responsável por diversos programas voltados para engenharia de produção, engenharia civil, logística, arquitetura e simulação e modelagem de linhas de produção. O *Flexsim* se destaca pela sua versatilidade, possibilitando a aplicação nos mais diversos cenários, não sendo limitado apenas a indústrias, sua aplicação se estende também à setores logísticos e ambientes hospitalares (Autodesk, 2025).

O *FlexSim* é um *software* utilizado para a criação de simulações e modelagem de eventos discretos. O programa oferece uma ampla gama de ferramentas, incluindo recursos tridimensionais avançados para a construção de modelos visuais mais complexos. Sua interface acessível, aliada à possibilidade de incorporar lógica por meio de programação, torna o *FlexSim* uma ferramenta extremamente versátil e eficiente. Além disso, a plataforma permite ao usuário identificar gargalos nos processos e acompanhar a simulação em tempo real, com a possibilidade de pausar a execução para analisar detalhadamente cada posto de trabalho (Nascimento, 2024).

Conforme destacado por Sartori *et al.* (2020), o *FlexSim* opera em um ambiente virtual tridimensional, proporcionando resultados que se aproximam da realidade. No entanto, é importante salientar que, por mais precisas que sejam, as simulações não representam cópias exatas dos processos reais, mas sim

aproximações que visam apoiar a tomada de decisão com base em cenários simulados.

2.6 ESTADO DA ARTE

Como abordado por Nascimento *et al.* (2024), em seu modelo de simulação foi possível obter não apenas os resultados preliminares, mas também criar modelos de simulação dinâmicos, podendo alterar certas informações e testar variações simples como: tempo de produção, velocidade da esteira e diminuição entre postos. Entretanto, ao adicionar mais elementos, haverá a necessidade de elaborar modelos mais complexos e adaptar o modelo utilizado anteriormente.

O uso do *FlexSim* possibilita também explorar novas alternativas para outros cenários e sempre busca otimizar o processo baseado na formulação do problema. Morais *et al.* (2017) buscavam estudar pontos de ociosidade e gargalos no processo de uma fábrica de alimentos, mas ao modelar o seu processo, notaram que os pontos com estrangulamento — locais cuja capacidade de produção é menor do que a demanda solicitada — eram recorrentes. Após a implementação da proposta de melhoria, houve um ganho de 28,05% na produção diária.

A versatilidade do programa de simulação possibilita investigar outros cenários além do fabril, como um lava-jato, que foi o estudo de Bassi *et al.* (2021), que notou uma fila de espera de 80 minutos na lavagem de carros. Ao instruir o colaborador da entrada a levar os carros para a área de limpeza — pois antes ele trabalhava apenas como recepcionista — obteve-se um tempo de espera de até 20 minutos e um aumento na produtividade de 32%, podendo agora atender 28 veículos a mais.

Nem sempre automatizar totalmente um processo resulta em um aumento significativo na capacidade de produção. Raposo (2022) observou a linha de montagem de componentes eletrônicos para controle remoto, com uma produção de 2.000 peças por dia, onde a soldagem de alguns componentes era feita de forma manual. Ao simular a linha utilizando um robô para soldar os componentes mais sensíveis e um posto de trabalho manual, obteve-se uma produção diária de 2.800 peças, enquanto ao utilizar completamente o robô foi observada uma capacidade de 2.650 peças.

Através da modelagem e simulação, é possível avaliar cenários sem haver a necessidade de parar a linha para realizar testes. Rosa e Bueno (2020) utilizaram o *Flexsim* para avaliar a linha de produção da montagem de tratores, onde eram produzidas 183 unidades por semana. Através da análise e redistribuição das atividades e utilizando o *software* de simulação, foi observado que haveria a possibilidade de aumentar a produção para 185 tratores por semana, sem a necessidade de aquisição de novos equipamentos, além de redistribuir melhor as atividades na linha.

A pesquisa conduzida por Leal *et al.* (2022) em uma fábrica de fitas adesivas utilizou o *Flexsim* para estudar e otimizar o layout da fábrica, que visa a integração eficiente de uma nova empacotadora automática. Através da modelagem, foi possível obter uma redução de 42,10% no lead time do processo em uma ordem de produção de 15.400 fitas, ou seja, o tempo necessário de fabricação passou de 19 para 11 horas.

Reis (2021) conduziu uma pesquisa na linha de produção de lentes digitais. A compra de uma máquina de conferência automática permitiria um aumento na capacidade de produção, passando de 200 para 400 pares por dia. A linha, anteriormente, possuía 3 operadores de custos elevados, e através do *Flexsim* foi observado um nível de ociosidade de mais de 50%, o que representava um gasto desnecessário para a empresa. Após simular o processo com a máquina que ainda viria a chegar, foi obtido um payback de 2 anos e 4 meses, o que trará não só ganhos futuros, mas um aumento significativo na produção diária.

É importante avaliar os impactos na implementação de melhorias, pois nem sempre aquela que trazer um aumento na capacidade diária de produção será a mais viável. Façanha (2024) observou que, ao sugerir uma melhoria em uma célula de testes funcionais de placas eletrônicas, poderia obter um aumento de 10% na produção. Entretanto, foi observado que a melhoria poderia impactar na qualidade de componentes críticos, optando por uma outra solução que realizava testes em paralelo, obtendo ganhos de 6%, sendo inferior à 1ª proposta, mas sem impactar na qualidade do produto.

Durante a pandemia do coronavírus, em 2021, Gabriel *et al.* (2021) utilizaram o programa de modelagem e simulação *Flexsim* para redefinir o layout de um Centro

de Atendimento Endócrino (CAE), de forma que respeitasse o distanciamento social sem impactar o atendimento. A mudança de layout trouxe resultados relevantes, diminuiu o tempo de estadia dos pacientes e evitou cruzamentos durante a permanência. Aumentou-se o número de macas de 5 para 8, possibilitou a realocação de um enfermeiro para dar suporte em outros postos e obteve-se um aumento no lucro diário de R\$ 9.582,00.

Martins (2021) desenvolveu um projeto de pesquisa no ramo de confecções de bolas. Ao simular o processo atual, observou que uma parcela significativa dos colaboradores estava sobrecarregada, enquanto outros apresentavam um alto grau de ociosidade, demonstrando que a linha estava desbalanceada. Ao propor a contratação de 2 novos colaboradores, a manutenção de uma máquina que estava inativa e um rearranjo no layout da fábrica, foi possível obter um resultado significativo na capacidade de produção diária, passando de 687 bolas para 1.330.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O método adotado foi o estudo de caso, uma abordagem investigativa em que o pesquisador analisou detalhadamente um fenômeno, buscando compreender suas causas e consequências. Os dados foram coletados de forma quantitativa, ou seja, por meio de informações numéricas (Yin, 2014). Após mapear e analisar o fluxo de produção, foi possível avaliar o impacto da melhoria proposta, não apenas na capacidade produtiva, mas também na influência sobre os colaboradores.

A natureza da pesquisa é de caráter exploratório, o que possibilitou ao pesquisador investigar novos cenários e possibilidades, onde foi ampliado o conhecimento sobre o processo e evidenciar seus resultados e impactos. O pesquisador apenas observou o cenário atual, onde o mesmo não alterou o cenário, ou comprometeu a execução das atividades, evitando uma coleta de dados incorreta e, conseqüentemente, resultados tendenciosos na simulação (Gil, 2017).

3.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

O cenário descrito retrata o processo de montagem do gabinete frontal, objeto deste estudo. Antes do início da produção, o alimentador da linha posicionou um palete contendo 30 caixas plásticas, também denominadas monobloco. Cada caixa continha 27 gabinetes frontais, o palete foi posicionado sobre uma linha demarcada, utilizada para o abastecimento da linha de produção. A linha foi composta por cinco postos de trabalho, o Quadro 3 resume as atividades executadas por cada posto.

Quadro 3 - Atividades exercidas em cada posto

Postos	Atividades
1° Posto	Cravamento manual de 3 insertos
2° Posto	Cravamento manual de 5 insertos
3° Posto	Fixação da serrilha
4° Posto	Montagem de 4 espumas de proteção
5° Posto	Revisão e embalagem

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

a) Posto 1 - Utilização do ferro de solda para fixar o inserto na peça.

O colaborador retirou a peça do monobloco e a posicionou na bancada. Em seguida, coletou o inserto (parafusos de tamanho reduzido) armazenado em um reservatório, posicionou-o em um dos locais indicados na Figura 3 e, com o auxílio do ferro de solda, fixou-o na peça, repetiu-se o processo para os demais locais. Ao final do processo, a peça é inspecionada e colocada na esteira.

É importante ressaltar que alguns componentes já foram montados previamente em um processo de semi-acabamento, onde utilizou-se uma máquina específica para a fixação de insertos. Entretanto, a mesma não pode ser utilizada para a montagem total dos componentes pois, devido às características dimensionais da peça e à configuração específica das áreas destinada aos componentes, o equipamento não consegue alcançar essas regiões sem o risco de colidir com a peça, tornando inviável a sua utilização para o processo completo.

Figura 3 - Bancada para cravamento manual de insertos

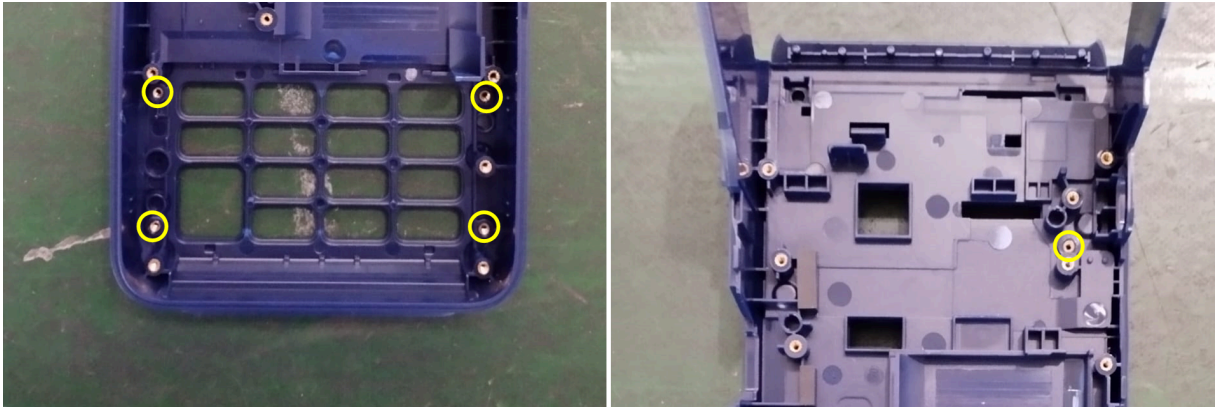


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

b) Posto 2 - Utilização do ferro de solda para cravar o inserto na peça:

Semelhante ao processo anterior, foram inseridos cinco insertos, de dimensões diferentes dos utilizados na etapa anterior, conforme demonstrado na Figura 4. Ao final, a peça foi colocada na esteira.

Figura 4 - Cravamento manual de insertos

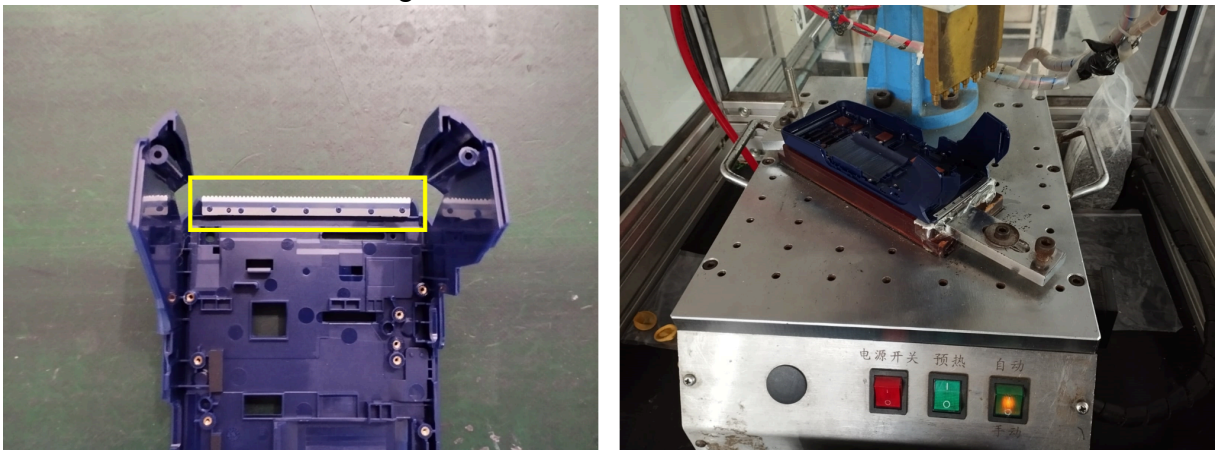


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

c) Posto 3 - Remanche da serrilha

A peça foi retirada da esteira e, com o auxílio de pinos-guia presente no gabinete, a serrilha foi acoplada. A serrilha funciona como uma serra dentada que tem como objetivo cortar o papel das impressões. Em seguida, o conjunto foi posicionado na máquina de remanche, conforme ilustrado na Figura 5. A máquina foi acionada manualmente e um dispositivo aquecido a uma temperatura controlada entra em contato com os pinos, que são derretidos para fixar a serrilha. Ao final do processo, a atividade foi inspecionada e a peça foi realocada na esteira.

Figura 5 - Remanche da serrilha

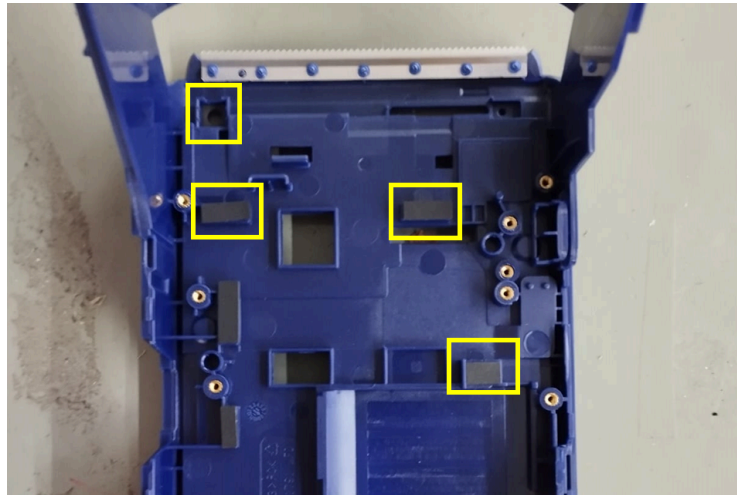


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

d) Posto 4 - Montagem das espumas de proteção:

A peça foi retirada da esteira e com o auxílio de uma pinça, foram posicionadas quatro espumas de proteção individualmente, nos locais indicados na Figura 6. Após a inspeção, a peça foi reposicionada na esteira.

Figura 6 - Montagem das espumas de proteção



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

e) Posto 5 - Revisão e embalagem:

A peça foi retirada da esteira, teve sua montagem revisada e, em seguida, foi embalada. Caso alguma espuma estivesse fora de posição, o colaborador deverá reposicioná-la com o auxílio de uma pinça. Se houvesse inserto fora do padrão, como muito alto ou muito baixo, ou se a serrilha apresentasse folga, a peça seria descartada.

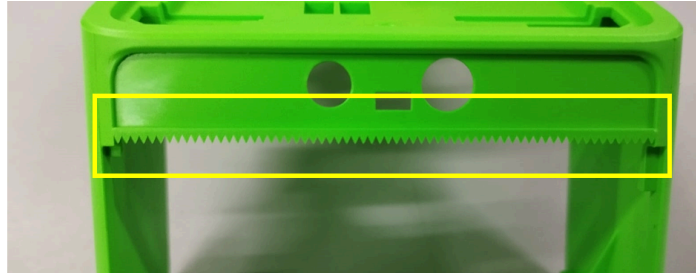
É importante salientar que o primeiro posto realizou um *setup* a cada 27 peças, quando o monobloco vazio foi retirado e outro cheio foi posicionado. O último posto realizou o mesmo procedimento; entretanto, antes de colocar o monobloco em um palete ao final da linha, foi colada uma etiqueta de identificação contendo informações sobre o produto.

3.2 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO

Para o cenário proposto, considerou-se a eliminação do posto de fixação da serrilha, uma vez que, com modificações no molde, a serrilha poderá ser injetada

diretamente ao gabinete frontal. A Figura 7 apresenta um exemplo de como a peça poderá ficar caso essa modificação seja implementada, eliminando a necessidade do posto.

Figura 7 - Serrilha incorporada na peça



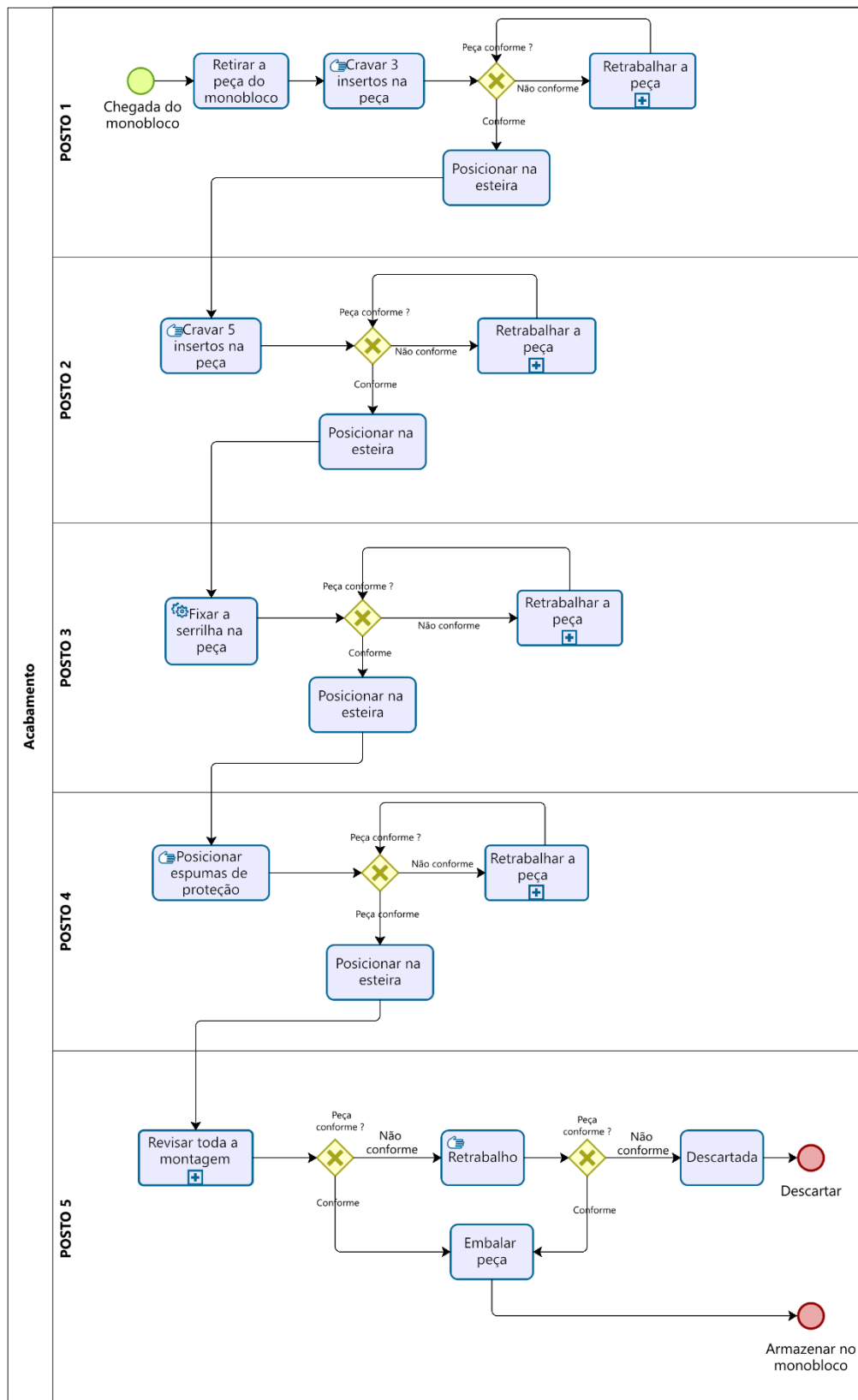
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a máquina de fixação dos insertos, utilizou-se como base um equipamento que opera de forma similar à desejada. Nela, o colaborador posiciona o gabinete frontal em um suporte fixo e, ao acionar o equipamento, os componentes são aquecidos a uma temperatura configurada no sistema. A cravação ocorre em locais pré-definidos, por meio de um sistema integrado, promovendo a fixação de forma semelhante ao processo realizado com o ferro de solda. A configuração deste tipo de máquina permite sua adaptação para processos futuros, podendo realizar adaptações para processos semelhantes.

3.3 MODELO CONCEITUAL

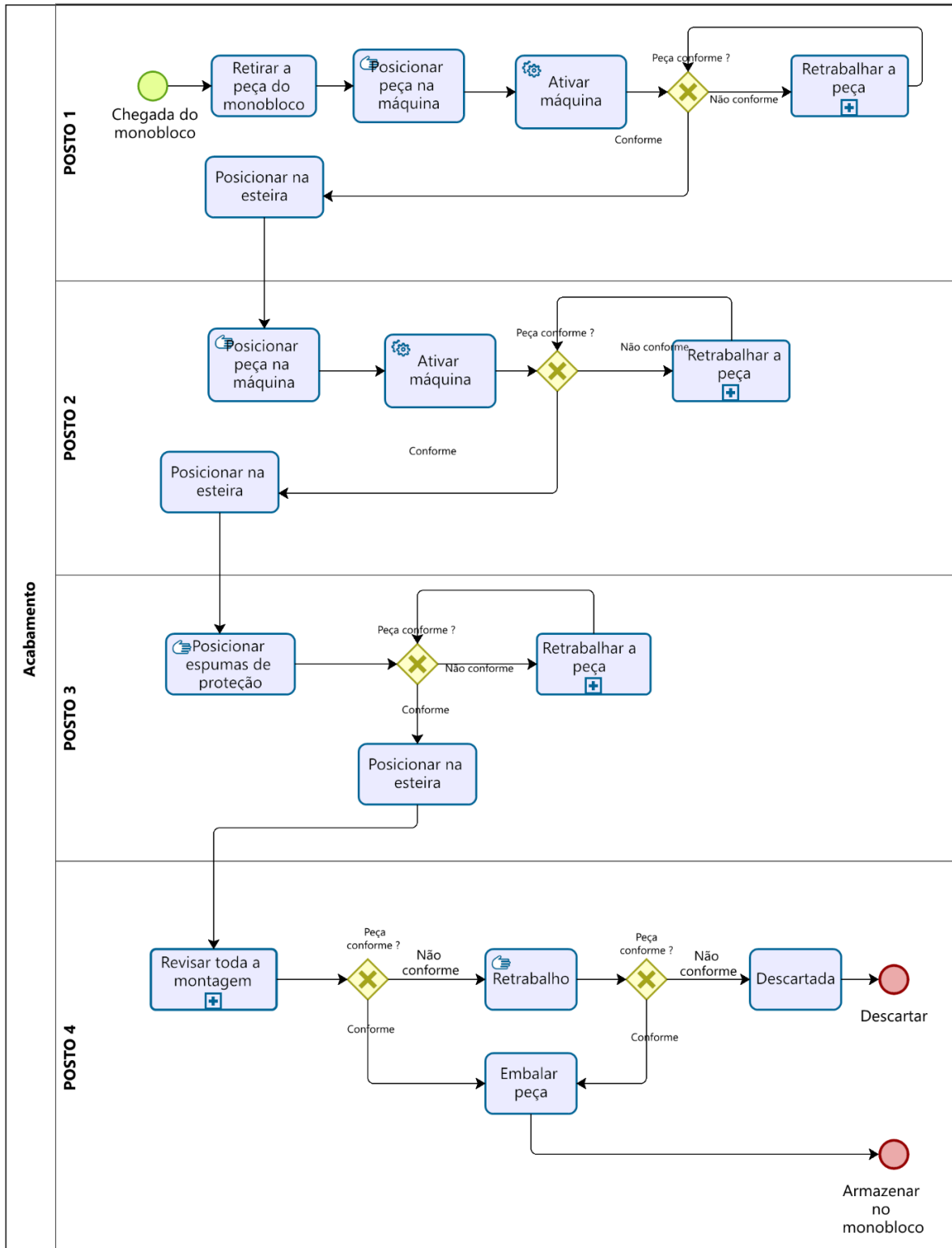
O modelo atual (As-is) foi desenvolvido com base no item 3.1, que descreveu o processo vigente das atividades, representado por meio de uma notação BPMN com suas respectivas tomadas de decisão, conforme ilustrado na Figura 8. A partir dessa representação, foi elaborada uma proposta de melhoria, resultando em uma nova notação (To-Be) que apresenta as alterações implementadas no processo, incluindo novas atividades e decisões. A Figura 9 ilustra esse novo cenário, com a introdução de duas máquinas semiautomáticas e a eliminação do posto de fixação da serrilha, modificando a sequência das operações e os pontos de decisão ao longo do processo.

Figura 8 - Modelo conceitual atual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 9 - Modelo conceitual proposto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta dos tempos de execução das atividades foi realizada *in loco*, por meio da gravação de imagens. Posteriormente, os tempos de produção foram analisados e organizados de acordo com cada posto de trabalho. As gravações ocorreram em dois turnos distintos, com duração de uma hora cada. A primeira coleta foi realizada durante o primeiro turno, em um período de ritmo médio de produção, enquanto a segunda ocorreu no turno seguinte, em um momento de ritmo mais acelerado. Foram coletados 20 ciclos de atividades com dois colaboradores diferentes em cada posto, totalizando 40 tempos. Os dados foram catalogados e armazenados em uma planilha no Excel. A Tabela 1 demonstra alguns dos tempos de ciclo, em segundos, referentes ao primeiro posto.

Tabela 1 - Tempos medidos no posto 1

Quantidade de ciclos	Medição de tempo(s)	
	Colaborador 1	Colaborador 2
Ciclo 1	15,509	13,799
Ciclo 2	16,195	14,593
Ciclo 3	14,712	19,177
Ciclo 4	15,694	13,359
Ciclo 5	16,677	13,959
Ciclo 6	17,541	14,303
Ciclo 7	19,358	13,529
Ciclo 8	17,124	14,060
Ciclo 9	16,796	16,645

Fonte:Elaborado pelo próprio autor (2025).

Os tempos de execução dos *setups* no primeiro e no último posto também foram obtidos por meio de filmagens. Ao todo, foram registrados 20 ciclos durante o processo. A Tabela 2 apresenta alguns dos tempos, em segundos, de *setup* do posto 1.

Tabela 2 - Tempos de *setup* do posto 1

Quantidade de ciclos	Tempo (s)
Ciclo 1	38,440
Ciclo 2	37,128
Ciclo 3	39,187
Ciclo 4	36,750

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Para o estudo envolvendo a utilização da máquina semi-automática, utilizou-se como base uma máquina que opera de forma semelhante à desejada, na qual cada inserto é cravado de forma automática, em média, em um ciclo de 2,022 segundos. Para compor o tempo total da atividade, foram estimados tempos equivalentes a partir de etapas similares observadas no processo real como: retirar a peça da esteira, posicioná-la na máquina e, posteriormente, recolocá-la na esteira. Esses intervalos de operação foram somados ao tempo de fixação de cada inserto, considerando a quantidade de componentes necessários em cada posto. O Tabela 3 apresenta alguns ciclos do primeiro posto.

Tabela 3 - Ciclo do posto com as máquinas semi-automáticas

Quantidade de ciclos	Tempos (s)
Ciclo 1	10,149
Ciclo 2	13,526
Ciclo 3	13,702
Ciclo 4	11,503
Ciclo 5	12,643
Ciclo 6	12,743
Ciclo 7	12,909
Ciclo 8	11,503
Ciclo 9	13,614
Ciclo 10	13,653

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

3.5 TRATAMENTO DE DADOS

Como os dados foram obtidos *in loco* por meio da filmagem com uma câmera celular, o tratamento consistiu na análise individual de cada ciclo gravado. A filmagem foi utilizada para garantir maior precisão na estimativa dos tempos. Para assegurar a confiabilidade das informações, foram considerados apenas os ciclos em que as atividades foram executadas sem interferência externa, desvios operacionais, interrupções ou falhas de equipamento.

3.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Os dados coletados foram analisados com o auxílio do *ExpertFit*, um *software* complementar do *Flexsim*, que realizou o ajuste das distribuições estatísticas mais adequadas para cada etapa do processo. Com base nessas distribuições, o *FlexSim* gera valores aleatórios com comportamento estatístico semelhante aos dados reais, possibilitando uma simulação mais robusta e próxima da realidade. A Tabela 4 apresenta a fórmula probabilística utilizada na simulação, que foi aplicada tanto no cenário atual quanto no cenário proposto.

Tabela 4 - Distribuição estatística do processo

Cenário	Etapa	Resultados estatísticos
Atual	Setup 1	beta(35.171733, 40.200703, 1.891124, 1.050412)
	Posto 1	beta(11.962464, 26.634903, 2.626703, 8.330940)
	Posto 2	johnsonbounded(13.775243, 23.312796, 0.396208, 1.273161)
	Posto 3	beta(17.172851, 29.937949, 2.699643, 2.670052)
	Posto 4	beta(11.594903, 23.349988, 1.884327, 4.843858)
	Posto 5	johnsonbounded(6.773866, 14.404097, 0.148167, 0.505792)
	Setup 2	beta(48.574875, 58.883531, 4.058243, 1.638857)
Proposta	Setup 1	beta(35.171733, 40.200703, 1.891124, 1.050412)
	Posto 1	beta(7.422063, 14.557877, 8.727847, 3.773555)
	Posto 2	beta(13.637546, 16.023622, 1.863716, 2.187549)
	Posto 3	beta(11.594903, 23.349988, 1.884327, 4.843858)
	Posto 4	johnsonbounded(6.773866, 14.404097, 0.148167, 0.505792)
	Setup 2	beta(48.574875, 58.883531, 4.058243, 1.638857)

Fonte: Elaborada pelo autor (2025).

3.7 MODELAGEM

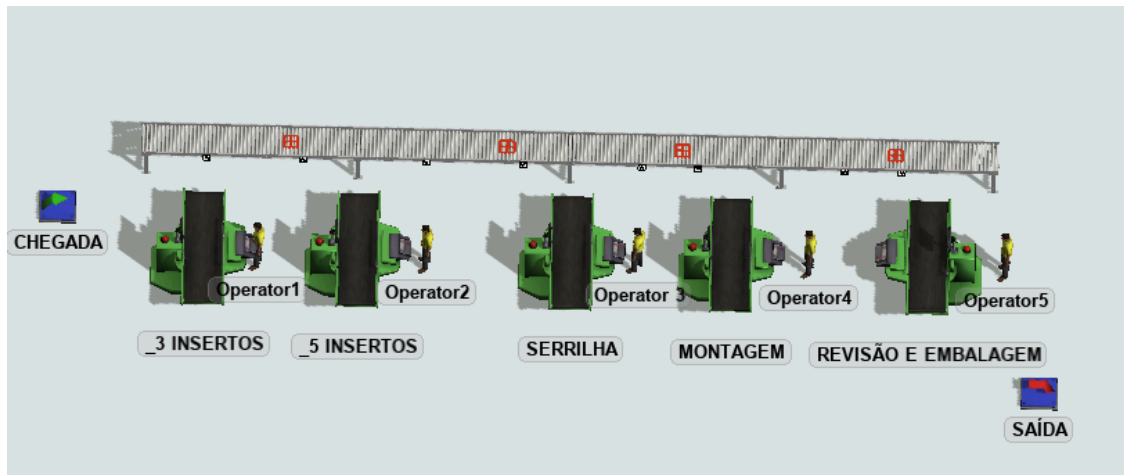
Para se obter uma simulação com características próximas da realidade, é necessário coletar o máximo de informações possível sobre o processo, a fim de que o modelo simulado se comporte de maneira fiel. Além dos ciclos operacionais das máquinas, uma simulação eficaz deve incluir dados que, muitas vezes, passam despercebidos, como as dimensões das bancadas, a velocidade da esteira, o espaçamento necessário entre as peças, dentre outros aspectos relevantes.

Nesse contexto, é fundamental que o observador do processo registre cuidadosamente todas essas informações, garantindo que o modelo represente com precisão o ambiente real.

3.7.1 Simulação do cenário atual

Para a simulação do cenário atual, foram considerados cinco postos de trabalho: cravamento manual de três insertos; cravamento manual de cinco insertos com dimensões divergentes do posto anterior; fixação da serrilha; montagem de quatro componentes; e, por fim, embalagem e revisão. A Figura 10 apresenta a modelagem do processo atual no *Flexsim*.

A esteira onde o gabinete frontal é posicionado possui velocidade ajustável, permitindo atender à demanda de produção diária da melhor forma. Durante a coleta dos dados, a esteira operava com velocidade constante de 0,19 cm/s. Outro ponto a ser destacado é que há marcações espaçadas a cada 65 cm, indicando os pontos onde as peças devem ser posicionadas. Essas marcações precisam ser respeitadas, pois têm como objetivo evitar a sobrecarga dos colaboradores na linha. Caso ocorra do posto mais rápido não respeitar o limite, o operador que tiver o maior tempo de ciclo ficará com um acúmulo de peças em seu posto, comprometendo o equilíbrio do processo.

Figura 10 - Cenário atual no *Flexsim*

Fonte: Elaborada pelo autor (2025)

Durante a coleta dos tempos de atividade *in loco*, não foram observadas peças defeituosas ou que necessitasse de retrabalho. Essa informação foi utilizada na simulação a fim de obter uma representação virtual mais próxima da realidade observada.

3.7.1.1 Validação da simulação

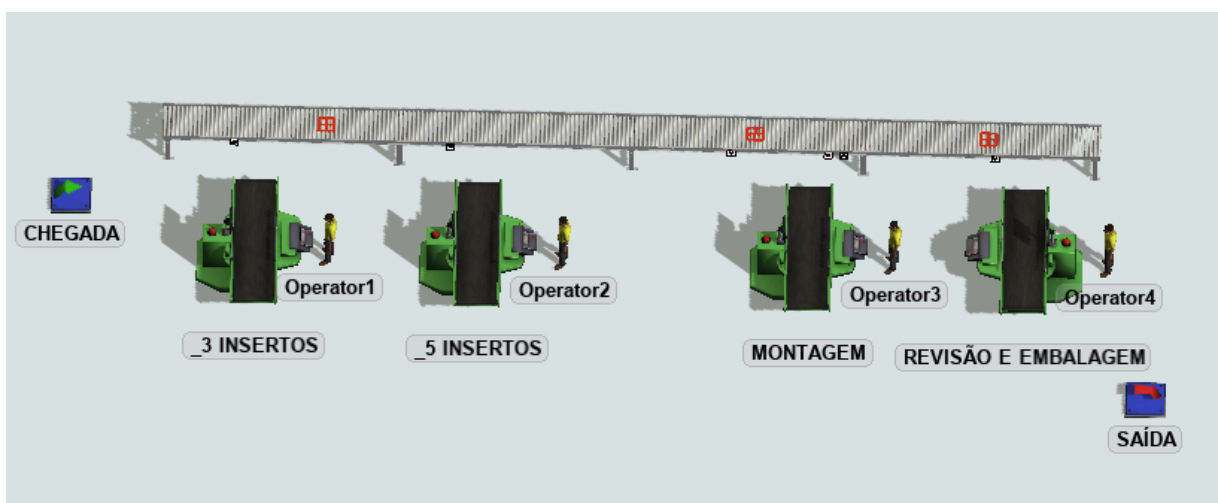
A validação da simulação foi realizada com base na quantidade de peças produzidas por hora no cenário real. Os dados coletados em linha serviram de referência para comparar os resultados obtidos no ambiente simulado. A simulação foi configurada para refletir de forma mais fiel o cenário real, incluindo dimensões das peças, disposição das máquinas e bancadas, velocidade da esteira e espaçamento entre esteiras.

Ao simular um turno de 7 horas de trabalho, observou-se uma produção média de aproximadamente 123 peças por hora, enquanto no cenário real essa média foi de 131 peças. Isso representa uma margem de erro de 6,75%, valor considerado aceitável para validar um ambiente virtual, pois, como bem referenciado por Banks (1984), um intervalo de erro tolerável para uma simulação varia entre 5% e 10% do cenário real.

3.7.2 Simulação do cenário proposto

Para a proposta de melhoria o posto de fixação da serrilha será eliminado, uma vez que o molde utilizado na injeção passará por modificações. Essas alterações permitirão que haja uma serrilha de plástico injetada na peça, eliminando assim a necessidade de um posto de montagem. A Figura 11 apresenta o cenário virtual correspondente à proposta de melhoria. Além disso, a velocidade da esteira foi adaptada para 0,34 cm/s.

Figura 11 - Cenário com a implementação da proposta da melhoria



Fonte: Elaborada pelo autor(2025).

Para os postos de montagem e revisão, foram mantidos os mesmos tempos do processo atual. No entanto, para os novos postos de cravamento houve a necessidade de uma adaptação dos tempos.

A máquina que serviu de base para elaboração da proposta de melhoria opera com tempo médio de 2,022 segundos entre cada inserto. Com base nisso foram estimados tempos equivalentes a partir de atividades semelhantes para as demais etapas - Retirar a peça da esteira, posicionar na máquina e reposicionar na esteira -, garantindo um ciclo mais próximo do real.

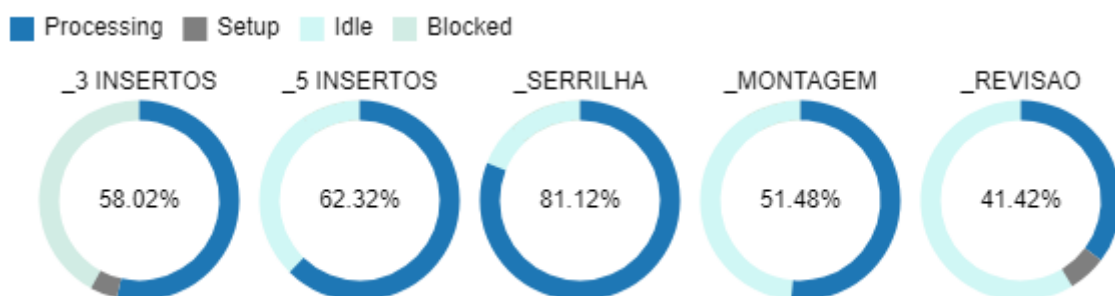
4 RESULTADOS

Com o objetivo de simular as condições reais da linha de produção, o programa *FlexSim* foi executado durante um turno de 7 horas, das 6h às 13h, com a inclusão de um intervalo de 1 hora para descanso. Por meio dos *dashboards* fornecidos pelo *software*, foi possível analisar o desempenho do processo ao final do turno, identificando gargalos, postos com maior ociosidade, sobrecarga de atividades e a capacidade de produção por hora. Essa análise possibilitou ajustar o cenário inicial, permitindo a realização de novos estudos e a avaliação das mudanças propostas.

4.1 CENÁRIO ATUAL

A Figura 12 apresenta o resultado de uma simulação de 7 horas. No gráfico, é possível observar os tempos de processamento, *setup*, ociosidade e itens bloqueados. No posto 1, onde ocorre o cravamento manual de três insertos na peça, é possível observar uma quantidade significativa de itens bloqueados, isso acontece porque, sendo o primeiro posto a retirar os itens da caixa plástica, ao remover uma peça, os demais também precisam ser trabalhados, o que gera acúmulo e bloqueio no fluxo do processo. No entanto, trata-se de uma situação natural do sistema, não sendo necessariamente algo que tenha como retirar ou alterar.

Figura 12 - *Status* do processo atual.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme observado, o posto 3, onde ocorre a montagem e fixação da serrilha, esteve 81,12% do tempo ocupado, sendo o ponto com maior carga de trabalho na linha. Em segundo lugar, como etapa com maior sobrecarga, temos a etapa anterior, que apresenta 62,32% do tempo trabalhando, evidenciando uma diferença de quase 19%. Um dos fatores que contribuem diretamente para o tempo elevado no posto 3 é o processo de derretimento dos pinos-guia, que exige um tempo maior de execução por parte da máquina, o que limita a velocidade da esteira para atender ao ciclo do posto de maior ciclo. Esse desequilíbrio demonstra que há uma sobrecarga no posto 3 e uma ociosidade considerável nos demais, indicando a necessidade de adequação das atividades.

Tabela 5 - Resultado detalhado do processo atual.

Tipos de tempo	Postos				
	3 insertos	5 insertos	Serrilha	Montagem	Revisão
Processando	53,61%	62,32%	81,12%	51,48%	35,22%
Setup	4,41%	-	-	-	6,20%
Tempo de Atividade	58,02%	62,32%	81,12%	51,48%	41,42%
Ocioso	-	37,68%	18,88%	48,52%	58,58%
Bloqueado	41,94%	-	-	-	-

Fonte:Elaborado pelo autor (2025)

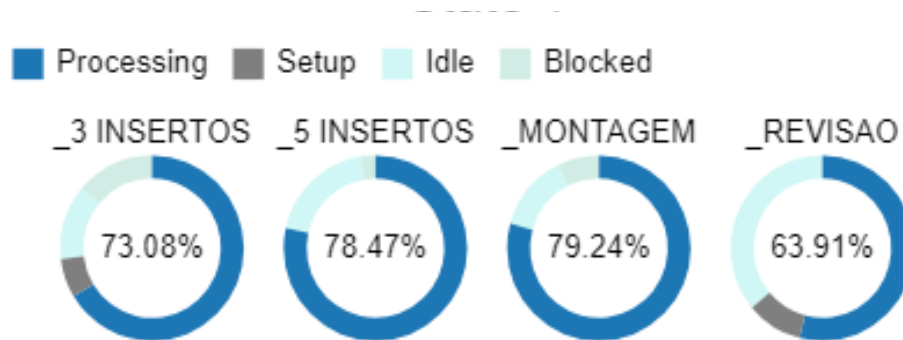
A tabela 5 apresenta os resultados de forma mais detalhada, é possível observar, por meio da figura 12, que o tempo de *setup* e o tempo de processamento são somados e considerados como uma única atividade no resultado apresentado, que evidencia ainda mais o quão sobrecarregado está o terceiro posto em relação aos demais. Por outro lado, a montagem dos componentes apresenta uma ociosidade de 48,52%, seguida do cravamento manual dos cinco insertos, que apresenta 37,68% de ociosidade, devido a esse desbalanceamento a revisão aponta uma ociosidade de 58,58%. Ao final da simulação foram produzidas aproximadamente 123 peças.

4.2 CENÁRIO PROPOSTO

Ao simular o processo com a proposta de melhoria, observou-se a possibilidade de aumentar a velocidade da esteira para reduzir o nível de ociosidade durante o processo. Por isso, após alguns testes, a velocidade, que antes era de 19,5 mm/s, passou a ser de 34 mm/s. Assim, todos os postos aumentaram a produtividade, pois o produto passou a chegar de forma mais rápida a cada um deles, o que reduziu também a ociosidade.

É possível observar os resultados provenientes da simulação na figura 13, onde, após simular um turno o ritmo de produção aumentou consideravelmente, além de diminuir a ociosidade.

Figura 13 - Status do processo com o cenário proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Tabela 6 é possível observar que houve um aumento significativo no ritmo de produção, a proposta trouxe resultados positivos diminuindo ociosidade dos postos e aumentando a produtividade. apresenta a quantidade de peças produzidas por hora durante a simulação, apresentando uma produção de 190 peças por hora.

Tabela 6 - Resultados detalhados do cenário proposto.

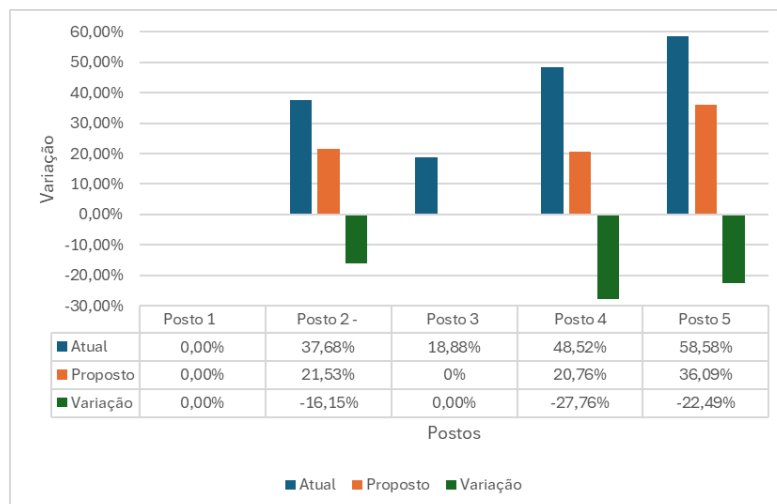
Tipos de tempo	Postos			
	3 insertos	5 insertos	Montagem	Revisão
Processando	66,30%	78,47%	79,24%	54,04%
Setup	6,78%	-	-	9,87%
Tempo de Atividade	73,08%	78,47%	79,24%	63,91%
Ocioso	-	21,53%	20,76%	36,09%
Bloqueado	26,92%	-	-	-

Fonte:Elaborado pelo autor (2025).

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS

A Figura 14 apresenta uma comparação entre a variação da ociosidade em cada um dos postos. É possível observar que o posto da montagem apresentou uma queda de -27,76%, aumentando consideravelmente o tempo de ocupação, enquanto isso, a revisão, que apresentava uma ociosidade de mais de 58% do tempo, através da melhoria, apresentou um resultado de 36%, sendo alto ainda, mas, não tendo como diminuir mais visto que sua atividade não possui tempo elevado como os outras.

Figura 14 - Comparação de ociosidade entre o cenário atual e o proposto

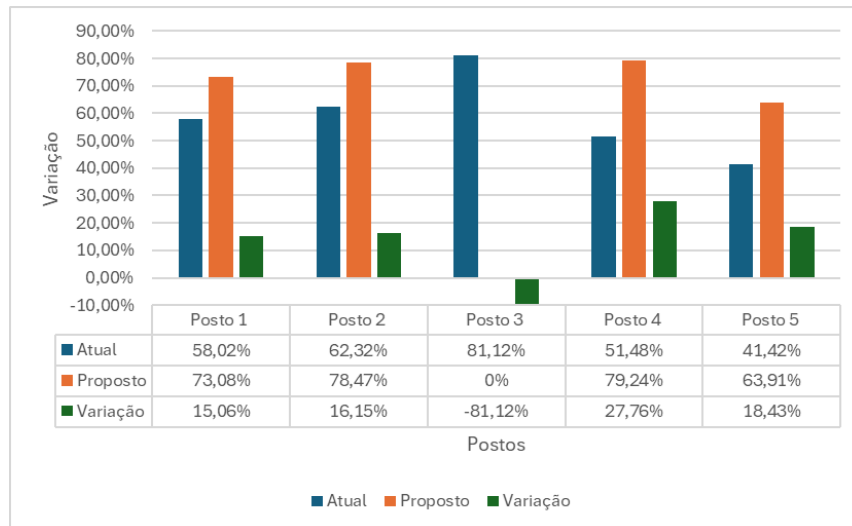


Fonte: Elaborada pelo Autor (2025)

A Figura 15 apresenta uma comparação da variação na ocupação dos postos de trabalho entre os cenários, onde há um ganho significativo de produção no posto

4, onde ocorre a montagem dos componentes, apresentando um ganho de 27,76% em relação ao cenário atual, passando de um dos postos com menor nível de produtividade para um dos que mais produzem, o cravamento da serrilha teve uma variação de -81,12% no seu nível de produção devido a eliminação do posto.

Figura 15 - Comparação entre ocupação do cenário atual e o proposto



Fonte:Elaborado pelo autor (2025)

A melhoria apresentou um ganho de produtividade expressivo, os postos que anteriormente apresentavam alta ociosidade, demonstraram uma queda significativa e foram convertidos em um aumento no ritmo de produção. A Tabela 7 apresenta uma média percentual de ociosidade que saiu de 40,92% para 26,12%, uma redução de 14,80%, essa redução transformou-se em um aumento no ritmo de produção, onde houve um aumento médio no cenário proposto, passando a ser de 73,67% na melhoria apresentada.

Tabela 7 - Comparação do resultado entre os cenários

Indicadores	Atual	Proposto	Variação
Produção	123	190	67
Ociosidade média	40,92%	26,12%	-14,80%
Ritmo de produção médio	58,87%	73,67%	14,80%

Fonte:Elaborado pelo autor (2025).

Com base nos resultados obtidos nas simulações realizadas, a hipótese proposta foi confirmada. A eliminação do posto de fixação da serrilha e semi-automatização dos dois primeiros postos, resultou em um aumento significativo na eficiência das linhas de produção, refletido no aumento da média de produção de peças por hora e na redução significativa dos níveis de ociosidade. Dessa forma, os dados indicam que a proposta de melhoria é promissora e pode contribuir de forma efetiva para a otimização do processo produtivo analisado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a semi-automatização dos postos possa parecer de fácil implementação, ela enfrenta barreiras tecnológicas. A máquina foi projetada com base em um equipamento já existente na fábrica, mas que não pode ser movimentado devido às suas dimensões. Assim, as duas novas máquinas precisarão ser adaptadas para permitir mobilidade e uso em outros processos, exigindo um modelo mais compacto e adequado ao espaço disponível na linha de produção. Entretanto, essa compactação impõe desafios tecnológicos.

Outro fator relevante é a necessidade de elaborar um estudo de viabilidade técnica, pois a modificação do molde para eliminar o posto da serrilha pode impactar o cronograma de produção, exigindo investimentos de tempo e dinheiro. Além disso, será necessário realizar testes e validar as alterações efetuadas, a fim de garantir a eficácia das mudanças.

Por tanto, a adoção de melhorias deve ser conduzida com planejamento, avaliação e testes pilotos, a fim de minimizar riscos e garantir que os resultados observados na simulação se replique no processo real. Também se recomenda realizar uma reunião com o cliente para avaliar se as modificações não impactarão negativamente a sua produção.

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante da conclusão deste estudo, considera-se sugerir novas abordagens que possam complementar ou expandir os resultados obtidos. Assim, para investigações futuras, recomenda-se a análise dos seguintes aspectos:

- Analisar individualmente as mudanças realizadas em cada cenário;
- Avaliar qual posto apresentará o melhor resultado.

REFERÊNCIAS

- ANOLE. **Injection molding process**. Disponível em: http://www.anolehot-runner.com/injection-molding-process_296.htm. Acesso em: 22 mar. 2025.
- AUTODESK. **Manufacturing simulation**. Versão 25.0.4. Disponível em: <https://www.flexsim.com/manufacturing-simulation/>. Acesso em: 22 maio 2025
- BANKS, J. *et al.* **Discrete-event system simulation**. New Jersey: Prentice Hall, 1984. (Prentice-Hall international series in industrial and system engineering). Disponível em: https://pavandm.wordpress.com/wpcontent/uploads/2017/03/discrete-event-systemsimulation-jerry-banks_2.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.
- BASSI, R. E. *et al.* A utilização do simulador Flexsim no processo de um lava-rápido de veículos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2021, Curitiba. **Anais [...]** Paraná. Disponível em: https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/arquivos/07272021_140728_6100445866f10.pdf. Acesso em: 26 maio 2025.
- FAÇANHA, J. R. B. **Aplicação da simulação computacional com o uso software Flexsim em uma célula de testes funcionais de placas eletrônicas**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de produção) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025. Disponível em: <https://ri.uea.edu.br/handle/riuea/7364>. acesso em: 28 mai. 2025.
- FILHO, P. R. B. Introdução a modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. 2. ed. [S.l.]: **Visual Books**, 2008.
- FLORENTINO, A. H. B. **Produção e processamento de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/34761>. Acesso em: 26 maio 2025.
- GABRIEL, G. T. *et al.* Uso da Simulação a Eventos Discretos como ferramenta para análise dos impactos da COVID-19 em um centro de endoscopia. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021, Online. **Anais [...]**. [S. l.]: ENEGEP, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.14488/enegep2021_tn_sto_356_1834_41743. Acesso em: 18 maio 2025.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- GRANADA, J. E. **Avaliação do ritmo de trabalho**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/110134/000951837.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 maio 2025

KIAM, T. M.; PEREIRA, N. C. Estudo de caso de peça moldada pelo processo de injeção e compressão para termoplásticos utilizando análise computacional.

Polímeros: Ciência e Tecnologia, [s. l.], v. 17, p. 16-22, out. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000100007>.

LAW, A. M. **Simulation modeling and analysis**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007.

LAW, A.; Kelton, W. D. **How to build valid and credible simulation model**. *In: Winter: simulation conference, 2006, Monterey. Proceedings [...]. Monterey: WSC, 2006.*

LEAL, L. K. B. *et al.* Análise e modelagem computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus: uma aplicação no *software* Flexsim®. **Exacta**, v. 22, n. 1, p. 197-237, jan./mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21368>. Acesso em: 15 maio 2025.

LOPES, T. O.; FROTA, C. D. Aplicação dos conceitos do lean manufacturing para melhoria do processo de produção em uma empresa de eletrodomésticos: um estudo de caso. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2015, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABEPRO, 2015. p. 1-17. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_356_1834_41998.pdf. Acesso em: 15 maio 2025.*

MARTINS, A. L. P. *et al.* Simulação computacional em uma indústria de bolas . *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 41., 2021, Online. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2021. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/publicacoes/artigo.asp?e=enegep&a=2021&c=41998>. DOI: 10.14488/enegep2021_tn_wpg_356_1834_41998. Acesso em: 26 maio 2025.*

MONTEGUTTI, L. M. **Cronoanálise: estudo de caso em uma indústria metal mecânica**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021. Disponível em :<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28099>. Acesso em: 28 maio 2025

MORAIS, T. M. *et al*, Modelagem e simulação utilizando o *software flexsim*: Estudo na busca por melhorias no processo produtivo de indústria alimentícia de Anápolis/GO, **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2017**. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_238_382_30915.pdf. Acesso em: 28 maio 2025

SILVA, K. F. N. da; ALMEIDA, T. dos S.; COSTA JÚNIOR, N. D. da. Modelo de simulação para balanceamento de processos: pesquisa experimental em uma cooperativa de triagem de resíduos sólidos na cidade de Goiânia (GO). **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 3099–3126, 2023. DOI: 10.14488/1676-1901.v22i3.4616. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/4616>. Acesso em: 28 maio. 2025.

NASCIMENTO, I. N. D. **Mapeamento de processos de negócios**: identificação de pontos de melhoria e desenvolvimento de plano de ação para aprimoramento de processos em contextos reais. 2024. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de produção) - Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2025. Disponível em: <https://ri.uea.edu.br/handle/riuea/7369>. acesso em: 16 maio 2025.

NASCIMENTO, A. T. de L. *et al.* Aplicação do simulador de eventos discretos Flexsim® para virtualização do módulo VGR (robô) do simulador físico Fischertechnik® num contexto de Digital Twin. **Revista Produção Online**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 5234, 2024. DOI: 10.14488/1676-1901.v24i2.5234. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/5234>. Acesso em: 28 maio. 2025.

PIZZA, W. R. **A metodologia Business Process Management (BPM) e sua importância para as organizações**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.fatecsp.br/dti/tcc/tcc00084.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025

ROSA, L. C.; BUENO, W. P. Framework para gestão de processos com a utilização do simulador Flexsim: estudo de caso em uma linha de montagem de tratores. **Revista Tecno-lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 24, n. esp., p. 264-274, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/15572/9379>. Acesso em: 29 abr. 2025.

RAPOSO, K. A. **Uso do Flexsim para simulação de propostas de melhoria em linha de produção de controles remotos**. 2022. Trabalho de conclusão de Curso (graduação em Engenharia de produção) – Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022. Disponível em: <https://www.itegam.org.br/get/pdf/1488>. Acesso em: 29 abr. 2025.

REIS, T. S. Análise da viabilidade econômica na aquisição de um equipamento de conferência de lentes ópticas, através de simulação utilizando o *software Flexsim*. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 41., 2021, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2021. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/STN_STP_356_1834_42730.pdf. Acesso em: 19 maio 2025.

ROBINSON, S. *et al.* **Simulation**: the practice of model development and use. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

SARTORI, S. *et al.* A utilização do Software *Flexsim* e sua aplicabilidade para a melhoria contínua dos sistemas de produção, **ESPACIOS**, v. 46, n. 02, 2020. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n24/a20v41n24p08.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025

TREBESQUIM, A. D. O. **Aplicação de um modelo computacional na simulação do processo de pintura do produto de maior giro em uma empresa moveleira.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12873/2/MD_COENP_%202013_1_01.PDF. Acesso em: 19 maio 2025.

VIEIRA, R. M. **Münstemberg e casal Gilbreth: a instrumentalização psicofísica dos empregados nas indústrias estadunidenses na primeira década do século XX.** 2016. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Contábeis) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://www.marilia.unesp.br/Home/Eventos/2016/rodrigo-moreira-vieira.pdf>. Acesso: 28 maio 2025

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.