

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ANGELO ZOTTIS LUNARDI

**ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO FLUXO DO PROCESSO DE INJEÇÃO EM UMA
EMPRESA FABRICANTE DE ACESSÓRIOS PARA MÓVEIS**

BENTO GONÇALVES

2021

ANGELO ZOTTIS LUNARDI

**ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO FLUXO DO PROCESSO DE INJEÇÃO EM UMA
EMPRESA FABRICANTE DE ACESSÓRIOS PARA MÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador Prof. Dr. Gabriel Vidor

BENTO GONÇALVES

2021

ANGELO ZOTTIS LUNARDI

**ESTUDO DE SIMULAÇÃO DO FLUXO DO PROCESSO DE INJEÇÃO EM UMA
EMPRESA FABRICANTE DE ACESSÓRIOS PARA MÓVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em 08/06/2021

Banca Examinadora

Prof. Dr. Gabriel Vidor
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Leonardo Dagnino Chiwiacowsky
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Alexandre Mesquita
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho de conclusão de curso a meus familiares e amigos que estiveram comigo durante este percurso, especialmente a meu pai e a minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui os meus sinceros e mais profundos agradecimentos a todas as pessoas, que de uma forma ou de outra, colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

Em especial, agradeço aos meus pais Newton Angelo Lunardi e Denise Zottis, a minha namorada Raquel Carvalho e toda minha família que, com muito carinho, apoio e paciência, não mediram esforços para me auxiliar, para que assim, fosse possível concluir mais uma etapa da minha vida.

Gostaria de agradecer com louvor, ao Professor Dr. Gabriel Vidor pela paciência na orientação, conselhos, considerações e incentivos que assim, tornou possível a conclusão desta monografia.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste estudo, contribuindo exponencialmente para o aprendizado que tenho hoje.

Aos meus amigos que fiz em minha caminhada acadêmica, em especial Édrian Gilioli Tosin e Germano Luis Damiani, pela parceria, companheirismo e irmandade.

Agradecer ao Rodrigo Lamas, da equipe de consultoria e vendas do FlexSim, pela concessão das licenças temporárias.

Também, gostaria de agradecer aos amigos e colegas da empresa Zen Design, pelo incentivo, auxílio, colaboração e apoio. Muito obrigado.

E a Deus, por tudo.

*“Só se pode alcançar um grande êxito quando
nos mantemos fiéis a nós mesmos.”*

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação do método de modelagem e simulação de processos utilizando o software FlexSim, com a construção de diversos cenários computacionais para aprimoramento da capacidade produtiva, melhoria de processos, balanceamento da produção e análise de gargalos. O objetivo geral do trabalho é desenvolver um estudo de simulação do fluxo do processo de injeção em uma empresa fabricante de acessórios para móveis. Para atender esse contexto e objetivo, o referencial foi organizado com assuntos de planejamento de leiaute, dividido em leiaute por produto e leiaute por processo e a parte da simulação, com seus modelos Simbólicos, Icônicos, Diagramáticos, Matemáticos ou Analíticos, para tanto, foi feita uma explanação teórica sobre esses temas. O estudo foi desenvolvido em uma empresa de acessórios para móveis localizada em Bento Gonçalves-RS, que pretende internalizar o setor de injeção de zamac, que atualmente é terceirizado. O método de trabalho envolveu as etapas de coleta de dados, mapeamento do processo, construção do modelo conceitual e a simulação dos cenários. Os resultados gerados pelo *software* apresentam indicadores de tempo de processamento, *setup*, ociosidade, máquina esperando transporte, tempo de utilização do operador, peça pronta esperando transporte e número de peças injetadas. Os diferentes cenários criados mostraram diferenças entre o modelo pensado atualmente e os cenários propostos, realizando o comparativo entre eles, e com isso, foi permitido calcular o *payback*. Foi validado o melhor cenário como solução ideal aquele que apresentou maior capacidade produtiva de todo o sistema. Baseado nisso, como estudos futuros, sugere-se a aplicação da simulação computacional em outros setores e processos da organização, analisando o comportamento de demanda histórica com modelos matemáticos de previsão de demanda.

Palavras-chave: Leiaute. Injeção. FlexSim. Modelagem e simulação. Linha de produção.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - As quatro fases do sistema SLP	21
Figura 2 - Arranjo físico por produto	22
Figura 3 - Arranjo físico por processo	24
Figura 4 - Evolução dos estados na simulação de eventos discretos e contínuos	29
Figura 5 - Metodologia de Simulação.	29
Figura 6 - Elementos básicos de um ACD.	31
Figura 7 - Fluxograma do Método das Três Fases.	32
Figura 8 - Conceitos fundamentais da verificação e validação.	33
Figura 9 - Conexão dos objetos 3D	37
Figura 10 - Puxadores em acabamento <i>Rosê</i>	39
Figura 11 - Organograma da empresa Zen Design	40
Figura 12 - Setor de injeção de zamac	41
Figura 13 - Cup, Beatle, Shell 64 e Plymouth 80	41
Figura 14 - Ordem de produção.....	42
Figura 15 - Quatro macro fases do estudo	44
Figura 16 - Injetora de Câmara Quente WJ-130T	49
Figura 17 - Estação de tratamento de resíduos ETR-3000/6000	49
Figura 18 - Torre de resfriamento HTL.....	50
Figura 19 - Vibrador circular do tipo VB-180.....	51
Figura 20 - Fluxograma do processo de injeção.....	52
Figura 21 - Disposição do maquinário e operadores no leiaute	53
Figura 22 - Unidades dos modelos de entrada.....	54
Figura 23 - Conexões no FlexSim	54
Figura 24 - Leiaute do setor de injeção conforme seu dimensionamento	55
Figura 25 - Propriedades do operador	56
Figura 26 - Tela de programação de entrada	57
Figura 27 - Tela de programação Injetora 1	58
Figura 28 - Tela de programação Injetora 2	58
Figura 29 - Primeira rodada de simulação.....	60
Figura 30 - Quantidade de peças injetadas	60
Figura 31 - Tempo médio de espera das injetoras e operadores.....	61
Figura 32 - Capacidade produtiva do processo de injeção	61

Figura 33 - Estado do processo	62
Figura 34 - Cenário A.....	65
Figura 35 - Quantidade de peças injetadas cenário A	66
Figura 36 - Tempo de espera médio cenário A	66
Figura 37 - Estado do processo cenário A.....	66
Figura 38 - Cenário B	67
Figura 39 - Quantidade de peças injetadas cenário B.....	68
Figura 40 - Tempo de espera médio cenário B.....	68
Figura 41 - Estado do processo cenário B	68
Figura 42 - Gráfico comparativo dos diferentes cenários.....	70
Figura 43 - Gráfico da quantidade de peças injetadas	71

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Dados de injeção dos últimos 10 anos.....	43
Tabela 2 - Estimativa de custos iniciais.....	63
Tabela 3 - Período de Recuperação do Investimento (<i>Payback Simple</i>).....	64
Tabela 4 - Comparação dos diferentes cenários	69
Tabela 5 - Quantidade de peças injetadas nos diferentes cenários	70
Quadro 1 - Recursos fixos do modelo de simulação	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACD	<i>Activity Cycle Diagram</i>
AVG	Veículo Guiado Automatizado
FIFO	<i>First-in, first-out</i>
GIGO	<i>Garbage in, garbage out</i>
NR	Normas Regulamentadoras
PCP	Plano de Controle de Produção
SAD	Sistema de Apoio à Decisões
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
WIP	<i>Work in Process</i>
ZAMAC	Liga de Zinco, Alumínio, Magnésio, Cobre
2D	Dois Dimensões
3D	Três Dimensões

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral.....	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	PLANEJAMENTO DE LEIAUTE.....	20
2.1.1	Leiaute por produto.....	22
2.1.2	Leiaute por processo	23
2.2	SIMULAÇÃO.....	25
2.2.1	Modelos Simbólicos, Icônicos ou Diagramáticos	27
2.2.2	Modelos Matemáticos ou Analíticos.....	28
2.2.3	Modelos de Simulação	28
2.2.4	Metodologia da simulação.....	29
2.2.5	Simulação de eventos discretos – etapas mais importantes	30
2.2.6	Simulação de eventos discretos no FlexSim.....	35
3	PROPOSTA DE TRABALHO	38
3.1	CENÁRIO ATUAL	38
3.2	PROPOSTA DE TRABALHO	44
3.2.1	Mapear o processo	45
3.2.2	Construir o modelo conceitual de simulação.....	45
3.2.3	Simular e gerar cenários	46
3.2.4	Validar com a Direção.....	47
4	RESULTADOS	48
4.1	DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO CASO.....	48
4.1.1	Discussão técnica do modelo	48
4.1.2	Elaboração do fluxo de trabalho	51
4.1.3	Elaboração do modelo computacional	53
4.1.4	Estimativas de gastos iniciais	59
4.1.5	Payback do investimento inicial	63
4.2	CENÁRIOS	64

4.2.1	Cenário A.....	64
4.2.2	Cenário B.....	67
4.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	69
4.4	REUNIÃO DE VALIDAÇÃO	71
4.5	CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....	72
5	CONCLUSÃO.....	73
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

A otimização do processo produtivo dentro dos métodos de uma organização tem influência direta no fluxo produtivo. Por exemplo, o correto dimensionamento do leiaute industrial tem impacto direto sobre o sistema produtivo, frente à oscilação de demanda, novos produtos, alterações de mercado, redução de material utilizado, menor congestionamento, menor perda de tempo com manuseio de materiais e treinamento e controle facilitado. De fato, o estudo do arranjo físico da produção permite ganhos no sistema de manufatura, além disso, o leiaute permite que os materiais, o pessoal e as informações fluam de uma forma eficiente e segura (TREIN, 2001).

Os problemas envolvendo leiautes industriais são difíceis e complexos de serem analisados, pois envolvem um grande conjunto de combinações e variáveis. Muitos arranjos físicos são confusos, pois o uso dos espaços e a instalação dos equipamentos carece de estudo prévio. Efetivamente, o processo de desenvolvimento neste ambiente está sujeito a problemas e acidentes. Segundo Muther (1976), o tempo despendido no planejamento do arranjo físico antes de sua implantação evita que as perdas assumam grandes proporções e possibilita que todas as modificações se integrem segundo um programa global e coerente, que permite o estabelecimento de uma sequência lógica para as mudanças, além de facilitá-las.

Tompkins *et al* (2013) entendem que o planejamento de instalações deve ser um processo de melhoria contínua, com foco em alcançar a excelência do desempenho total com vistas aos objetivos apresentados, tendo certeza que todas as partes envolvidas no plano se concentrem em prol destes objetivos. Percebe-se que a organização do arranjo físico preocupa-se em buscar a melhor combinação entre equipamentos e homem com as fases do processo. Segundo Slack (2002), o leiaute físico preocupa-se com a localização e distribuição espacial, ou seja, delimita onde serão colocados os equipamentos, instalações, máquinas e pessoas numa área de trabalho.

A análise sobre a logística de movimentação é muito importante na etapa de agrupamento das operações referentes ao fluxo do sistema, conduzindo de forma coletiva para um melhor controle. Nesta fase, segundo Ballou (2010), salienta-se o manuseio de materiais como uma das atividades que aborda a movimentação de matéria-prima por toda a sequência produtiva e que precisam estar presentes nos estudos de leiaute.

Tendo conhecimento que o planejamento de instalações é um processo complexo e dinâmico ao longo do tempo, Martins *et al.* (1998) justificam a complexidade pela variedade de tipos e formas de leiautes disponíveis. Os autores destacam que os principais tipos de

leiaute são por posição física, por processo, celular, em linha e combinados, conforme a lógica de disposição do maquinário, processo, produtos e operações.

Uma análise do cenário dos grandes negócios mostra que o uso da tecnologia está avançado, no que diz respeito ao uso de ferramentas de simulação computacional para minimizar as dificuldades e complexidades dos estudos de leiaute e garantir a melhoria dos processos. A aplicação da simulação, de acordo com Harrel *et al.* (2002), garante a tomada de decisões no desenvolvimento de sistemas de forma mais eficiente. Ademais, os autores entendem que podem ser analisadas mudanças referentes à disposição das máquinas e tempos de ciclos dos processos.

Decorrente deste contexto, uma das formas de viabilizar nas empresas a simulação computacional é a aplicação de uma ferramenta capaz de encontrar os gargalos presentes no chão de fábrica, a fim de que se possa investigar seus erros, seus problemas e os desperdícios gerados nos processos. Existem softwares comerciais que permitem fazer simulações de leiautes, como por exemplo o FlexSim, ProModel, Plant Simulation e Arena Simulation, e a partir deles, cada empresa escolhe aquele que é mais interessante de acordo com suas necessidades de recursos e de acessos.

Para tal, o presente trabalho evidencia que o estudo do leiaute é interessante em um ambiente de manufatura, questionando o número ideal de operadores no processo, quantidade de maquinário, adequação de estruturas e distância entre os arranjos e observação de gargalos. De fato, é esperada a aplicação de uma simulação que gere cenários para a tomada de decisão dos arranjos físicos.

Para isso, o trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro, é apresentada de forma breve a introdução, contextualização do tema apontado, justificativa do estudo, objetivos e abordagem das condições. No capítulo 2, é realizada a fundamentação teórica, com a revisão da literatura, abordando a concepção dos sistemas de produção, os tipos básicos de leiaute e os artifícios da simulação computacional de arranjos físicos. Já o terceiro capítulo aprofunda a metodologia utilizada neste trabalho, onde é realizado o estudo do caso de análise, a etapa de aplicação e os resultados esperados.

No capítulo quatro, são analisados os dados adquiridos com a aplicação do estudo proposto e feita a comparação entre os resultados obtidos, a fim de confrontar o leiaute atual com o proposto pelo estudo. Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões obtidas, assim como, apresentadas as delimitações e perspectivas futuras de trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Pedgen (1990) aborda que a simulação computacional é um processo real, capaz de conduzir experimentos sobre um sistema com o propósito de planejar seu comportamento e estimar suas devidas estratégias. A simulação computacional em leiautes, como falado anteriormente, entende-se ser de suma importância para prever o efeito que dadas ações gerarão no sistema de produção, auxiliando de forma eficaz nas tomadas de decisões. Como forma de apresentar a aplicabilidade, Piccolini e Figueiredo (1998) comentam ser necessário a construção de modelos, com suas devidas informações, para obter-se uma representação mais próxima do real, uma vez que a elaboração é feita baseando-se na percepção que se tem sobre o sistema de produção atual. Para elucidar o uso da aplicação de simulação em estudos de leiaute, na sequência são apresentados cinco estudos que tratam dessa temática.

No primeiro estudo de caso, Dos Reis *et al.* (2018) expõem a aplicação da simulação em uma empresa de embalagens de sorvete, que tem como objetivo apresentar uma proposta para otimizar o setor produtivo e estoques. A análise do processo foi mapeada por meio da ferramenta Bizzagi, que permite representar graficamente vários processos e as relações existentes entre eles, que por sua vez serviu na construção do modelo de simulação computacional utilizando o *software* Flexsim, capaz de desenvolver modelagem do processo em 3D. Nesse caso, foi analisado o cenário atual da empresa e um outro com a proposta de otimização e melhorias, que teve como principal resultado apresentado a substituição de duas máquinas arqueadoras semiautomáticas por uma máquina automática, aumentando a produção em mais de 100%.

Seguindo essa linha de aplicações da simulação computacional, Fornaza, Oliveira e Brito (2019) realizaram a simulação dinâmica do processo produtivo em uma empresa que produz óleo de coco, a fim de realizar possíveis melhorias e/ou modificações. Prosseguindo com a metodologia, realizaram uma coleta de dados em forma de entrevistas e questionários com os colaboradores dos setores, com o propósito de identificar o fluxo de produção, procedimentos e maquinários por onde o produto passa ao ser produzido. Todas as informações coletadas serviram para a construção do modelo do processo produtivo e, posteriormente, na montagem do modelo no *software* Flexsim, para eventual simulação, e a partir disso, realizaram-se melhorias, identificações de gargalos e problemas de ociosidade de funcionários, tempos de *setup* e realocações do arranjo físico.

Posteriormente, com a ideia que a solução para problemas de limitação de tempo, recursos financeiros e espaço físico encontra-se na simulação computacional, Pazim e Gomes

(2018) verificaram como o sequenciamento das atividades interferem em uma linha de produção no seu tempo de fila. A metodologia da simulação envolveu três grandes etapas, sendo elas: concepção ou formulação do modelo, implementação e a análise dos resultados, analisando os tempos de fila entre as atividades, os gargalos, o *Work in Process (WIP)* e a relação de peças que entraram e saíram do sistema em um período de tempo determinado. Como resultados, obtiveram a identificação de tal atividade sendo o gargalo da linha de produção, vantagens do correto sequenciamento de processos e economia de recursos.

No quarto estudo de caso, Melo, Nascimento e Moura (2018) apresentam a modelagem e simulação de um processo produtivo em uma central de processamento de alimentos congelados, com o objetivo de aumentar a capacidade produtiva de um açougue, a fim de analisar o comportamento de alguns parâmetros do sistema, esperando um melhor desempenho das variáveis no modelo operacional. Para tanto, o método abordado foi a coleta do número de ciclos necessários para representar bem o processo, realizando distribuições de probabilidade, gerando tempos que foram inseridos posteriormente no *software* de simulação computacional chamado *Flexsim*. Depois de validarem o modelo de simulação, realizaram vários testes de cenários, como troca de horários de almoço, troca de turnos e contratação de funcionários. Com sua devida aplicação, os resultados propostos foram a sugestão de formas de aumentar a capacidade produtiva, contratação de novos açougueiros, aumento do tempo disponível para produção, conseqüentemente atendendo a demanda semanal.

No quinto e último caso avaliado, no estudo de Simões, Lemos e Assis (2019), o objetivo foi a aplicação da ferramenta de modelagem e simulação utilizando o *software* Simio, para a construção de cenários, obtendo maximização de capacidade, otimização de processos e análise de gargalos. A metodologia proposta pelos autores procedeu-se com a coleta de dados, modelagem e simulação de cenários possíveis, elaboração do modelo, testes e validações e mapeamento de fluxo de valor, os quais foi escolhido como melhor solução aquela que apresentou o cenário de maior capacidade produtiva. A utilização do *software* de simulação permitiu obter resultados de extrema satisfação, com a estruturação da linha de produção, garantindo entrega dos contratos vigentes e maximizando os ganhos reais nas operações.

Analisando os estudos de casos anteriores, os autores conseguiram comprovar que com o auxílio da simulação computacional, ganhos na capacidade produtiva foram obtidos, bem como na lucratividade das operações. Espera-se que, na empresa em estudo, seja possível replicar esses estudos e obter ganhos na mesma proporção. Destaca-se os pontos de redução

de custos, aumento da produtividade e eficiência, facilidade de entrada e saída de materiais, melhores fluxos e ambiente de trabalho mais seguro para os colaboradores.

1.2 OBJETIVOS

Na sequência, são apresentados os objetivos geral e específicos do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é elaborar um estudo de simulação do fluxo do processo de injeção em uma empresa fabricante de acessórios para móveis.

1.2.2 Objetivos específicos

Do objetivo geral, derivam-se os específicos como sendo:

- a) mapear o processo atual de injeção;
- b) construir o modelo conceitual de simulação para o problema de injeção;
- c) gerar dois cenários para a análise e tomada de decisão;
- d) validar com a gestão da organização o modelo elaborado.

1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Nesse trabalho, será realizado um estudo exploratório que, segundo Gil (2017), tem a finalidade de proporcionar a familiaridade, formulação e entendimento inicial das variáveis do problema. As técnicas aplicadas são caracterizadas como quantitativas e qualitativas. De acordo com Turrioni e Mello (2012), as quantitativas são aquelas relacionadas aos experimentos como o levantamento de dados e a modelagem e simulação, já as qualitativas, com os procedimentos descritivos das entrevistas para identificação dos pontos críticos nos layouts estudados.

Além disso, aplica-se o método de modelagem e simulação. Segundo Turrioni e Mello (2012), esse método deve ser organizado em quatro fases, sendo elas conceitualização (criação do modelo conceitual); modelagem (construção do modelo quantitativo); solução do modelo (experimentações realizadas através do modelo simulado); e por último a fase de implementação (resultados obtidos são executados).

Para atender a este método de pesquisa, o estudo está organizado através dessas quatro fases, sendo a base do estudo a aplicação de um *software* de simulação computacional em uma empresa de acessórios para móveis. Resumidamente a primeira fase, de mapear o processo atual, envolve entender o fluxo, tempo de ciclo, capacidades, disponibilidades, ociosidade de máquinas e funcionários envolvidos no processo de injeção.

Posteriormente, com os dados coletados, é construído com auxílio do *software* FlexSim, o modelo computacional de simulação, que consiste da implementação computacional de um modelo do sistema em estudo, verificando-o frente ao modelo conceitual. A terceira fase é a construção de cenários simulando o fluxo do processo de injeção de diversas formas, analisando a quantidade de produtos a ser produzido, variedade de peças injetadas, tamanho, número de máquinas e funcionários e a otimização do espaço.

Com os cenários criados, serão tomadas as decisões a fim de aprimorar e padronizar todo o processo, melhorando a eficiência e diminuindo a quantidade de matéria-prima necessária para assegurar a segurança e a operacionalidade. A quarta e última fase é o processo de validação frente à gestão da organização. Nessa fase, são usados indicadores de produtividade, aquisição e reposição de suprimentos, estoque, movimentação de capital, dimensionamento das instalações, armazenagem, transporte e ergonomia.

Por se tratar de um processo novo para a empresa, já que atualmente o setor de injeção de zamac é terceirizado, a simulação computacional será importante para a futura aquisição de máquinas, contratação de funcionários, estudo de espaço físico, estoque e ampliação da empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo tem por objetivo tratar sobre o planejamento de leiaute e a temática de simulação, possibilitando o uso desses conceitos na posterior elaboração do método e geração de resultados do trabalho. De fato, são explicados os conceitos de leiaute por produto e por processo, analisando seus diferentes tipos de aplicações. Além disso, o assunto de simulação é detalhado por meio de seus diversos tipos e etapas do processo.

2.1 PLANEJAMENTO DE LEIAUTE

A partir da Revolução Industrial, os donos das fábricas perceberam que seria mais econômico estudar a reorganização dos maquinários, surgindo o conceito de leiaute. Conforme Slack, Chambers e Johnston (2009), o posicionamento físico dos recursos transformadores, como materiais, informações e clientes, fazem parte do arranjo físico de uma operação produtiva, significando decidir onde posicionar corretamente todas as instalações de máquinas, equipamentos e pessoal da operação. Os autores afirmam ainda que os posicionamentos de recursos, uns em relação aos outros, e como as tarefas das operações serão alocadas, irão determinar o padrão do fluxo dos recursos à medida que eles sucedam pelo processo ou operação.

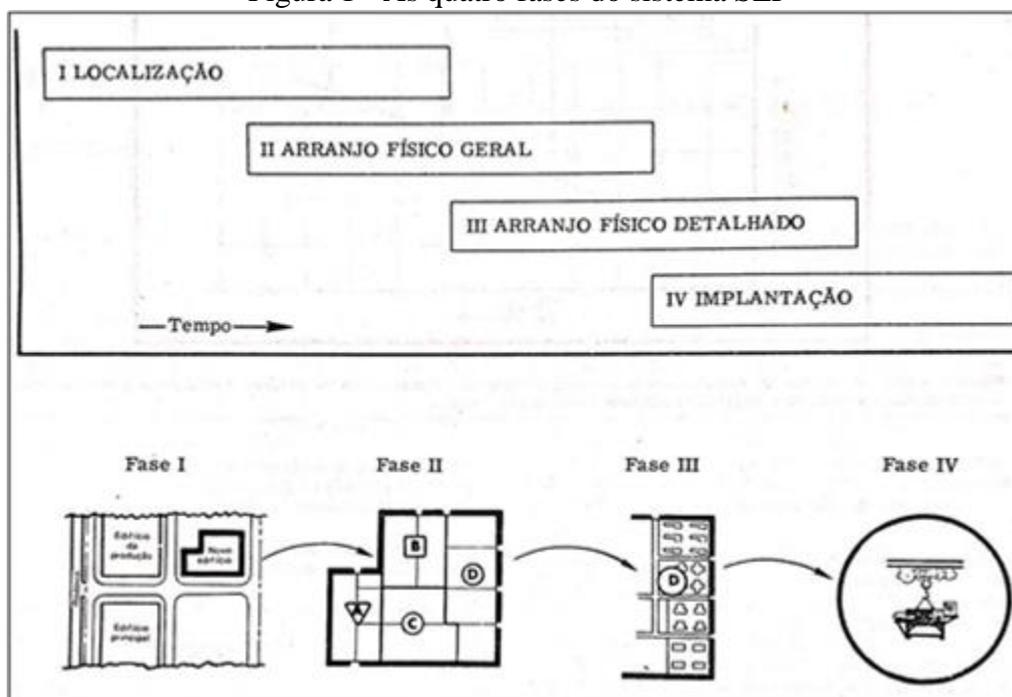
Ao longo do planejamento de uma instalação, o conceito do leiaute se dá após a definição da localização, estando relacionado com a concepção do projeto de sistemas para dimensionamento de materiais e das redes de infraestrutura (Tompkins *et al.*, 2010). A construção do leiaute de certa instalação segundo Moreira (2008), significa ter o controle das decisões sobre a forma de como os equipamentos serão dispostos, analisando o centro de trabalho, ou seja, qualquer coisa que ocupe espaço, tanto um departamento, uma pessoa ou um grupo de pessoas, uma sala, equipamentos, máquinas, bancadas e estações de trabalho, ou seja, sempre irá existir uma preocupação em fazer o movimento do trabalho por meio de sistemas de forma mais fácil e suave possível, se referindo ao fluxo de materiais ou de pessoas.

Buscando um tipo de benefício, Muther (1976) apresenta uma técnica bastante conhecida na indústria de manufatura, que é destinada ao projeto e à análise de leiautes industriais: o Planejamento Sistemático de Layout (SLP), que é composto por quatro fases de estruturação e uma série de identificações e avaliações envolvidas na elaboração do nível que se deve adotar no projeto do arranjo físico da produção. É dividido da seguinte forma:

- a) localização: determina a localização da área a ser utilizada para o planejamento das instalações do novo leiaute ou rearranjo;
- b) arranjo físico geral: nesta fase, são trabalhados em conjuntos os fluxos e as áreas, de forma que as inter-relações sejam estabelecidas, chamada de arranjo de blocos (*block-layout*);
- c) arranjo físico detalhado: é a localização de cada máquina e equipamento, incluindo todos os seus suprimentos e serviços;
- d) implantação: nesta última fase, são planejados os passos para a implantação e movimentação dos recursos atuais.

Todas as fases citadas apresentam uma inter-relação. Embora pareça que há uma dependência entre elas, o projeto pode ser feito com apenas uma ou duas fases, especialmente quando o SLP é executado no rearranjo de leiautes existentes e que possuem necessidades mais específicas de melhoria. A Figura 1 mostra, pela visão de Muther (1976), as fases do sistema SLP.

Figura 1 - As quatro fases do sistema SLP



Fonte: Muther (1973).

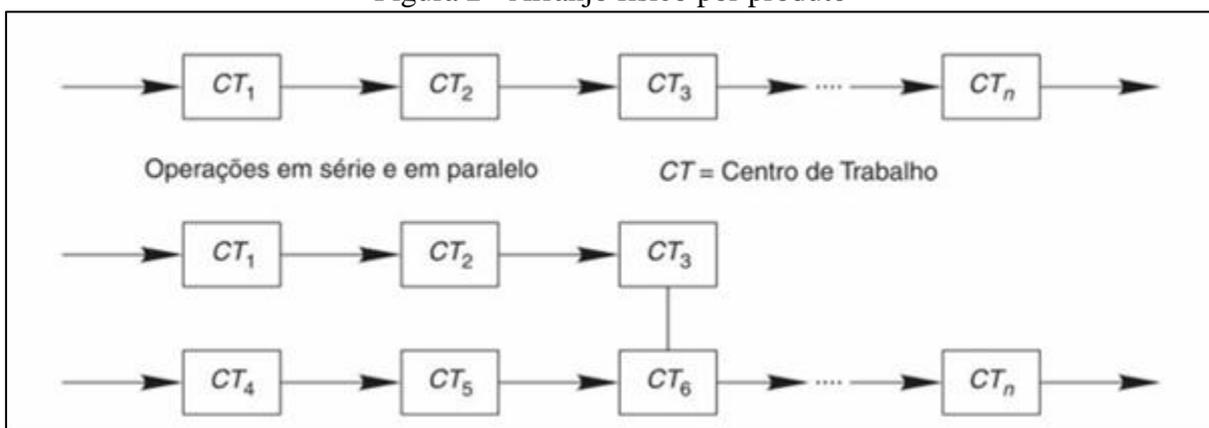
Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), a importância para um bom arranjo físico, depende dos objetivos estratégicos de uma operação, sendo alguns desses objetivos

mais relevantes, como o conforto dos funcionários, oferecendo um ambiente agradável; clareza de fluxo de materiais, sinalizando o maquinário e os corredores; segurança em todos os processos, com saídas de emergências bem sinalizadas; acessibilidade, com todas as máquinas, instalações e equipamentos com nível acessível para limpeza e manutenção e uso adequado do espaço, maximizando o local utilizado. Enfatizando a importância do estudo de leiaute ideal, Coleone e Fróes (2019) citam que há inúmeros motivos para as indústrias modificarem o arranjo físico de suas organizações, que vão desde a necessidade de expansão da capacidade produtiva, introdução de nova gama de produtos, segurança, economia de movimentos, melhoria no ambiente de trabalho e flexibilidade de longo prazo.

2.1.1 Leiaute por produto

O arranjo físico por produto é também denominado linha de produção ou linha de montagem, por Moreira (2008). Além disso, Moreira (2008, p. 240) afirma que “é usado quando requer uma sequência linear de operações para fabricar o produto ou prestar serviço”. Dessa forma, expõe que cada centro de trabalho se torna responsável por um segmento especializado em serviço ou produto, sendo que todo o fluxo de materiais e pessoas da organização se torne balanceado com os vários centros, de forma conseguir uma determinada taxa de atendimento ou produção, mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Arranjo físico por produto



Fonte: Moreira (2008).

De forma a melhor caracterizar o leiaute por produto, de acordo com Moreira (2008) conta com cinco características:

- bastante adequado a produtos com alto grau de padronização ou com absolutamente nenhuma diversificação;

- b) fluxo de materiais é totalmente previsível, com o provável transporte automático de material;
- c) sistema pode se ajustar a diversas taxas de produção;
- d) investimento de capital são altos devido à presença de maquinários extremamente especializados e projetos para altos volumes;
- e) altos custos fixos e baixos custos de mão de obra e materiais.

Conforme explanam Slack, Chambers e Johnston (2009), envolve localizar os recursos produtivos a fim de analisá-los da melhor forma, sempre visualizando todos os processos para chegar na construção do modelo final. Conta que cada produto segue um roteiro predefinido, no qual a sequência de suas atividades coincide com a sequência na qual os processos foram arranjados fisicamente, seguindo um fluxo claro e previsível ao longo da linha de produção, o que faz dele um arranjo relativamente fácil de controlar. Alguns exemplos de arranjo físico por produto são: montagem de automóveis, que requerem a mesma sequência de processos; programa de vacinação em massa, sendo que todos os clientes requerem da mesma sequência de atividades burocráticas; e restaurante *self-service*, geralmente seguindo a sequência de serviços, como entrada, prato principal e sobremesas.

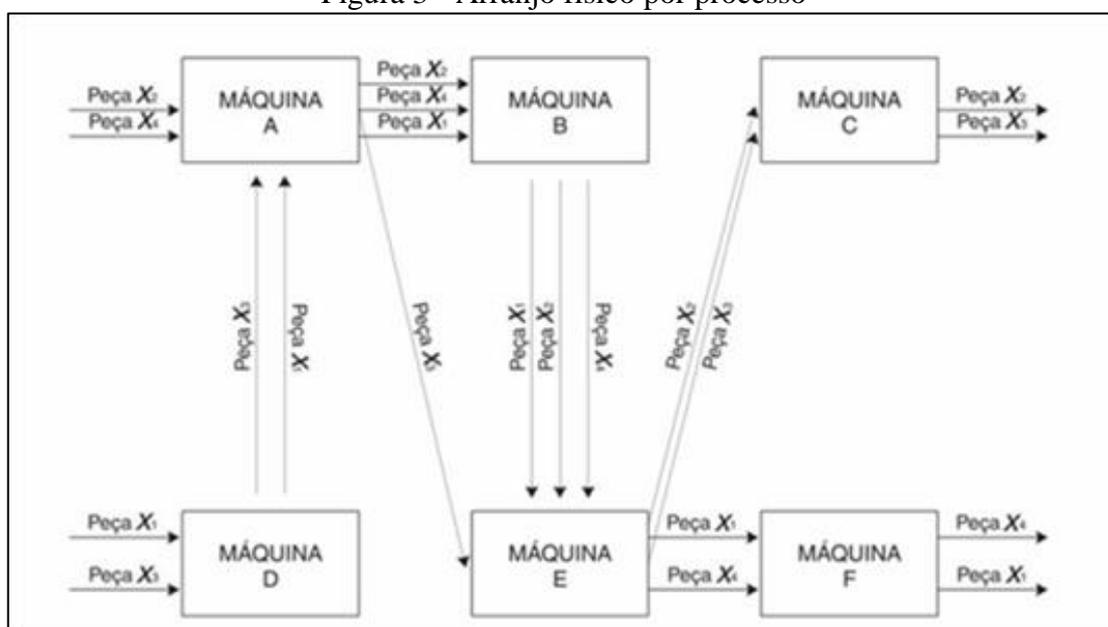
Sendo assim, Gaither e Frazier (2002) afirmam que os trabalhadores desse tipo de leiaute realizam atividades repetitivamente em somente alguns projetos do produto, por isso, a quantidade de habilidade, supervisão e treinamento são pequenas. Por fim, Moreira (2008) cita que as principais vantagens são o baixo custo unitário do produto devido ao grande volume de produção, o manuseio reduzido de materiais, baixos custos de treinamento, alta produtividade e baixa quantidade de estoque em processamento. Entre as desvantagens, conta com movimentos repetitivos, afetando a moral e a motivação dos empregados, rigidez do sistema, trazendo um grau considerável de inflexibilidade a variações do projeto ou processo e altos custos associados a baixas demandas. Falhas em determinadas partes do processo podem afetar profundamente as outras operações, já que todas estão ligadas em sequência.

2.1.2 Leiaute por processo

O leiaute funcional, também denominado leiaute por processos, foi a primeira abordagem utilizada para o posicionamento dos recursos (Silva, 2009), e mesmo com suas retenções, sendo ainda amplamente aplicado tanto nas metalúrgicas como em áreas de escritório. Moreira (2008, p. 241) elucida que é um processo “característico de muitas

indústrias e provavelmente da maioria das atividades de prestação de serviços, os centros de trabalho são agrupados de acordo com a função que desempenham”. Cita que alguns exemplos desse tipo de leiaute são os hospitais, escolas, armazéns, bancos e muitas outras atividades organizadas por processo. Já na indústria, os departamentos funcionais são agrupados com diversas máquinas que realizam a mesma função e o produto caminha de uma máquina até o próximo processo. Esses mesmos maquinários, servem para produtos diferenciados, aumentando a versatilidade do sistema a mudanças em escopo do projeto e/ou processo. (Figura 3).

Figura 3 - Arranjo físico por processo



Fonte: Moreira (2008).

De forma a melhor caracterizar o leiaute por processo, de acordo com Moreira (2008) conta com cinco características:

- adequação do processo a uma variedade de produtos ou prestação de diversos serviços;
- produtos específicos passam pelos centros de trabalho necessários, formando uma rede de fluxos;
- índice de produção são relativamente baixos, comparados ao leiaute por produto;
- equipamentos comercialmente disponíveis sem necessidade de projeto específico, havendo uma troca entre os dois tipos de leiaute com flexibilidade;
- comparado ao leiaute por produto, os custos fixos são relativamente menores, mas os custos com mão de obra e matéria-prima são relativamente maiores.

Recursos ou processos são localizados juntos um do outro, que segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), a razão disso é que podem ser convenientes para certas operações eles estarem juntos, utilizando todos os recursos transformadores de forma que seja beneficiada. Isso significa que quando os produtos ou clientes passarem pelas operações, percorrerão um roteiro de exercício em exercício, de acordo com suas necessidades específicas, geralmente fazendo com que o padrão do fluxo na operação seja bastante complexo. Gaither e Frazier (2002, p. 199) definiram que “se a instalação da manufatura produzir uma variedade de produtos personalizados em lotes relativamente pequenos, a instalação provavelmente usará leiaute por processo”. Citam também que os trabalhadores devem mudar e adaptar-se rapidamente ao grande número de operações a serem executadas em cada lote; e devem ser altamente habilitados com instruções de trabalho e supervisão técnica intensiva.

No que diz respeito às vantagens desse leiaute, Moreira (2008) comenta sobre a flexibilidade do sistema em adaptar-se a serviços ou produtos variados, equipamentos mais em conta e menores falhas localizadas no sistema em comparação ao leiaute por produto e, por último, o sistema permite implantar incentivos individuais. Já com relação às desvantagens desse processo, conta com um estoque de material em processo elevado, bloqueando a eficiência do sistema; programação e controle da produção tornam-se complexos, ao terem que trabalhar com variedades de produtos e manuseio de materiais, tende a ser ineficiente.

2.2 SIMULAÇÃO

Apesar da simulação computacional ter origem na década de 50, onde era aplicada para fins militares, Chwif (2002) comenta que teve um forte crescimento nas duas últimas décadas ampliando para áreas como manufatura e serviços. A primeira a adotar a simulação em grande escala foi a manufatura, graças ao grande desenvolvimento de *hardware* e *software*, fazendo com que o método de simulação seja cada vez mais transmitido entre engenheiros, administradores, gerentes de empresas e mesmo os leigos no assunto. De acordo com o autor, há outras razões para o aumento da popularidade da simulação computacional, como os resultados mais precisos e realísticos, comparados a planilhas ou outras formas de se ter algumas conclusões sobre determinado sistema. Além do mais, a simulação é um mecanismo profundamente poderoso e eficaz na classificação de sistemas complexos, com um imenso número de dados variáveis entres eles.

No que se diz respeito à definição de simulação, de acordo com Chwif e Medina (2010, p.3), “o termo simulação pode ser classificado em duas grandes categorias: a simulação computacional e a simulação não computacional”. A simulação computacional tem necessidade de auxílio de um computador para ser realizada, já a simulação não computacional, como o próprio nome já diz, não tem a necessidade de um computador para executá-la. Conforme a definição dos autores, são sistemas que sempre pressupõem interações causa-efeito entre as partes que o integram, sendo essas interações identificadas, onde o objetivo deve ser conhecido com clareza.

Um das definições mais completas sobre o conceito de simulação é atribuído a Bateman *et al.* (2013, p.2), sendo que “é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno”. Cria-se a possibilidade de simular fenômenos desejados que permite conceder com que intensidade representativas seriam as mudanças, colaborando com a tomada de decisões futuras, transformando seu início em incerto, mas evidenciando a sua importância e crescimento. O modelo posiciona os elementos do sistema de forma que seja possível compreender a realidade baseados em fenômenos conhecidos, permitindo-nos a executar experimentos que nos auxiliem na tomada de decisões, prevendo o comportamento do sistema real. Se o modelo expressa um bom resultado, os níveis de satisfação são confirmados sobre o estudo de caso, já se não houver resultados dentro das expectativas, são efetuadas algumas mudanças na esperança de criar um modelo que refletia melhor a realidade.

Avanços na tecnologia da simulação tem tornado o uso de modelos mais aplicáveis às decisões de rotina, que segundo Bateman *et al.* (2013), são especialmente usadas no projeto de sistemas de projeção de possíveis estados futuros baseados nos dados atuais. Um modelo de simulação bem construído poderá gerar estimativas do desempenho em relação a tempos de passagem, utilização de recursos, dimensionamento de setores e tempos reais de processo, sendo construído em um modelo de animação em tela de computador, apresentando uma reprodução gráfica, ilustrando o fluxo de peças, pessoas e outras entidades no processo. A simulação expõe excelente performance no estudo de mudanças sugestivas a um processo existente ou no projeto de um novo sistema, tornando-se uma ferramenta ideal para avaliar ideias, sendo nesse contexto, em que gerentes e engenheiros irão tomar decisões sobre o impacto que essas mudanças irão causar nos processos.

As maiores vantagens da simulação computacional, segundo Chwif (2002), são:

- a) diminuição de riscos de acidentes: qualquer problema com a lógica de controle será detectado na simulação, evitando problemas ou danos;
- b) diminuição de problemas que poderão ocorrer no campo: a lógica será testada no “laboratório” antes de ser colocada em prática;
- c) testes extensivos: com a simulação, uma ampla gama de situações podem ser geradas para testar a lógica de controle;
- d) o custo de cada rodada de simulação / *setups* no modelo é desprezível: uma vez que o modelo de simulação foi construído e customizado, o custo é mínimo.

Desta maneira, a ferramenta de análise que melhor se associa com a natureza dos sistemas de manufatura automatizados é com certeza a simulação. O autor finaliza ressaltando que não é à toa que algumas corporações só aprovam investimentos em sistemas automatizados somente se os respectivos forem previamente simulados. Apesar desta tecnologia ser amplamente aplicada nos países da Europa e EUA, a utilização da simulação no Brasil está muito restrita a algumas empresas. Na visão dele, não é causado pelos custos da simulação, que são desprezíveis em relação às melhorias e benefícios que estas podem reverter. Isto é causado pelo desconhecimento da tecnologia e, muitas vezes, pelo paradigma de que as técnicas de simulação não conseguem chegar num nível de realismo grande.

Um modelo de simulação é uma abstração da realidade, que se aproxima do verdadeiro comportamento do sistema, mas sempre mais simples que o real (Chwif e Medina, 2010). Segundo eles, a principal intenção da modelagem é capturar o que realmente é importante no processo para a finalidade em questão, sabendo que os modelos de simulação possuem natureza dinâmica, aleatória e formados por entidades que se interagem de forma lógica. Chwif e Medina (2010) distinguiram os modelos de simulação em três categorias básicas de modelos, como seguem.

2.2.1 Modelos Simbólicos, Icônicos ou Diagramáticos

Um modelo denominado simbólico é composto por símbolos gráficos que representam um sistema de maneira estática. Um fluxograma de processo pode ser considerado como um modelo simbólico. As grandes limitações deste tipo de modelo, são a falta de elementos quantitativos e a falta de representarem muitos detalhes de um mesmo sistema, utilizado principalmente na documentação de projetos e como ferramenta de comunicação.

2.2.2 Modelos Matemáticos ou Analíticos

Os modelos matemáticos podem ser identificados como um conjunto de fórmulas matemáticas, como por exemplo, os modelos de Programação Linear ou os modelos analíticos da Teoria das Filas. Na maioria das vezes, esses modelos são de natureza estática e não apresentam soluções analíticas. Por outro lado, devido a sua natureza, a solução é rápida e exata. Por exemplo, um sistema de fila única, com disciplina *FIFO*, que significa que o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.

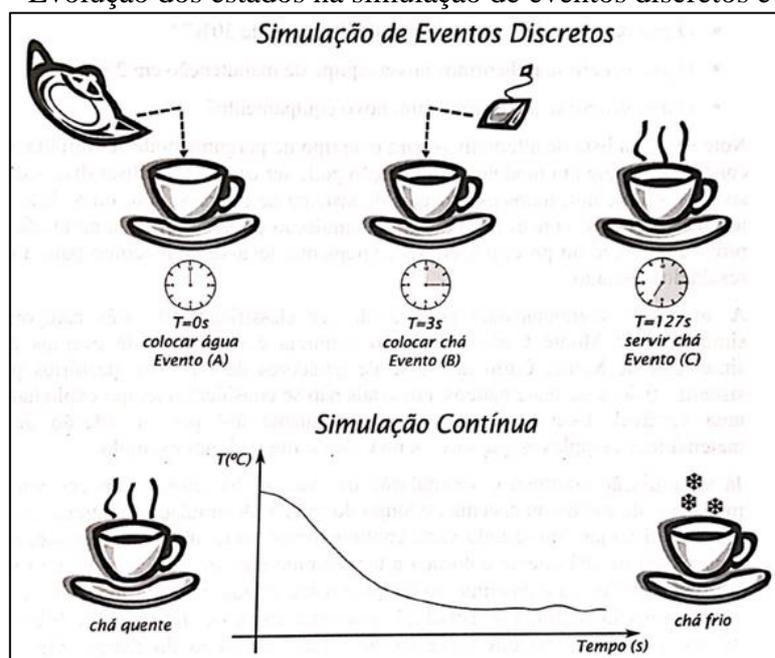
2.2.3 Modelos de Simulação

Um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade situações que apresentam maior complexidade, devido, principalmente, a sua característica dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo), procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando obrigado às mesmas condições de contorno. São particularmente usados para responder perguntas do tipo: "o que ocorre se...", e podem ser divididos em três grupos:

- a) simulação de Monte Carlo: utiliza geradores de números aleatórios para simular sistemas matemáticos ou físicos, nos quais não se considera o tempo como uma variável. É particularmente útil para a solução de problemas matemáticos complexos que surgem no Cálculo Integral;
- b) simulação contínua: é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente com o tempo. Equações diferenciais são utilizadas para o cálculo das mudanças das variáveis de estado ao longo do tempo;
- c) simulação de eventos discretos: é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos.

No primeiro caso, na Figura 4, a simulação de eventos discretos é representada pela preparação de uma xícara de chá, seguindo uma sequência lógica com a colocação da água quente na xícara, colocação do chá na água e disponibilização do chá. Esse caso é um exemplo típico dessa simulação, pois cada evento ocorre em instantes determinados no tempo. Já no segundo caso, o fenômeno de resfriamento do chá é contínuo no tempo e seu estado pode ser mais bem conduzido por uma simulação contínua.

Figura 4 - Evolução dos estados na simulação de eventos discretos e contínuos



Fonte: Chwif e Medina (2010).

2.2.4 Metodologia da simulação

Após a definição e análise de um determinado sistema, o próximo passo é escolher o melhor modelo de simulação que melhor se aplica. Chwif e Medina (2010) sugerem seguir certos passos, a fim de que o estudo de simulação seja eficaz e bem-sucedido. Esses determinados passos são conhecidos como “metodologias de simulação” ou “ciclos de vida de um modelo de simulação” (Law e McComas, 1991).

Basicamente, a metodologia de simulação compõe-se de três grandes etapas, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Metodologia de Simulação.



Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010).

Na primeira etapa, a concepção, o observador de simulação deve compreender perfeitamente todo o sistema a ser simulado e seus objetivos, através de discussões do problema proposto frente aos especialistas, definindo com clareza qual será o escopo do problema, suposições, seu nível de complexidade e detalhamento, cronograma e a coleta de dados de entrada. O autor comenta sobre a expressão GIGO, que é muito utilizada na engenharia de *software* junto aos modelos de simulação, sendo importante a coleta de dados para alimentar o modelo. Após finalizado, o modelo está na mente do analista e deve ser representado de acordo com as técnicas de modelos de simulação, a fim de torná-lo um modelo conceitual, para que outras pessoas envolvidas no projeto, possam entendê-lo e ajudá-lo.

Já na segunda etapa, a implementação, o modelo conceitual é alterado para um modelo computacional, através do emprego de linguagens de simulação ou de um simulador comercial. Essa etapa, graças ao avanço tecnológico dos simuladores atuais, não consome tanto tempo quanto no passado, sendo seu consumo em torno de 20% a 30% do tempo total de um estudo de simulação. O modelo computacional deve ser comparado ao modelo conceitual para que se possa avaliar se a sua operação atende o que foi deliberado na etapa anterior. Para sua validação, é realizada a “verificação e validação” do modelo e os resultados gerados devem ser comparados para que o modelo tenha uma representação precisa da realidade, obedecendo seus objetivos.

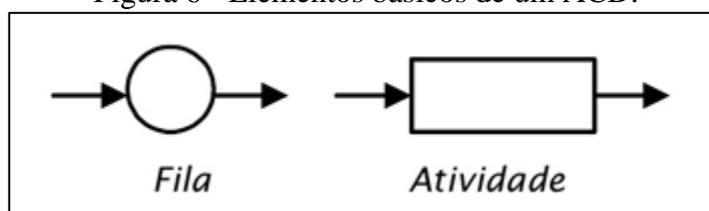
Com o modelo computacional pronto, na terceira e última etapa, a análise, são realizados os experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nessa etapa, são gerados inúmeros cenários e os resultados são analisados, discutidos, comparados e documentados para uma futura execução; e caso os resultados da simulação não forem satisfatórios, o modelo poderá ser alterado e este ciclo é reiniciado.

2.2.5 Simulação de eventos discretos – etapas mais importantes

Para as etapas serem executadas e haver uma simulação bem-sucedida, serão utilizadas ferramentas de mapeamento do processo e modelagens conceituais, destacando a etapa da criação do modelo conceitual e a validação e verificação do modelo, onde será possível notar a eficiência e sua aceitação. O modelo de simulação, segundo Chwif e Medina (2010), busca representar fielmente um sistema a fim de torná-lo um modelo computacional, representando os diversos fenômenos aleatórios presentes no sistema, a partir da observação e levantamento de dados, de forma que seja o mais representativo possível do sistema real proposto.

Após a elaboração do modelo abstrato, que significa identificar o que realmente é importante no sistema e trazer para o modelo, os autores recomendam colocá-lo no papel através de alguma técnica adequada de representação de modelos de simulação conceitual, sendo essa etapa a mais importante de um estudo de simulação (Law e McComas, 1991). Uma das técnicas mais fáceis de entendimento e de utilização, é o ACD, *Activity Cycle Diagram*, ou Diagrama do Ciclo de Vida, que é uma forma de modelagem das relações entre os objetos pertencentes a um sistema, com fortes características de geração de filas. Eles são basicamente simples, utilizam 2 símbolos para descrever o ciclo de vida das entidades, sendo uma circunferência que representa uma “fila”, e um retângulo que representa uma atividade, como visto na Figura 6. Um estado passivo não envolve cooperação entre diferentes classes de entidade (qualquer componente que possa reter sua identidade ao longo do tempo), pois vai depender de o indivíduo estar aguardando alguma coisa acontecer, sendo que o ciclo de vida das filas e das atividades é definido pela entidade. Um ACD completo, irá depender da combinação de todos os ciclos de vida individuais de cada uma delas.

Figura 6 - Elementos básicos de um ACD.

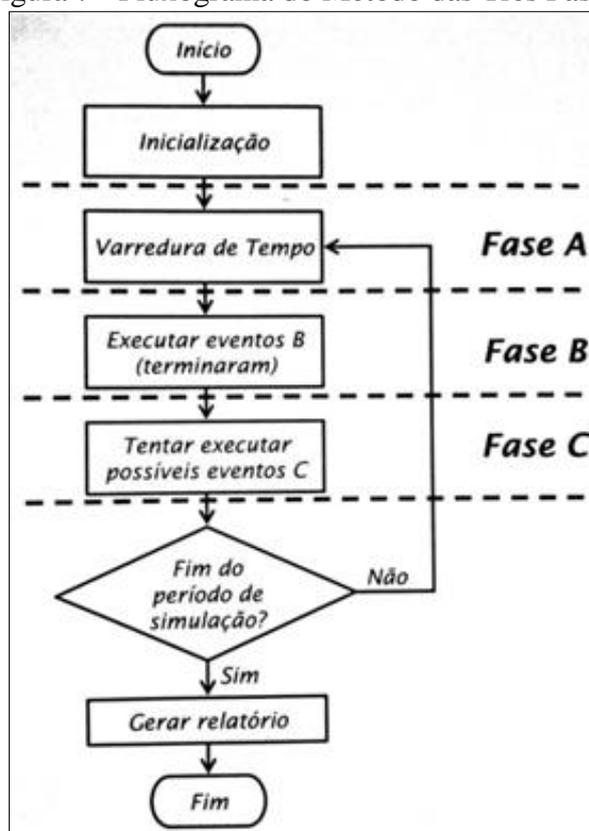


Fonte: Adaptado de Chwif e Medina (2010).

Após a criação do modelo conceitual de simulação, o próximo passo é garantir que a lógica do sistema esteja bem desenvolvida, e um dos melhores modos de efetuar é realizando uma simulação manual. Para executar isso com auxílio do ACD, é recomendado desenhar todos os ciclos de vida em uma folha de papel grande utilizando diferentes cores para distinguir os ciclos das diferentes entidades. A medida que uma atividade se inicia, sua duração pode ser demonstrada por uma distribuição específica e o tempo em que ela terminará pode ser listado em uma planilha de eventos futuros. Este será chamado de evento limite, pois seu instante final é conhecido pelo simulador.

Um dos mais famosos métodos para executar uma simulação, é conhecido como o Método das Três Fases, sendo que a simulação se dá com uma repetição das seguintes fases, como elucidada a Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do Método das Três Fases.



Fonte: Chwif e Medina (2010)

- a) fase A: verificação dos tempos de término para todas as atividades;
- b) fase B: mover as entidades após seu término para suas filas apropriadas;
- c) fase C: procurar as atividades em ordem segundo sua numeração, seguindo uma sequência.

Os autores comentam sobre as principais vantagens de se representar um modelo através da técnica ACD, que são:

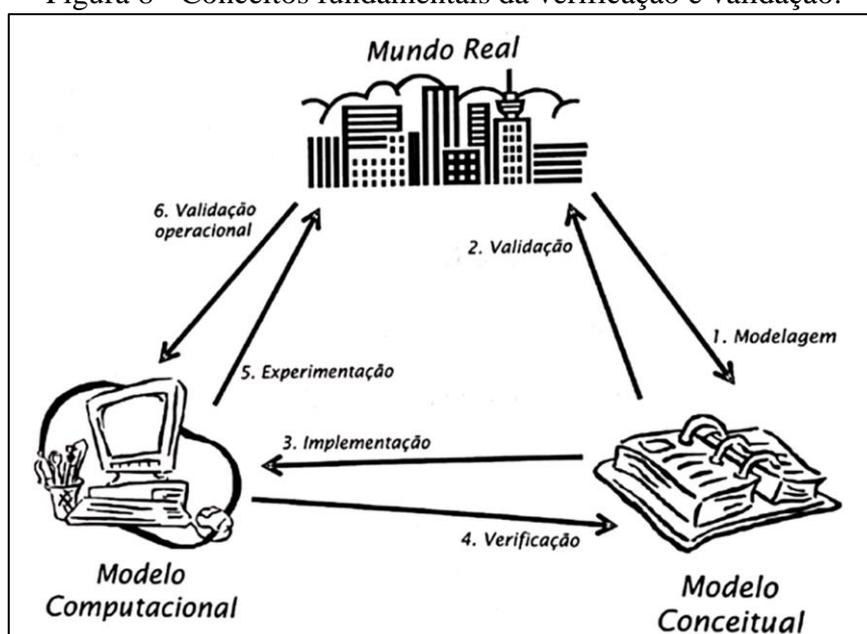
- a) simplicidade, sendo possível construir um modelo de simulação conceitual com apenas dois símbolos;
- b) habilidade de mostrar, sem restrições, as interações entre os objetos do sistema e seus fluxos;
- c) facilidade de compreensão e aproveitamento;
- d) servir de estrutura básica para alguns simuladores.

Para finalizar essa parte de criação do modelo conceitual, deve-se especificar alguns itens importantes que não poderão ser desconsiderados para o simulador:

- a) objetivos: identificação do problema e verificação de atendimento de metas – gargalos, filas excessivas, baixa produtividade, nível de serviço e metas de trabalho.
- b) conteúdo: apresentação do escopo do modelo, nível de detalhamento e caracterização dos fluxos e processos envolvidos;
- c) entradas: parâmetros que alimentam o simulador;
- d) saídas: medidas de desempenho que representam as respostas do sistema;
- e) hipóteses e simplificação do modelo: tomar cuidado especial com as hipóteses, pois são fáceis de confundir a característica do modelo;
- f) definições de rodadas: serão definidos os cenários que serão simulados.

A última etapa, o processo de validação e verificação de modelos de simulação, é essencial para que um estudo de simulação seja próspero. Como explicam Chwif e Medina (2010), o termo validação está interligado ao modelo conceitual e seu objetivo equivale a responder a seguinte pergunta: “Será que estamos desenvolvendo o modelo correto?”. Assim sendo, a validação de um modelo é realmente muito direta, tendo-se que checar se o modelo comporta-se como o mundo real sob as mesmas condições. Já a verificação, está sempre relacionada com o modelo computacional. Desse modo, a validação está relacionada com o que será modelado, enquanto a verificação está relacionada com o modo como o modelo está efetivado. A Figura 8 ilustra esses conceitos.

Figura 8 - Conceitos fundamentais da verificação e validação.



Fonte: Chwif e Medina (2010).

Algumas técnicas ou procedimentos de verificação de modelos de simulação são comentadas pelos autores a fim de facilitar o entendimento, como a retirada de *bugs* do modelo computacional, são elas:

- a) implementação ou verificação modular: técnica de programação que também é aplicada à implementação de modelos de simulação, sendo aconselhado implementar partes do modelo e depois rodar somente esta parte.
- b) valores constantes ou simplificados vs. cálculos manuais: na simulação pode-se utilizar uma ampla gama de distribuição de probabilidades.
- c) utilização de *debugger*, *trace* ou depurador: possibilidade de fazer a simulação andar passo a passo e de visualizar eventos que estão correndo e eventos futuros.
- d) simulação manual: analista ganha uma “sensibilidade” prévia do comportamento do modelo.
- e) animação gráfica: geração de imagens representando os dados e informações, sendo uma poderosa ferramenta de verificação.
- f) revisão em grupo: fazer a implementação do modelo e deixar para outra pessoa ou grupo, verificar se o modelo está funcionando.

Já no processo de validação, as principais técnicas de modelos são:

- a) testes de *Turing* ou validação *black-box*: esse teste só é possível quando se tem os resultados operacionais do sistema real e quando se está simulando o próprio, sendo que qualquer melhoria não pode ser contemplada nessa fase.
- b) duplicação de modelos: dois grupos de equipes desenvolvendo o modelo, para no futuro realizar a comparação entre os mesmos e analisar os resultados em comum.
- c) comparação com modelos anteriores: utilização de modelos anteriores para buscar indícios da validade do modelo atual.
- d) análise de sensibilidade: determinar as influências de alterações dos parâmetros de entrada nos resultados obtidos a partir do modelo.
- e) validação “face a face”: discussão entre o analista e com quem realmente entende do processo que foi simulado.

Enfim, a validação dos dados é extremamente importante para a validação e verificação e podem ser utilizados em três finalidades básicas: construção do modelo conceitual, validação dos dados e experimentação.

2.2.6 Simulação de eventos discretos no FlexSim

Simulações de eventos discretos permitem representar episódios complexos com extrema rapidez. Em virtude das inúmeras fontes de incerteza e do grau de complexidade operacional relacionada ao processo de injeção, o método utilizado tem por base a técnica de simulação computacional, utilizando-se o *software* FlexSim. O *Software* em questão, segundo o *site* do FlexSim (2020), permite “realizar experimentos em seus processos em um ambiente virtual utilizando tecnologia digital, reduzindo os riscos e custos, eliminando perdas de tempo com tentativas e testes que são realizados em um processo físico real”. O FlexSim fornece aos tomadores de decisão, os dados e apontadores para que possam ter êxito em suas decisões, observações, com relatórios e análises, construídos e efetuados dentro do próprio *software*.

Inúmeras empresas buscam garantir que os custos interligados ao tempo, equipamentos e outros investimentos estejam sendo examinados e otimizados. A simulação de eventos discretos na manufatura é um método barato e sem risco de testar vários cenários diferentes, desde pequenas revisões até redesenho total, sempre focando em atingir as metas de produção propostas, como redução de custos de material, transporte e mão de obra. A simulação também fornece uma maneira de testar e aplicar os princípios da manufatura enxuta e do Seis Sigma.

O *software* FlexSim, voltado à simulação em manufatura, tende a responder perguntas importantes que irão ajudar os tomadores de decisão a enfrentar os problemas do dia a dia.

Alguns exemplos:

- a) adição de novos equipamentos na fábrica aumentaria o rendimento ou criaria um gargalo?
- b) adicionando uma nova linha de produtos atingiria as metas de produção?
- c) qual o *payback* após investir em novos equipamentos para a linha de produção?

O FlexSim se torna uma ferramenta de comunicação eficaz quando precisa-se demonstrar novas propostas de mudanças em sistemas de negócio, treinamento de funcionários no comportamento geral do sistema, desempenho relacionado ao trabalho e simulação de cenários de setores futuros inseridos no chão de fábrica.

Muitas empresas têm utilizado o *software* com sucesso para:

- a) métodos de teste para alocar recursos de forma mais eficiente;
- b) redução do tempo de espera e do tamanho da fila;
- c) minimização dos efeitos negativos dos estragos de materiais;
- d) determinação dos tamanhos de lote ideais e sequenciamento de peças;
- e) estudo do efeito dos tempos de configuração e trocas de ferramentas;
- f) otimização da priorização e da lógica de despacho de bens e serviços.

Para iniciar a construção de um modelo 3D, segundo o tutorial presente no *site* do FlexSim (2020), a primeira etapa é construir o leiaute básico do sistema de negócios que está se tentando simular, obtendo a coleta de dados, fluxograma e conhecimento do processo em estudo. Com isso, é iniciado um novo modelo de simulação, localizada no painel central do FlexSim e adicionado os objetos presentes na biblioteca para o modelo 3D. O Quadro 1 a seguir contextualiza os recursos fixos do modelo de simulação.

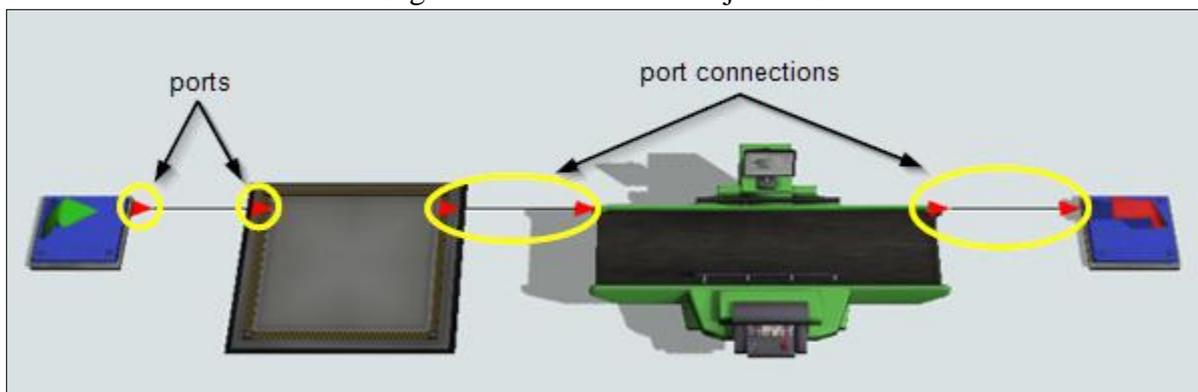
Quadro 1 - Recursos fixos do modelo de simulação

Objeto	Explicação
Fonte	Cria itens de fluxo que representarão sua chegada
Fila	Armazena itens de fluxo até que eles possam ser enviados para outro objeto
Processador	Processa itens de fluxo que normalmente são simulados como um atraso de tempo
Sumidouro	Remove itens de fluxo do modelo de simulação

Fonte: Adaptado FlexSim (2021).

Próximo passo é mover os objetos de tal forma que siga o leiaute básico do sistema para representá-lo fielmente por meio da simulação. Dentro de cada objeto, existem suas propriedades gerais, com a opção de renomear o comando, analisar as estatísticas e mudar a cor. Após os objetos serem posicionados em seus lugares corretamente, é necessário conectá-los para que o processo se mova de um objeto para o próximo na ordem apropriada, criando uma lógica que ajudará os itens a fluir de um recurso fixo para outro, estabelecendo uma comunicação e troca de fluxos entre eles. A Figura 9 ilustra os recursos fixos conectados entre si.

Figura 9 - Conexão dos objetos 3D



Fonte: FlexSim (2021).

Com o modelo básico já construído, já se pode realizar a execução do modelo pela primeira vez, clicando no comando *run* para executar e no comando *stop* para parar a simulação dos eventos. Neste ponto, irá ser criado itens de fluxo que serão colocados na fila de espera do próximo objeto. Como não foi criada nenhuma lógica que moverá esses itens de fluxo, eles simplesmente se acumularão na fila até que a simulação seja interrompida.

Como o objetivo da construção do modelo de simulação é tornar o processo eficiente e aumentar a satisfação do cliente, a coleta de dados tem o objetivo de responder às seguintes questões:

- a) quanto tempo dura a fila de espera em vários pontos durante a simulação?
- b) qual é o tempo médio que os produtos passam esperando na fila?
- c) quantos clientes finais estão saindo satisfeitos ou insatisfeitos?
- d) qual é a porcentagem do tempo que a produção fica ocupada (em vez de ficar ociosa)?

O *software* FlexSim possui todos os benefícios comprovados da simulação de eventos discretos e baseado em agentes, com auxílio de gráficos 3D altamente realistas e imersivos. Os modelos 3D ajudam a emular a aparência do sistema real, por isso é mais fácil ver e entender o que está acontecendo. Todos os modelos de simulação são criados em escala real e montados diretamente em ambiente 3D, para que possa ser facilmente visível e identificado os pontos de gargalo de uma linha de produção ou outras deficiências dentro do sistema.

3 PROPOSTA DE TRABALHO

Esse capítulo tem o objetivo de caracterizar o cenário atual junto com a situação problema, bem como explicar em detalhes o motivo da proposta de trabalho utilizada para solucionar e otimizar a solução problema.

3.1 CENÁRIO ATUAL

A simulação proposta nesse trabalho é do fluxo do processo de injeção da empresa Zen Design, localizada na cidade de Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul e que está inserida no ramo de acessórios para móveis desde 2004, ano de sua fundação. Iniciou suas atividades desenvolvendo uma linha completa de puxadores para móveis e portas, maçanetas e acessórios para casa e banho no geral.

A Zen Design atua principalmente no mercado interno brasileiro, com representantes e lojas abrangendo todas as regiões brasileiras, focada nos chamados nichos de gostos, estilos e sempre acompanhando as tendências de mercado. Vende diretamente para grandes indústrias da cidade e região e também realiza exportações para países como Estados Unidos, Chile, Paraguai e Colômbia. Atualmente, a empresa trabalha com mais de 30.000 itens em catálogo, tendo diferentes tamanhos e acabamentos disponíveis.

Os produtos da empresa são divididos em quatro grandes linhas, compostas por:

- a) puxadores;
- b) itens de banho;
- c) maçanetas;
- d) alças para portas e linha aérea.

A linha de puxadores representa a maior demanda por parte dos clientes, correspondendo ao faturamento de 50% do volume total. Essa linha foca em produtos de diversas formas e características, tais como puxadores em aço inoxidável, zamac e alumínio, de tamanhos distintos, cores e acabamentos para todos os tipos de móveis. Ainda, compõe o portfólio itens com apliques em pedras de *Swarovski*, madeira, junco, espia de aço, osso e couro, de forma a atender grupos específicos de clientes e modelos demandados pelas diversas faixas de mercado do país e do mundo. A Figura 10 representa a variedade de itens que compõem essa linha.

Figura 10 - Puxadores em acabamento *Rosê*

Fonte: Zen Design (2021)

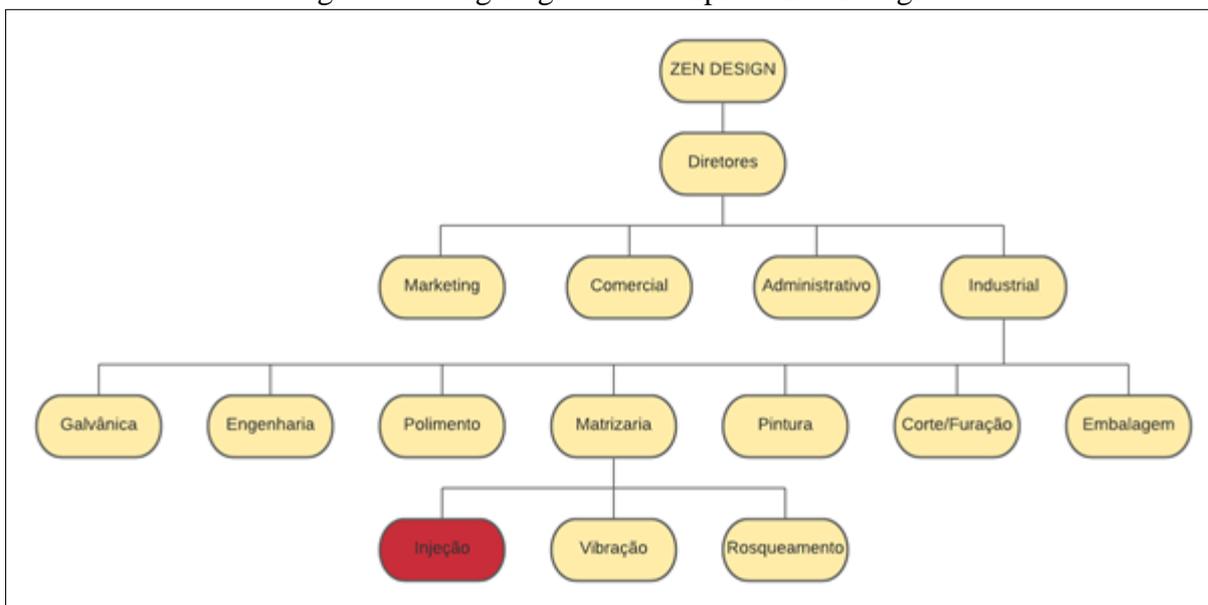
Na parte do cenário produtivo, a empresa conta com sete setores principais, que são responsáveis pela transformação da matéria-prima em produtos prontos para a distribuição.

Estes setores são:

- a) polimento;
- b) corte e furação;
- c) pintura;
- d) galvânica;
- e) montagem;
- f) matrizaria;
- g) expedição.

A Figura 11 apresenta a estrutura formal da organização através do organograma da empresa. Percebe-se, com destaque no setor em vermelho, onde os estudos da simulação computacional serão aplicados ao longo do desenvolvimento em análise. Sendo assim, o trabalho atual é de suma importância para o arranjo do setor de injeção, que atualmente é terceirizado, nas acomodações da organização, sabendo que é o processo gargalo, justamente por ser terceirizado. De fato, acredita-se que os resultados obtidos com o presente trabalho, podem ser a base para aprendizagem e posterior aplicação em todo o ambiente de manufatura.

Figura 11 - Organograma da empresa Zen Design



Fonte: Autor (2021)

O setor de injeção em zamac é considerado a principal operação do sistema produtivo em estudo, mesmo sendo terceirizada. Este setor é responsável pela transformação dos blocos de zamac brutos em produtos injetados de diferentes pesos, tamanhos e formas. O processo de injeção em zamac é realizado em câmara quente, a temperaturas superiores a 400 graus Celsius. O metal fundido é depositado sob alta pressão nas cavidades dos moldes feitos de aço H13, internamente na matrizaria da empresa.

Após sua injeção, as peças são colocadas em vibradores circulares, com a finalidade de ser utilizada no processo de rebarbamento e abrillhantamento, seguido de produtos auxiliares como abrasivos, com exceção de alguns produtos, que não passam por esse processo por acabar “deformando” alguns cantos vivos. Se a peça não sair furada da matriz, ela é repassada ao subsetor de furação e rosqueamento, para a realização de furos, roscas e rebaxos.

O setor possui três máquinas de injeção, a LK130, de 130 toneladas, com forno elétrico, comando digital com gráfico, batedor de peças, *sprayer* lateral e duas fases de injeção; a HM90, de 90 toneladas, e a HM160, de 160 toneladas, sendo muito precisa, estável com alta eficiência e econômica. Assim, o setor trabalha em um turno de 8,8 horas, com três operadores entre 7:00 e 17:00.

Os pedidos enviados ao terceiro são feitos através do PCP da empresa em estudo, fazendo uma programação de estoque de três meses para todos os itens, realizando uma média dos seis meses anteriores. A Figura 12 apresenta o setor de injeção na empresa parceira.

Figura 12 - Setor de injeção de zamac



Fonte: Autor (2021)

Praticamente todos os produtos da empresa contam com peças em zamac, fazendo esse processo ser muito importante na cadeia da organização, sendo que sua falta pode ocasionar no atraso de pedidos, ociosidade de processos e sobrecarga humana. Hoje, são um total de 378 itens em zamac, que compõem o catálogo de produtos da empresa, desde o mais leve, na faixa de 3g até o mais pesado, na faixa de 291g. A Figura 13 apresenta os itens que mais foram injetados nos últimos nove meses, sendo os puxadores Cup (36.425), Beatle (57.515), Plymouth 80 (28.222) e Shell 64 (74.754), respectivamente.

Figura 13 - Cup, Beatle, Shell 64 e Plymouth 80



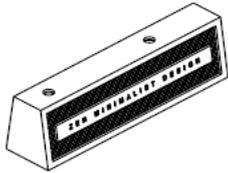
Fonte: Autor (2021).

Por se tratar de um processo terceirizado, há problemas decorrentes que acabam ocasionando o atraso de pedidos por falta de peças e qualidade de especificação. A falta de

alinhamento entre o que é esperado e exigido pela empresa e o que é oferecido pelo serviço terceirizado é um dos motivos para trazer esse processo para dentro da empresa. Por se tratar de peças delicadas, os maiores problemas são a qualidade das injeções e o cuidado com o manuseio, sem nenhum parâmetro de controle de defeitos e algum tipo de dispositivo à prova de erros, como o *poka-yoke*.

Como a empresa terceirizada não injeta somente peças para a empresa em estudo, não é possível calcular uma eficiência exata e controle do processo. O operador recebe a ordem de produção com a quantidade a ser produzida, bem como seu código, parâmetros de máquina e data de emissão. O operador fica responsável por apontar o dia, o nome, para casos de explanar dúvidas quanto ao processamento e os horários de início e fim de processamento. A Figura 14 apresenta o modelo da ordem de produção do terceiro.

Figura 14 - Ordem de produção

Ordem de Produção					
Item: MANILHÃO MINIMALIST PONTEIRA INJEC.338		Número: 13208		Emissão: 03/10/2020	
Código: 03-315 IN					
Cliente: Zen Acessórios					
Quantidade a produzir: 50,000					
Quantidades produzida: 50,000					
Quantidade de caixas:					
Matéria Prima				Tempo estimado de produção	
Código	Descrição	Quantidade	Total	Peças/Hora	Tempo total
3.206	ZAMAC	0,0119KG	0,595KG	0	0
Máquinas e Parametros de Injeção					
Verificação do Molde	Antes de colocar o molde na máquina: Verificar se todas as partes estão montadas e na posição correta / Verificar se todos os pinos de extração estão no molde e se não estão quebrados				
Verificador					
Operador	Início Setup	Fim Setup	Resp.:		
Pistão	Bucha				
Hora Início:	Resp. Liberação	Ass.			
Data	Hora Início	Hora Fim	Qtde não conforme	Qtde total	Nº Lote Final
Hora Fim	Tempo de Retirada	Responsável da retirada do molde		Validação:	

Fonte: Autor (2021).

Todas as manhãs, as peças injetadas são coletadas no terceiro para retirada e transporte para a empresa, de forma que seja feito o controle na hora da chegada, conferindo se o número solicitado pelo PCP foi entregue de forma correta. É feito uma análise das peças que possuem furação e rosqueamento, para que não passem para os processos seguintes sem ter realizado suas devidas operações. São necessárias medidas, como o estabelecimento de verdadeira parceria, uma relação de confiança e investimento no desenvolvimento e na capacitação do terceiro para que ele preste serviço adequado e conforme ao que é desejado pela empresa. A Tabela 1 apresenta os dados de injeção dos últimos 10 anos.

Tabela 1 - Dados de injeção dos últimos 10 anos

ANO	QUANTIDADE DE PEÇAS	PESO (kg)
2010	2.239.813	40.480
2011	2.311.257	39.726
2012	2.652.592	51.468
2013	2.876.762	52.647
2014	2.385.762	45.726
2015	2.198.148	39.715
2016	1.617.824	32.184
2017	1.480.755	31.654
2018	1.404.193	34.630
2019	1.745.208	53.813

Fonte: Autor (2021).

Atualmente, a empresa não conta com espaço físico para a internalização do setor de injeção e por isso vai precisar ampliar seus pavilhões para conseguir absorver todo o processo. Foram feitas diversas análises do aproveitamento da área, do remanejamento dos setores já presentes na empresa e de novos que irão incorporar o sistema produtivo, como o setor de injeção em zamac. As obras para ampliação da empresa já iniciaram e se tem por meta finalizar em meados de junho de 2021, com o total remanejamento dos setores. Com o processo de injeção interno, será necessária a compra de injetoras, furadeiras, rosqueadeiras, torre de refrigeração, vibradoras, secadoras rotativas, estação de tratamento, contratação de funcionários e treinamento para os mesmos.

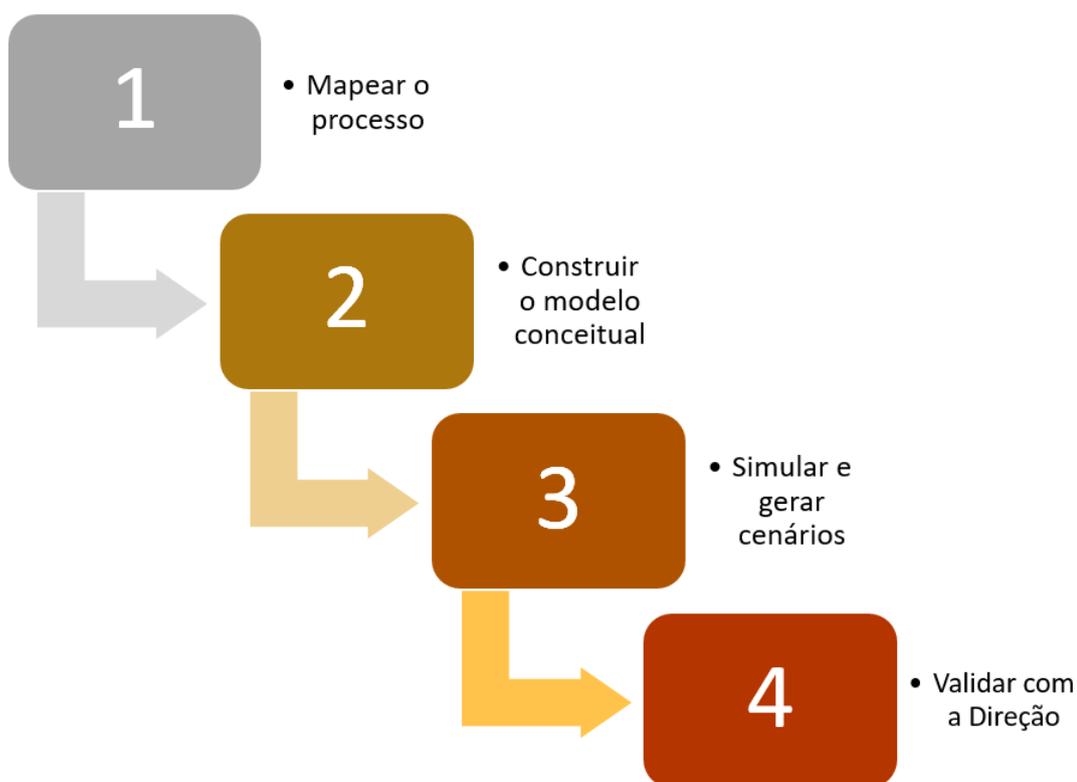
Hoje, informações como tempos de injeção, ordem de produção, quantidade de quebra e fotos do setor não são disponibilizadas pela empresa terceirizada. Dessa forma, o presente trabalho vai focar especificamente na simulação do processo de injeção que será

remanejado do terceiro para um setor próprio da empresa. São realizadas a simulação de três cenários, com diferentes modelos de máquinas, número de funcionários, distanciamento de processos, estoques, localização de equipamentos, tempos de ciclos e controle de lotes de injeção, a fim de identificar o melhor fluxo de produção dessa família de peças.

3.2 PROPOSTA DE TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo realizar o estudo de simulação computacional no setor injeção de zamac, que será verticalizado pela empresa em estudo. Este projeto é desenvolvido por meio de quatro macro fases, que são importantes para o êxito final. A Figura 15 apresenta a sequência das quatro macro fases do estudo, sendo a primeira fase, mapear o processo atual de injeção; a segunda, construção do modelo conceitual e computacional de simulação; a terceira, simular e gerar cenários; e a quarta, de validar com a gestão da organização o modelo elaborado.

Figura 15 - Quatro macro fases do estudo



Fonte: Autor (2021).

3.2.1 Mapear o processo

Nesta primeira etapa do estudo, é realizada a identificação da sequência lógica das atividades que compõem o processo e de outros elementos que interagem com o fluxo de trabalho para fornecer os dados de entrada ao modelo de simulação. A partir de um mapeamento bem estruturado do processo, irão surgir sugestões de melhoria que podem ser elencadas e observadas para futuras aplicações na cadeia produtiva. Com este tipo de metodologia, se torna possível de identificar os pontos fracos do projeto com mais facilidade, idealizando e implantando melhorias de forma mais eficaz.

Para a modelagem dos dados de entrada, é necessário recolher o máximo de dados possíveis com o terceiro, para ter um banco de dados que se possa alimentar o *software* e realizar a simulação. As variáveis de estudo são: o levantamento de roteiros do processo; o tempo entre chegadas e saídas dos produtos injetados; tempos de injeção; tempos gastos com *setup* e manutenção; catalogar os produtos que compõem os 378 itens injetados, classificando entre os que possuem maior saída; representar o processo de injeção através de um fluxograma tradicional; solicitar ao terceiro possíveis melhorias no processo, metas de produtividade, capacidades operacionais, filas excessivas e apontamentos de matrizes que possuam problemas para diminuir o tempo de parada das injetoras.

São analisados os produtos com maior demanda, e com eles, é realizada a divisão em famílias com produtos de pesos similares, tendo uma média de tempo de injeção parecida dentro do seu grupo. O número de valores coletados é suficiente para a representação do setor de injeção na hora de realizar a simulação dos cenários.

Com a posterior utilização dessa macro fase, é possível compreender melhor o processo, realizar melhorias e reparos incrementais, produzir documentação de controle para auxiliar em problemas futuros, padronizar as técnicas utilizadas, garantindo que o processo seja executado da melhor maneira possível e corrigir erros através de mudanças profundas na organização. O mapeamento de processos identifica os gargalos e atrasos presentes no processo de injeção e ajudam a definir limites de processos, propriedades, responsabilidades e medidas de eficácia ou indicadores de processos.

3.2.2 Construir o modelo conceitual de simulação

Na segunda macro fase, é construído o modelo conceitual de simulação por meio da coleta de dados da fase anterior. Entende-se essa etapa como a mais importante da análise,

pois permite ilustrar os conceitos importantes do domínio do problema, suas associações e atributos, para posterior inserção no *software* de simulação. O objetivo de estabelecer um bom modelo conceitual é que ele possa ser compreendido da maneira pretendida, ajudando e destacando as conexões importantes no processo de injeção, podendo ser enriquecido com características mais específicas a partir da geração e desenvolvimento de vários modelos.

O esboço do modelo inicial é realizado com uso do *software* de simulação FlexSim, sendo possível desenhar os conceitos com seus respectivos atributos, fazendo as associações entre eles. É feito um esboço do fluxograma do processo, com o auxílio da planta em 2D e com ele, são trocadas ideias com a supervisão da empresa, para fins de possíveis melhorias. Com o esboço definido, é muito mais fácil corrigir erros na especificação do modelo, pois mudar a lógica ou elementos no modelo é mais difícil e demorado. No *software*, são parametrizados o número de máquinas que a empresa irá adquirir, com seus respectivos tamanhos e o número de funcionários no setor, sendo que esses números podem mudar através da simulação dos cenários que são propostos.

Os dados de entradas colocados no FlexSim alimentam o simulador, identificando cada dado com seu determinado objeto, criando ligações entre os mesmos. Dentro de cada objeto, são colocados os dados como os tempos de injeção e *setup*, com seus devidos desvios, para um cálculo mais exato na hora de rodar a simulação, gerando os dados de saídas. As vantagens que este processo oferece são a economia de tempo na codificação, eliminação em tempo de ideias mal concebidas ou equivocadas, avaliação das taxas de utilização dos operadores e máquinas, tempo médio de espera em filas e peças produzidas por hora.

3.2.3 Simular e gerar cenários

A terceira macro fase consiste na análise e construção de vários cenários com base no modelo de simulação criado anteriormente. É um importante instrumento na hora de desenvolver novas estratégias para o setor de injeção e avaliar os ganhos e perdas de cada um e dos possíveis caminhos que podem ser tomados. De forma geral, essa análise irá auxiliar a explorar os diversos rumos que o processo pode seguir e então escolher aquele que melhor condiz com os objetivos do estudo. Assim, poderá ser analisado o ambiente e preparar-se, criando planos de ações para os cenários mais prováveis.

Com o modelo computacional criado, a ideia é trabalhar nele, realizando alterações, a fim de encontrar cenários que atendam os parâmetros desejados e possam ser comparados. Como variáveis que alteram os cenários propostos, esse trabalho entende a distância entre

máquinas, número de operadores, dimensões físicas do ambiente, quantidade de peças em estoque intermediário, tempos de *setup*, tempos de injeção e aprimoramento na hora de realizar as trocas de matrizes nos porta moldes. No fim, com as análises de simulações de cenários, é possível antecipar problemas e oportunidades, extraindo o melhor de cada situação com planos de ações previamente criados.

Por se tratar de um *software* 3D, o FlexSim mostra um ambiente mais interativo e de fácil entendimento para posteriores resultados. A ideia até aqui, é realizar a coleta de dados com o mapeamento de processo, criar o modelo computacional no FlexSim, e com base nele, realizar as alterações e troca de cenários, a fim de chegar no melhor resultado possível.

3.2.4 Validar com a Direção

Na última macro fase, é realizada a validação e verificação com a gestão do modelo elaborado, a fim de escolher e debater a melhor configuração em termos de custos de execução, tempos de processos, número ideal de máquinas e funcionários e correto dimensionamento do setor de injeção.

A validação é feita em reuniões de apresentação dos resultados obtidos dos diferentes cenários simulados. São passados os dados e parâmetros colocados no *software* aos diretores da empresa com gráficos e planilhas. Também, com os resultados, é fácil identificar os fatores de risco do projeto relacionados aos resultados desejados para o custo, cronograma e desempenho operacional. Uma vez que decidido qual o cenário ideal, deve ser completamente testado para assegurar que a simulação, como projetado, atende os requisitos necessários definidos nas entradas da criação do modelo conceitual.

Ao fim das quatro macro etapas, o processo de simulação do novo setor de injeção de zamac deve estar completo e disponível para futura aplicação no processo real que será implantado até junho de 2021. Ele servirá como base para a organização realizar a compra de máquinas, contratação de funcionários, dimensionamento do setor, posteriores melhorias nos processos e treinamento dos funcionários.

4 RESULTADOS

Esse capítulo tem o objetivo de descrever e analisar o caso frente à construção do modelo conceitual e posterior criação do modelo computacional, a fim de expor os resultados obtidos por meio dos cenários gerados na simulação computacional para solucionar e otimizar a solução problema.

4.1 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DO CASO

A implantação do processo de simulação foi baseada na construção de um leiaute inicial a fim de ter conhecimento sobre o fluxo do processo e a estrutura física disponível para a criação do futuro setor de injeção, sendo possível verificar com quantos metros quadrados ele vai dispor, para futura compra de máquinas, bancadas e contratação de funcionários. Uma discussão com a gestão irá ser de suma importância para a próxima etapa do trabalho, observando as expectativas e o que pretendem mudar no fluxo de trabalho para posterior criação do modelo computacional de simulação.

4.1.1 Discussão técnica do modelo

Com a ajuda de uma equipe de engenheiros e arquitetos, a futura ampliação da empresa com relação ao seu espaço físico, está sendo tratada como prioridade entre os diretores da organização, sendo realizadas inúmeras reuniões para o planejamento e execução do novo setor de injeção de zamac. O modelo inicial elaborado pelos diretores da empresa foi baseado em experiências passadas com relação ao processo de injeção em nosso terceiro ou em outras empresas.

Nesse primeiro cenário, o leiaute de todo o setor de injeção está disposto em uma área de 18,8 metros de largura por 24,4 metros de comprimento, totalizando uma área de 452,7 metros quadrados já delimitadas no início do projeto para o novo setor. A área apenas para as injetoras é de 18,8 metros de largura por 11 metros de comprimento, com um total de 206,8 metros quadrados, na qual o presente trabalho se deterá. Em cima disso, foi estabelecida a compra de duas máquinas injetoras, uma de 130 toneladas e outra de 160 toneladas, ambas da TC Máquinas Especiais do tipo câmara quente, desenvolvida nos mais altos padrões de qualidade, apresentando construção robusta e mantendo produção elevada com alto nível de qualidade da injeção. Máquinas com a mais alta tecnologia do mercado, com painel *Touch*

Screen`` incorporado, comando bimanual para fechamento do molde e botão de emergência de fácil acesso para maior segurança do operador. Para o posterior tratamento e reuso dos resíduos industriais utilizados nas injetoras, foi elencada a compra de uma estação de tratamento de resíduos ETR-3000/6000, também da TC Máquinas Especiais, com o objetivo de se obter sustentabilidade empresarial através de seu uso auxiliando na redução de custos de processo, uma vez que a mesma pode vir a trabalhar em um circuito fechado. As Figuras 16 e 17 apresentam a máquina injetora de 130 toneladas e a estação de tratamento de resíduos ETR-3000/6000, respectivamente.

Figura 16 - Injetora de Câmara Quente WJ-130T



Fonte: TC Máquinas Especiais (2021).

Figura 17 - Estação de tratamento de resíduos ETR-3000/6000



Fonte: TC Máquinas Especiais (2021).

O processo de injeção ocorre com o derretimento do zamac em um forno à aproximadamente 400°C, e sob pressão, forçado a entrar na cavidade de uma matriz, preenchendo-a e formando a peça desejada. Ao entrar na cavidade da matriz, o metal expulsa o ar lá contido por orifícios pré-determinados e logo em seguida, preenche a ferramenta. Para resfriar o material injetado e solidificá-lo, a direção quer adquirir uma torre de resfriamento de água, com trocadores de calor, proveniente de condensadores. Segundo o catálogo da TC Máquinas Especiais, são máquinas de baixo consumo de energia, elevada resistência à corrosão e facilidade na montagem, manutenção e limpeza. A Figura 18 apresentam a torre de resfriamento HTL.

Figura 18 - Torre de resfriamento HTL



Fonte: TC Máquinas Especiais (2021).

Muitas das peças da empresa, após serem injetadas, passam pelo processo de vibração, para a retirada de rebarbas e cantos vivos. Portanto, foi determinada a compra de quatro vibradores circulares do tipo VB-180, com seis níveis de capacidade, de construção muito simples e de fácil operação, que ao mesmo tempo proporciona uma grande robustez. Já para a furação e rosqueamento das peças, não serão necessárias as compras de maquinários, pois a empresa já possui um setor desse gênero internamente. A Figura 19 traz o vibrador circular que será adquirido pela empresa.

Figura 19 - Vibrador circular do tipo VB-180



Fonte: TC Máquinas Especiais (2021).

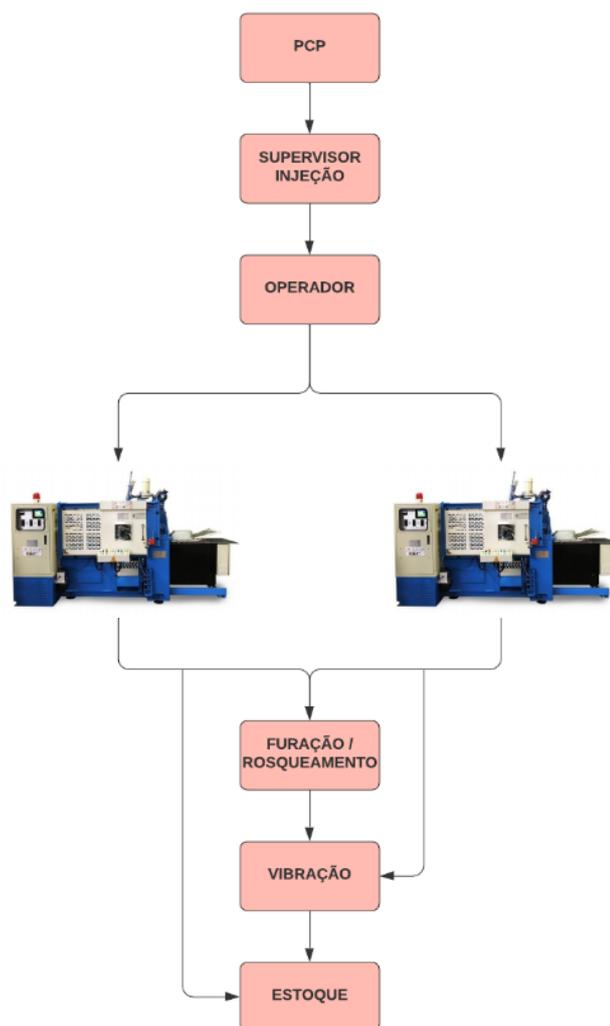
A configuração decidida até então conta com um total de dez funcionários dispostos em um turno de trabalho, sendo metade deles realocados de outros setores, e a outra metade contratada com algum tipo de experiência em processos de injeção. Com os colaboradores realocados, será realizado um treinamento, sendo possível desenvolver as habilidades e potencialidades de cada um e, como consequência, gerar o desenvolvimento da própria empresa.

4.1.2 Elaboração do fluxo de trabalho

A partir das ideias dos diretores, foi então criado o cenário inicial para dar início ao processo de simulação do novo setor de injeção de zamac, como citado anteriormente. A disposição das máquinas, operadores e bancadas de trabalho foi definida de forma que o fluxo do processo de injeção ocorresse da forma mais eficaz possível, aproveitando todo o espaço disposto para ele, com suas devidas entradas e saídas, facilitando a compreensão do setor.

O setor de injeção é um processo sem muita diversidade de máquinas, mas muito importante para a organização, sendo que é desse processo que saem 80% dos produtos da empresa. A disposição do processo foi representada por meio de um simples fluxograma de processo, que facilita a compreensão dos processos, mostrando de forma simples como o fluxo de trabalho funciona. A partir do momento em que o processo ganha visibilidade, é mais fácil enxergar lacunas, desvios e gargalos, sugerir melhorias, documentar e comunicar o processo. A Figura 20 apresenta o fluxo do processo de injeção por meio de um simples fluxograma.

Figura 20 - Fluxograma do processo de injeção



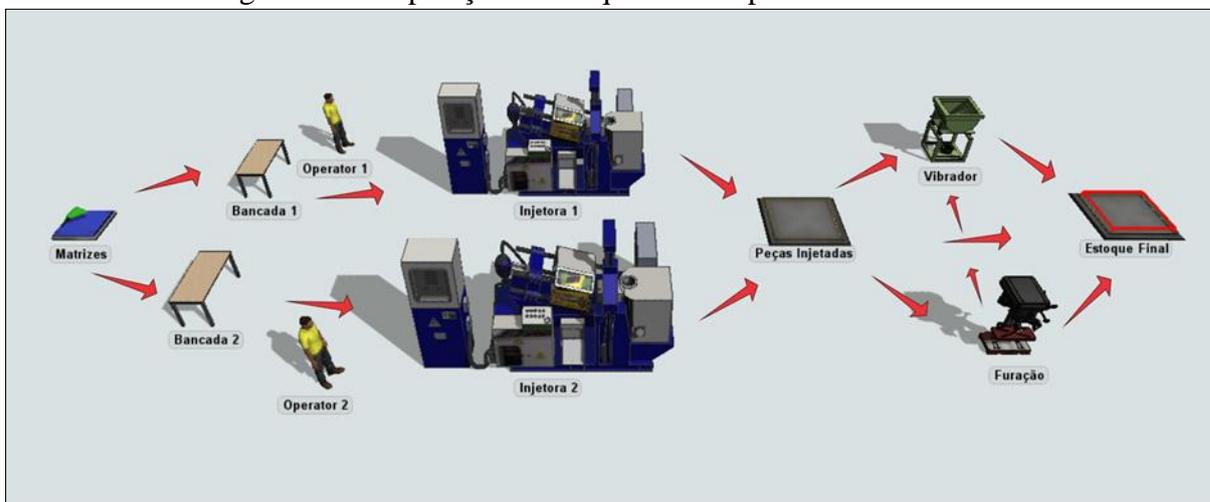
Fonte: Autor (2021).

Todos os pedidos que chegam na empresa passam pelo comercial, e subsequente para o PCP, que faz todo o controle de peças injetadas atualmente. Quando determinado item ultrapassa o estoque de segurança, é gerada uma ordem de produção e encaminhada para o supervisor do setor de injeção dar o seguimento, analisando qual é o item que é solicitado, passando para o operador e analisando qual máquina está ociosa para realizar o processo de injeção. Uma proposta para o setor seria dois turnos de trabalho, mas isso só será definido após o funcionamento do setor e suas devidas demandas.

Com fluxograma do processo criado, o próximo passo é realizar a disposição dos objetos no *software* FlexSim, para uma futura simulação do cenário. Foi realizada a distribuição das duas injetoras, com suas devidas bancadas e operadores, as máquinas de furação e rosqueamento e os tambores de vibração. A ideia é dispor as máquinas e postos de trabalho observando sua sequência de atividades sem deixar de se atentar às normas da NR12,

a fim de se evitar acidentes de trabalho e garantir a saúde e bem-estar dos trabalhadores. A Figura 21, apresenta a disposição do fluxo do processo de injeção no FlexSim.

Figura 21 - Disposição do maquinário e operadores no leiaute



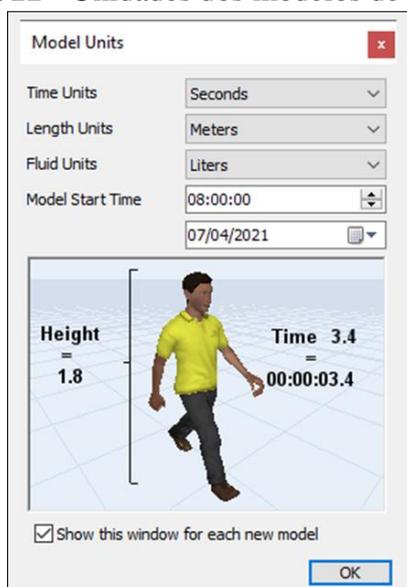
Fonte: FlexSim (2021).

4.1.3 Elaboração do modelo computacional

O modelo computacional apresenta-se como uma ferramenta extremamente favorável para a tomada de decisões em cenários industriais difíceis de serem compreendidos, auxiliando no processo decisório. Com o propósito de facilitar o entendimento das competências oferecidas, serão utilizadas ferramentas computacionais, como o FlexSim, na modelagem do processo de injeção associado à análise de processos complexos. O processo produtivo foi elaborado com base na análise de fluxo de trabalho desenvolvida na etapa anterior, respeitando todas as delimitações impostas pelos gestores da organização.

A primeira informação que o FlexSim solicita são as unidades de entrada, como unidades de tempo, comprimento e fluidos. Foram selecionadas as opções em segundos, metros e litros, respectivamente. A programação ocorrerá em um intervalo de 8h45min, totalizando um tempo de 31.500 segundos. Claro, esse é o tempo total de um dia de trabalho, tendo em vista que o operador fica ocioso em suas idas ao banheiro, *setup* de máquina e deslocamento interno. A Figura 22 apresenta as unidades do modelo de entrada.

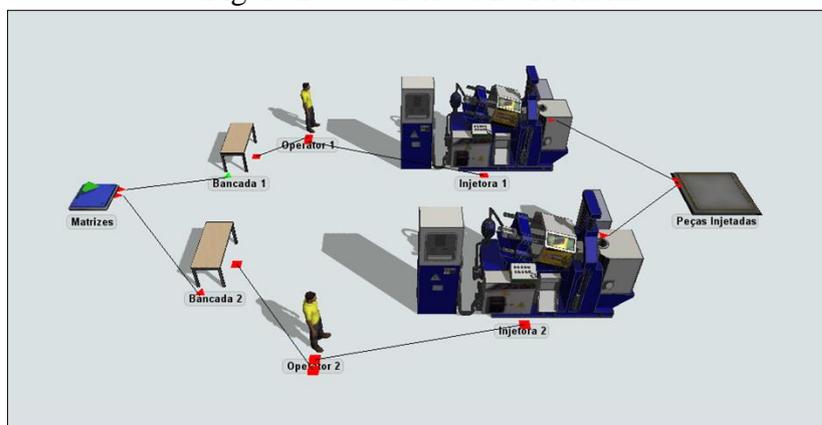
Figura 22 - Unidades dos modelos de entrada



Fonte: FlexSim (2021).

Com auxílio do fluxograma do processo, foram realizados os devidos posicionamentos no FlexSim, com o auxílio do recurso *Model Background*, o qual cria um esboço 2D no fundo do modelo. Foram inseridos no leiaute as bancadas, injetoras, estoque final e operadores, respeitando o distanciamento correto das máquinas, para um ambiente mais seguro de trabalho. Cada operador terá sua bancada para montar e desmontar as ferramentas no porta molde, conforme solicitação da ordem de produção, como apresentado na Figura 23. Nela, também é possível observar as conexões feitas entre os objetos, a fim de seguir o caminho do fluxo do processo. As ligações foram feitas pressionando a letra A, entre operador e objeto, e pressionando a letra O, entre objeto e objeto. Para criar essas junções, foram selecionados os centros dos objetos no qual queira conectar.

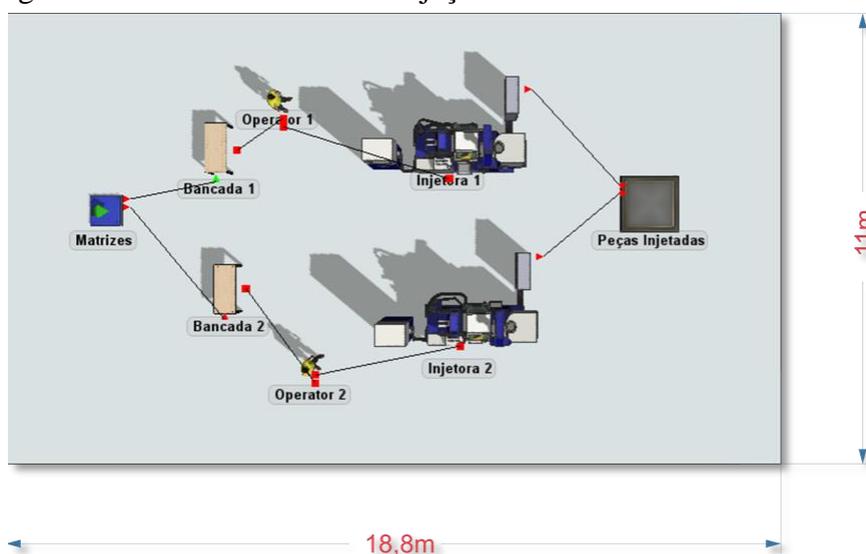
Figura 23 - Conexões no FlexSim



Fonte: FlexSim (2021).

A primeira parte do modelo foi realizar o posicionamento correto da entrada, bancadas, injetoras, operadores e saída, respeitando o dimensionamento do novo setor e as Normas Regulamentadoras (NR), com os devidos requisitos e procedimentos que dizem respeito à segurança e à medicina do trabalho, com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho. No FlexSim, é possível colocar as distâncias entre os objetos, o tamanho de máquinas, bancadas e operadores, escolher a cor dos instrumentos e a aparência mais próxima do real, sendo importado da plataforma chamada SketchUp os modelos em 3D. A Figura 24 traz os elementos dispostos no setor de injeção, respeitando seu leiaute.

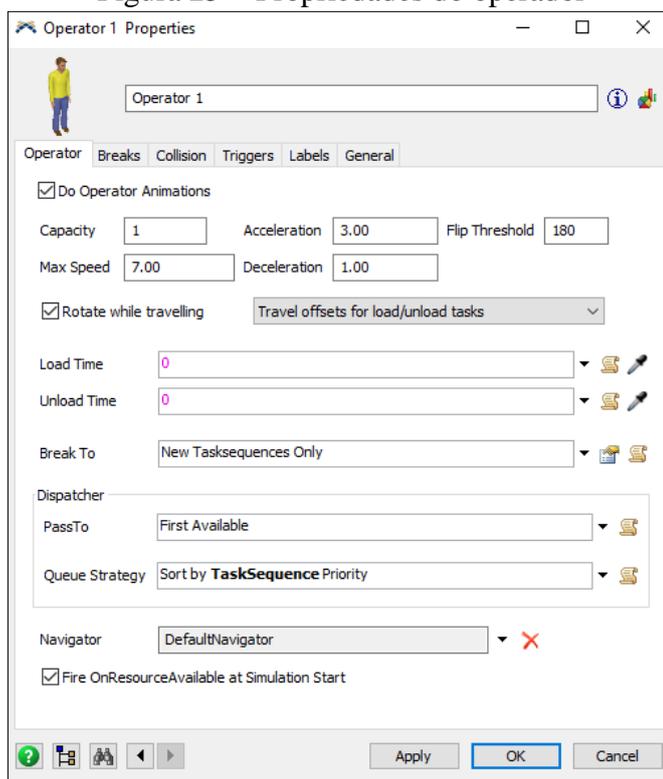
Figura 24 - Leiaute do setor de injeção conforme seu dimensionamento



Fonte: FlexSim (2021).

A ideia inicial dos gestores conta com um operador para cada injetora, realizando a montagem e desmontagem dos porta moldes com suas devidas matrizes. O próprio operador realiza o *setup* da máquina e a retirada do galho de injeção, desganhando o mesmo. Após a inserção do funcionário no FlexSim, é possível atribuir uma capacidade produtiva a ele, como sua velocidade média e máxima, aceleração, desaceleração, movimentos de rotação, tempo de carregamento e descarregamento. A Figura a seguir traz as propriedades do operador no processo de injeção.

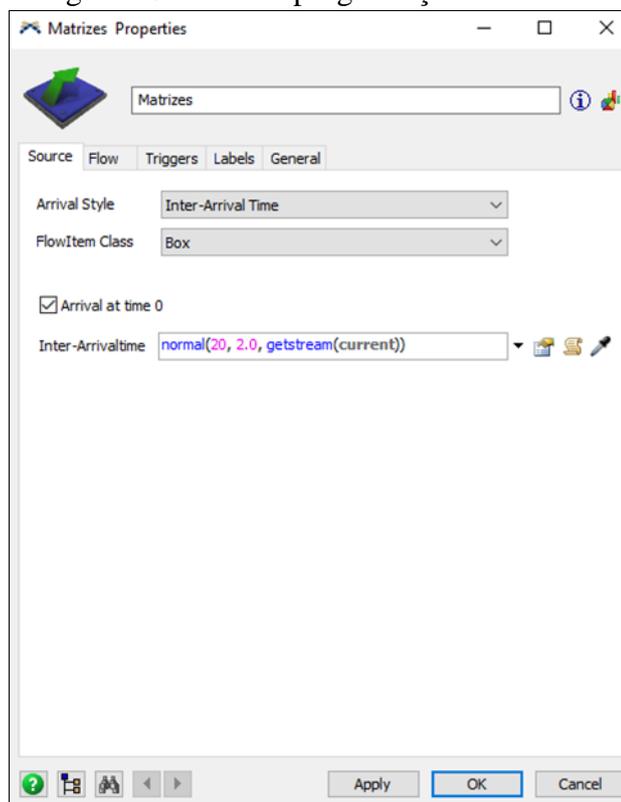
Figura 25 - Propriedades do operador



Fonte: FlexSim (2021).

O primeiro item a dar entrada ao processo são os porta-moldes e as matrizes, que serão montados e seguirão a linha de fabricação dos produtos da empresa. Existem vários tamanhos de moldes, o qual o operador vai se deslocar até o estoque de matrizes, selecionar a ferramenta conforme a referência da ordem de produção, montar no porta molde em cima de sua bancada e subsequente levar até as injetoras por meio de uma ponte rolante. As variáveis inseridas no *software* seguem uma distribuição normal, partindo do pressuposto que é o melhor modelo estatístico com o histórico de dados obtidos, com a qual foram realizados alguns testes, calculados médias e desvio padrão a fim de chegar nesse valor de entrada, sendo que cada injetora trabalha com seu respectivo porta molde alocado na máquina, conforme referência. A Figura 25 apresenta a tela com a programação de entrada.

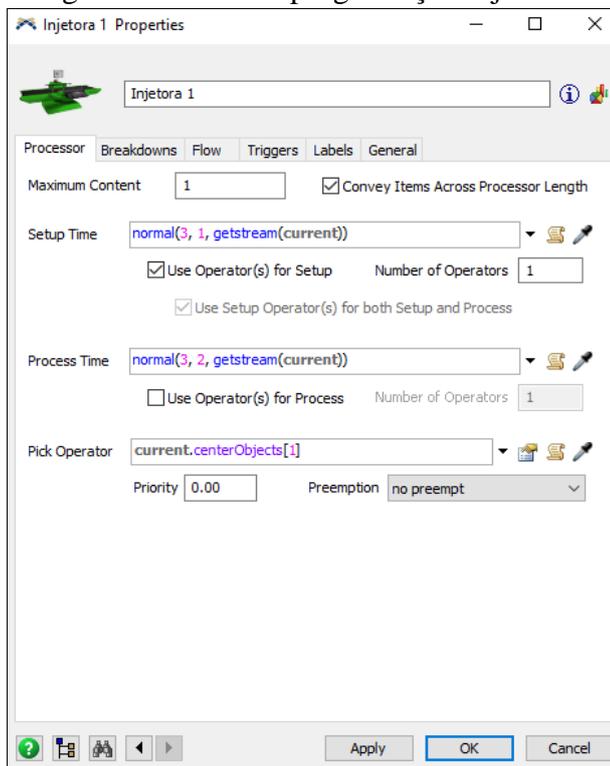
Figura 26 - Tela de programação de entrada



Fonte: FlexSim (2021).

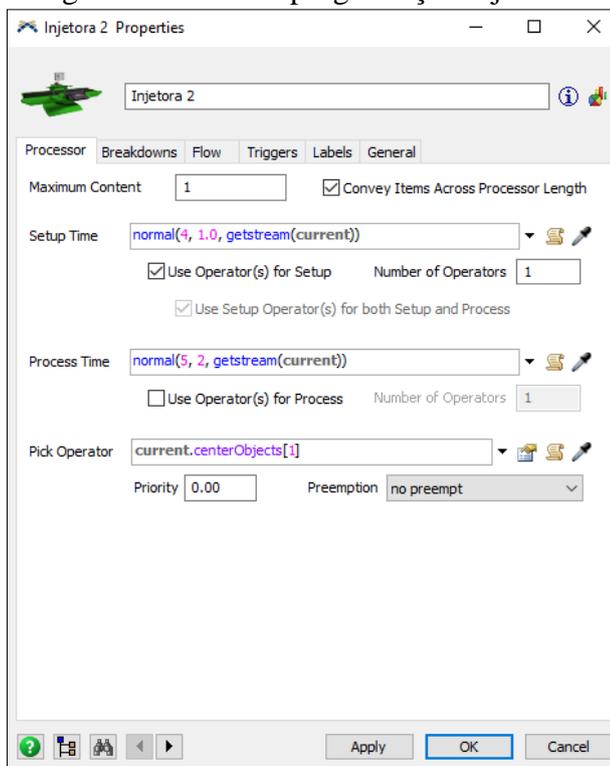
O item subsequente a entrada são as injetoras que foram padronizadas conforme o tempo do item que estiver injetando, com seu devido *setup*. O operador tem que estar sempre acompanhando a máquina, pois a extração das peças das matrizes é feita manualmente, respeitando o ciclo que foi programado. Foi conectado um operador para cada injetora, conforme ideia inicial dos gestores. A Figura 27 traz a injetora número 1 com suas variáveis inseridas, com a distribuição estatística normal, realizando médias nos tempos de injeção e calculado seu desvio padrão, com tempo de *setup* médio sendo de 3 segundos, aonde o operador retira o produto de forma manual após a injeção; e tempo de processo médio de 3 segundos. (Tempo de injeção do puxador Shell 64, um dos poucos itens que foram obtidos do nosso terceiro). Já a Figura 28, apresenta a injetora número 2, com o mesmo método de distribuição, sendo 5 segundos o tempo médio do processo (tempo de injeção do puxador Cup) e 4 segundos o tempo médio de *setup*.

Figura 27 - Tela de programação Injetora 1



Fonte: FlexSim (2021).

Figura 28 - Tela de programação Injetora 2



Fonte: FlexSim (2021).

Analisando os tempos acima, chama-se a atenção para o valor do *setup* que é igual ou muitas vezes maior que o tempo do processo de injeção. Esse tempo varia conforme as variações do produto e o planejamento da produção realizado pela empresa. O desgalhe do produto, que nesse caso é o *setup*, ele é realmente necessário para a extração manual após a máquina ter injetado o zamac na matriz, criando o formato do produto final. No mercado, há robôs que realizam essa extração do galho de injeção, sendo uma futura ideia dos gestores a aquisição desse processo.

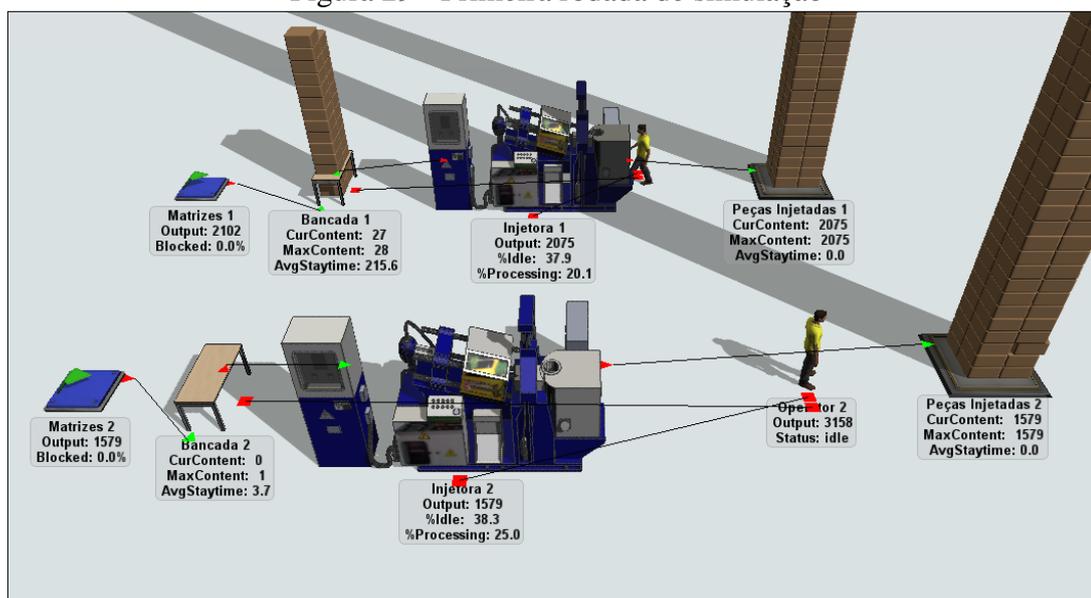
Por fim, o fluxo de todas as peças injetadas pelas duas injetoras se encontrará no estoque de peças injetadas, sendo a saída do mesmo. Essas peças ainda estão em seus devidos galhos de injeção, que irão passar por processos subsequentes como a furação e rosquemamento, vibração e estoque final. Nessa etapa, será realizando um controle de qualidade, observando as peças que estiverem com batidas e deformidades. As que se encontrarem dessa forma, irão para os fornos de aço inoxidável das injetoras para futuro reaproveitamento.

4.1.4 Estimativas de gastos iniciais

Com o intuito de determinar a formulação e o planejamento do modelo inicial, foi efetuada a primeira roda de simulação do problema proposto, a fim de submeter o processo em diferentes experimentações e circunstâncias de trabalho. É importante nessa etapa do trabalho que seja realizado um número de replicações considerável para obter uma amostragem estatística confiável. O propósito é maximizar a utilidade da informação produzida pelas rodadas de simulação, enquanto é possível minimizar o esforço.

Com todos os objetos devidamente posicionados e conectados, é importante clicar em *Reset* e subsequente o *Play*, para começar a simulação. Neste primeiro momento, foi estipulado apenas um dia de trabalho, sendo de 8h45min ou 31.500 segundos. Podemos notar, na Figura 29, as estatísticas associadas embaixo de cada objeto, com suas devidas entradas e a saídas, tempo ocioso e de processo, tempo de espera e o estado.

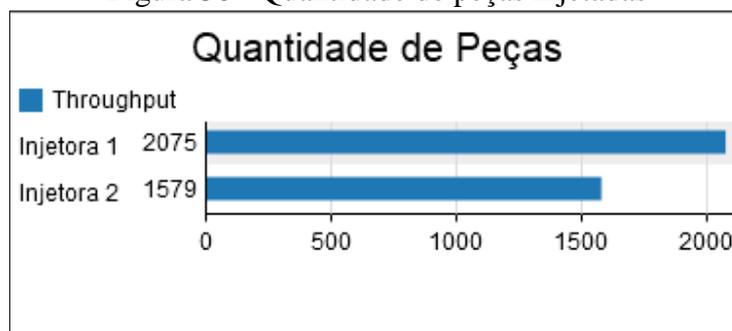
Figura 29 - Primeira rodada de simulação



Fonte: FlexSim (2021).

Com a primeira simulação, podemos perceber como o cenário se comporta e que característica ele tem. Como já citado, o tempo de *setup* é muitas vezes igual ou maior ao tempo de injeção de um produto, com isso o tempo de processamento acaba ficando baixo, o mesmo ocorre com a injetora, ficando ociosa por muito tempo. Percebe-se que a injetora número 1 não está dando conta de processar todas as peças, ocasionando um acúmulo de matrizes na bancada número 1. As Figura 30 e 31 apresentam a quantidade de peças injetadas nas injetoras número 1 e 2 e o tempo médio de espera das injetoras e dos operadores, respectivamente.

Figura 30 - Quantidade de peças injetadas



Fonte: FlexSim (2021).

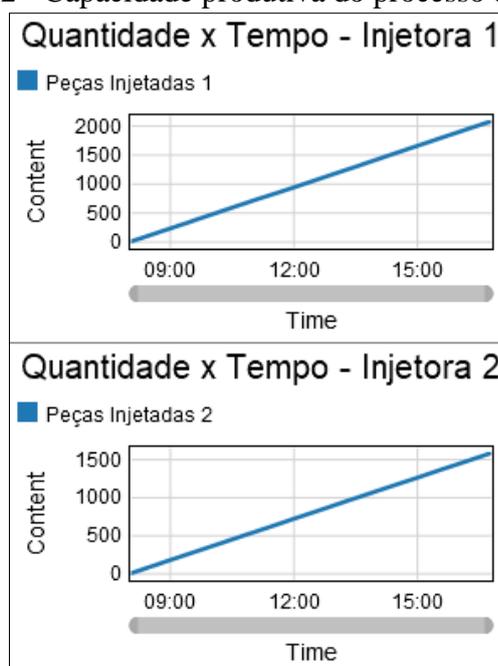
Figura 31 - Tempo médio de espera das injetoras e operadores



Fonte: FlexSim (2021).

Dentro do FlexSim, há a opção de gerar *Dashboards* que irão nos auxiliar a extrair informações importantes com relação ao processo. Neles, serão possíveis analisar os indicadores para alcançar objetivos e metas traçadas de forma visual, facilitando a compreensão das informações geradas. Uma das importantes estatísticas é a capacidade produtiva em relação a um determinado tempo, onde é possível descobrir se a produção está ocorrendo em excesso ou abaixo do esperado e, a partir disso realizar a análise geral dos níveis de produtividade que servirão como base para a tomada de decisões mais segura. A Figura 32 elucida a quantidade de peças vs tempo das duas injetoras no processo, sendo 2075 peças na injetora 1 e 1579 peças na injetora 2, ao longo de um dia de trabalho.

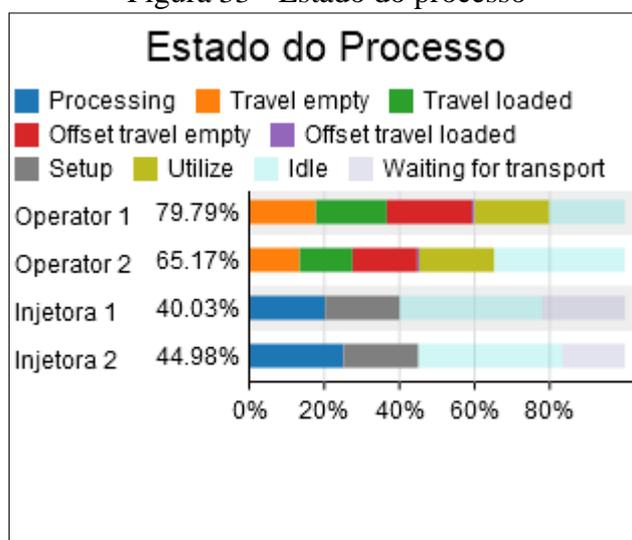
Figura 32 - Capacidade produtiva do processo de injeção



Fonte: FlexSim (2021).

Outra característica importante do processo, é o seu estado ao longo do tempo, onde é possível observar as variáveis que servirão de comparação com os outros cenários. O *Dashboard* de estado apresenta o tempo de processo, tempo de deslocamento do operador sem transportar as peças, tempo de deslocamento do operador transportando peças, *setup*, tempo de utilização do operador, ociosidade e peça pronta esperando transporte. Nesse cenário inicial, notamos um tempo de *setup* maior que o tempo de produção ocasionando muita ociosidade das injetoras, como apresenta a Figura 33.

Figura 33 - Estado do processo



Fonte: FlexSim (2021).

A base dos custos iniciais para compra de maquinários e contratação de funcionários vai consistir em um plano de investimentos, já predeterminado na fase inicial do projeto. Os gestores estimaram as quantidades, fornecedores, prazo de pagamento e prazo de entrega das futuras aquisições dos bens patrimoniais de acordo com o planejamento financeiro e da produção. Em cima do primeiro cenário gerado, será realizado o cálculo do *payback*. A Tabela 2 traz o investimento inicial apresentado pela direção, com suas devidas quantidades entre parênteses.

Tabela 2 - Estimativa de custos iniciais

Investimento	Custo
Injetora Zamak 130 toneladas (1x)	R\$ 405.360,00
Injetora Zamak 160 toneladas (1x)	R\$ 517.960,00
Torre de Refrigeração (1x)	R\$ 22.000,00
Vibradores (2x)	R\$ 112.000,00
Secadora Rotativa (2x)	R\$ 57.800,00
Estação de tratamento (1x)	R\$ 15.000,00
Exaustores (2x)	R\$ 800,00
Furadeiras / Rosqueadeiras (2x)	R\$ 7.600,00
Ventiladores (4x)	R\$ 7.440,00
Bancadas (4x)	R\$ 8.000,00
CUSTO TOTAL	R\$ 1.153.960,00

Fonte: Autor (2021).

4.1.5 *Payback* do investimento inicial

Baseando-se nos resultados do modelo inicial e dos gastos com maquinários, pode-se calcular o *payback* simples do investimento, o qual calcula o tempo de retorno do patrimônio sem considerar nenhuma taxa de desconto, sendo este método de fácil aplicação e interpretação. O valor do *payback* pode ser considerado como o prazo de recuperação do capital investido que pode ser remunerado de acordo com o custo de capital do projeto.

A Tabela 3 demonstra uma média anual de faturamento a ser realizado nos anos posteriores ao investimento inicial, para assim, poder-se evidenciar em qual período o Capital de Investimento será completamente quitado, e a partir de qual mês poderá gerar-se retorno à companhia. Considera-se que no Ano 0 o fluxo inicial será a compra dos maquinários no valor de R\$1.153.960,00 (um milhão, cento e cinquenta e três mil e novecentos e sessenta reais), sendo o investimento inicial.

Tabela 3 - Período de Recuperação do Investimento (*Payback* Simples)

ANO	FLUXO	SALDO	PAYBACK
0	-R\$ 1.153.960,00	-R\$ 1.153.960,00	-
1	R\$ 500.00,00	-R\$ 653.960,00	1
2	R\$ 300.00,00	-R\$ 353.960,00	2
3	R\$ 400.00,00	R\$ 46.040,00	88%
4	R\$ 300.00,00	R\$ 346.040,00	
5	R\$ 450.00,00	R\$ 796.040,00	

Fonte: Autor (2021).

Nota-se que, já no ano 3, que seria em 2024, o Lucro Total Acumulado considerando a soma do fluxo do ano 2 + do ano 3 e conseqüentemente, o ano 3, chega-se ao Lucro Total aproximado de R\$ 46.040,00 (quarenta e seis mil e quarenta reais), superando o Capital de Investimento de R\$ 1.153.960,00 (um milhão, cento e cinquenta e três mil e novecentos e sessenta reais). Assim, conclui-se que o Período de Recuperação do Investimento – *payback* do setor de injeção é de 2(dois) anos e 8(oito) meses.

4.2 CENÁRIOS

Como observado no cenário inicial, o tempo de processamento das injetoras ficou bem abaixo e a ociosidade muito acima do esperado, o que acabou surpreendendo. O tempo de *setup* se assemelhou ao da prática, o que equivale a uma grande porcentagem na utilização total das injetoras. A redução no tempo de máquinas paradas e o aumento da produção são os principais focos da empresa.

Com o objetivo primário de escolher um melhor cenário para a implementação do novo setor de injeção, os cenários desenvolvidos para a otimização serão definidos visando a um aumento de produtividade, redução dos tempos de ociosidade, gargalos e qualidade. Estes cenários ajudarão a gestão da organização a optar por possibilidades se baseando no cenário inicial, tentando ao máximo aumentar o lucro e reduzir os custos.

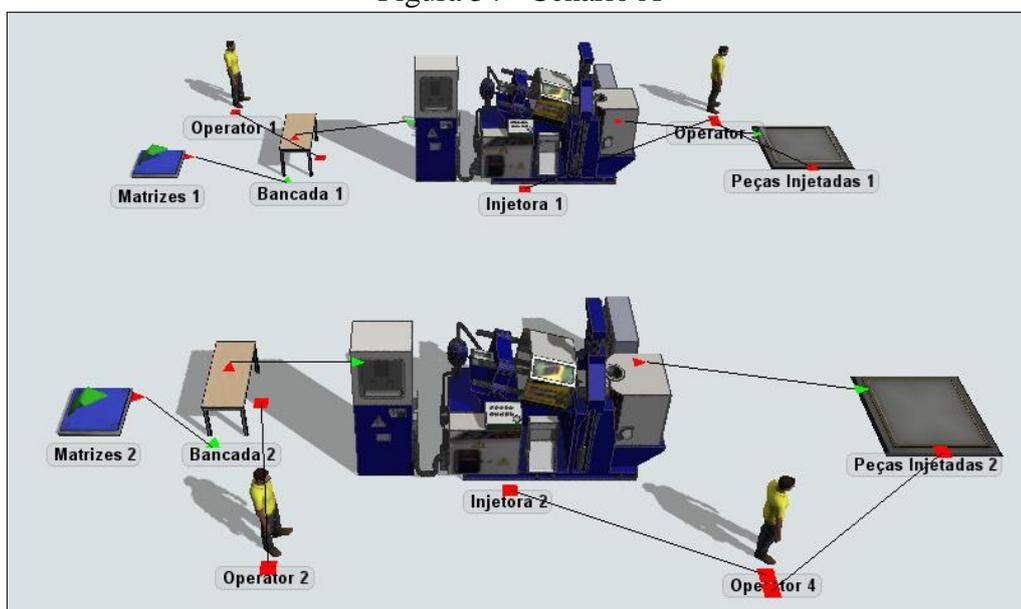
4.2.1 Cenário A

Com base no cenário inicial, percebemos que o número de injetoras que a empresa quer adquirir está de bom tamanho, observando que as mesmas não estão sendo usadas de forma correta, ocasionando uma grande porcentagem de ociosidade. Elas têm capacidade

suficiente para atender a previsão de demanda da organização em estudo, apenas precisam ser utilizadas da melhor forma possível, sem perdas de tempos desnecessários. Hoje, o próprio operador que está controlando a máquina, faz o transporte das peças injetadas até uma bancada próxima.

O cenário A vai aprimorar o transporte logístico das peças que acabaram de sair das injetoras, adicionando um colaborador em cada saída da máquina, fazendo com que o operador foque exclusivamente na operação e no *setup*, enquanto o outro, apenas irá realizar o transporte e a montagem das matrizes nos porta moldes. A Figura 34, apresenta a nova disposição do leiaute, acrescentando os dois funcionários responsáveis pelo transporte das peças injetadas.

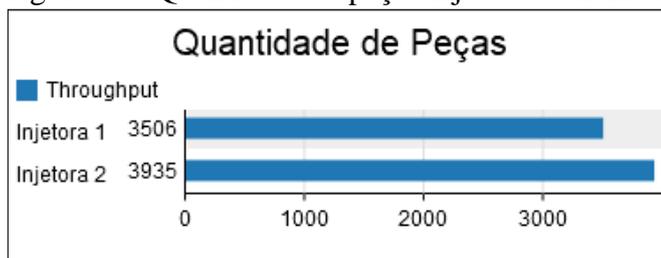
Figura 34 - Cenário A



Fonte: FlexSim (2021).

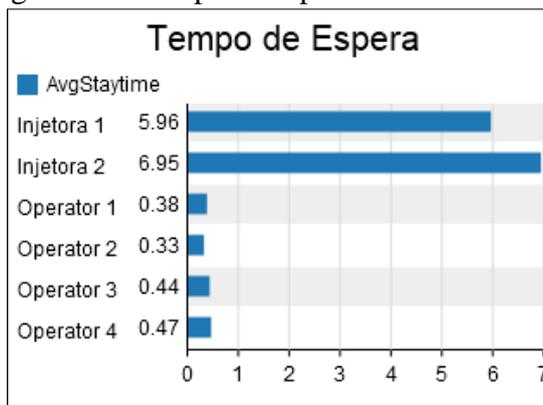
O cenário A foi rodado respeitando os parâmetros que foram inseridos no cenário inicial. Percebe-se que a quantidade de peças injetadas foram relativamente maiores que as do cenário anterior. As Figura 35 e 36 apresentam a quantidade de peças injetadas nas injetoras número 1 e 2 e o tempo médio de espera das injetoras e dos operadores, respectivamente.

Figura 35 - Quantidade de peças injetadas cenário A



Fonte: FlexSim (2021).

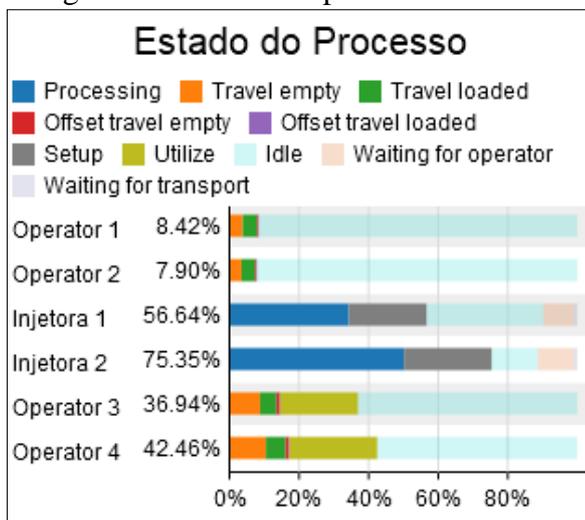
Figura 36 - Tempo de espera médio cenário A



Fonte: FlexSim (2021).

A Figura 37 apresenta o estado do processo, sendo possível observar que os tempos de processamento desse cenário foram quase duas vezes maiores que o do cenário inicial. A ociosidade das injetoras também caiu bastante, em cerca de 60%, e o tempo de espera do operador caiu significativamente, na faixa de 54%.

Figura 37 - Estado do processo cenário A

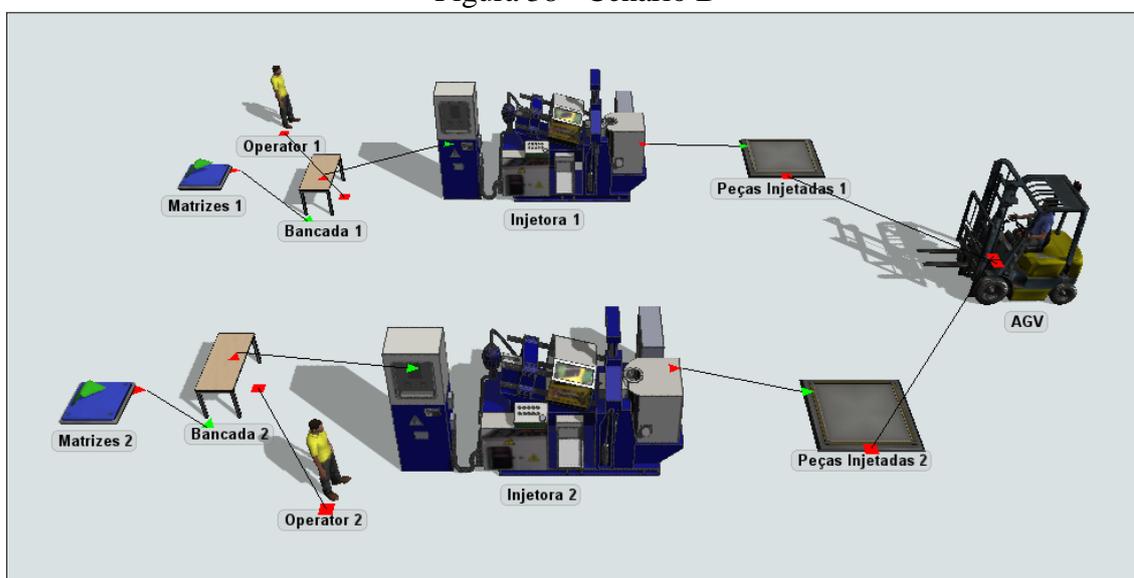


Fonte: FlexSim (2021).

4.2.2 Cenário B

O cenário B vai levar em consideração também a necessidade de um transporte das peças injetadas até a bancada, sem que o operador faça isso. Nesse caso, em vez de colocar dois colaboradores para realizar essa movimentação, a ideia é colocar um AGV, que é um veículo guiado automatizado com a função de carregar e transportar os produtos acabados pelo interior da fábrica até as áreas de carregamento. São veículos precisos e seguros, podendo se mover por espaços apertados e manobrar com habilidade superior às mãos humanas. A Figura 38 apresenta o cenário B com a inclusão do veículo AGV.

Figura 38 - Cenário B



Fonte: FlexSim (2021).

O cenário B foi rodado respeitando os parâmetros que foram inseridos no cenário inicial. Percebe-se, que a quantidade de peças injetadas foram relativamente maiores que as do cenário anterior. As Figura 39 e 40 apresentam a quantidade de peças injetadas nas injetoras número 1 e 2 e o tempo médio de espera das injetoras e dos operadores, respectivamente.

Figura 39 - Quantidade de peças injetadas cenário B



Fonte: FlexSim (2021).

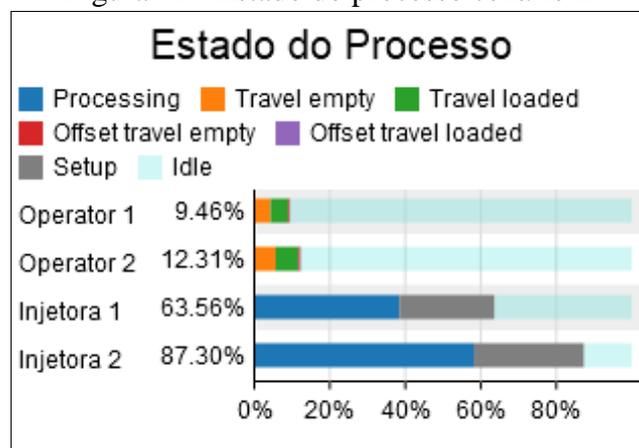
Figura 40 - Tempo de espera médio cenário B



Fonte: FlexSim (2021).

A Figura 41 apresenta o estado do processo, sendo possível observar que os tempos de processamento desse cenário foram superiores ao cenário inicial. A ociosidade das injetoras também caiu bastante, em cerca de 35%, e nesse cenário, as injetoras não ficam esperando o operador acabar de realizar o transporte.

Figura 41 - Estado do processo cenário B



Fonte: FlexSim (2021).

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como se pode constatar pelas simulações dos cenários, as duas injetoras a serem compradas pela empresa estão suficientes para abranger a internalização do setor. O gargalo aconteceu na saída das injetoras, sendo que o próprio operador perdia tempo levando os produtos acabados até a bancada, ocasionando o alto índice de ociosidade das máquinas. Foi aprimorado esse problema com o cenário A, com a contratação de mais dois funcionários colocados a realizar os transportes das peças; e o cenário B, com a utilização de um AGV, para realizar esse transporte de forma rápida e segura.

Analisando os dados encontrados com as duas simulações e fazendo um comparativo entre elas e o cenário inicial, foi confirmado que o cenário B é a melhor opção para a empresa, apesar do gasto extra com o AGV, custando em torno de R\$ 199.200,00. Com a implantação do novo sistema, a possibilidade de acidentes de trabalho foi praticamente eliminada, além de impactar economicamente na empresa, com custos de afastamento de mão de obra e custo de substituição de funcionário.

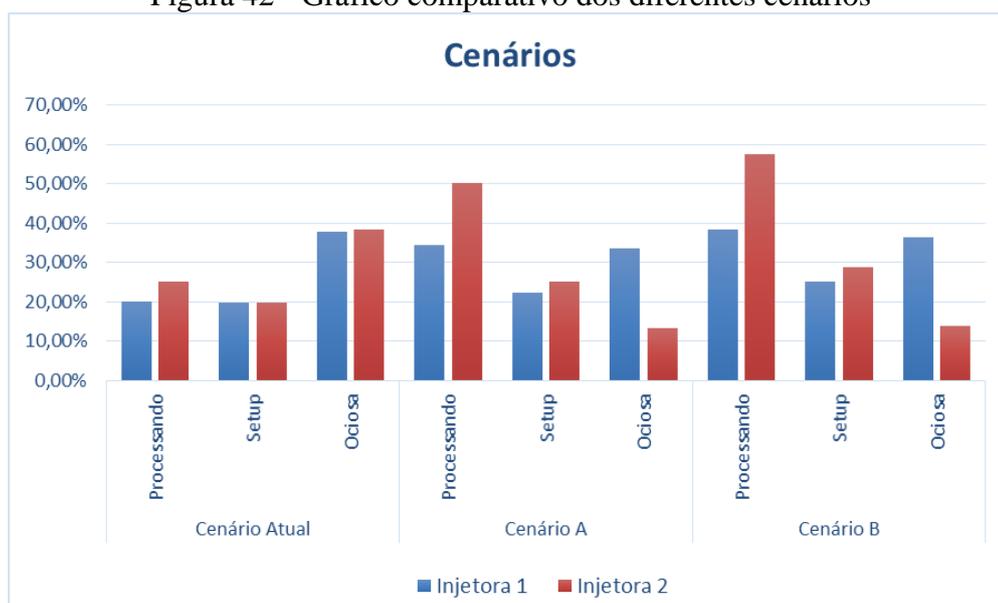
No cenário A, com a utilização de dois funcionários para realizar o transporte logístico das peças acabadas, os tempos de processamento ficaram em média com 42%, com uma taxa média de 23% de ociosidade. Já no cenário B, os colaboradores foram substituídos por um AGV, o que gerou um tempo médio de 48% de máquina injetando, com um nível de ociosidade de 24%. A Tabela 4 indica os percentuais para cada cenário simulado, com seus respectivos tempos de processo, *setup* e ociosidade, e a Figura 42 os gráficos comparativos de cada panorama, a fim de compará-los.

Tabela 4 - Comparação dos diferentes cenários

Injetoras	CENÁRIOS								
	Cenário Atual			Cenário A			Cenário B		
	Processando	Setup	Ociosa	Processando	Setup	Ociosa	Processando	Setup	Ociosa
Injetora 1	20,19%	19,85%	37,93%	34,32%	22,31%	33,61%	38,45%	25,15%	36,44%
Injetora 2	25,06%	19,92%	38,28%	50,17%	25,18%	13,24%	57,38%	28,74%	13,87%

Fonte: Autor (2021).

Figura 42 - Gráfico comparativo dos diferentes cenários



Fonte: Autor (2021).

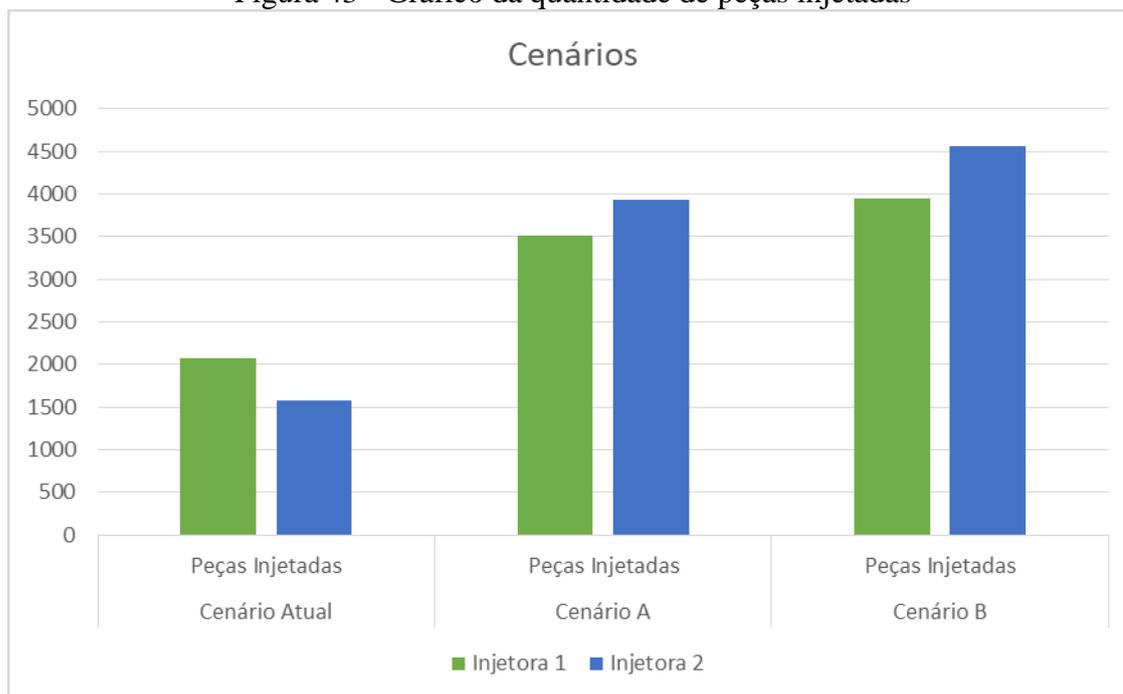
Outra variável relacionada ao processo é a produção diária de peças injetadas, a qual é de extrema importância para que o planejamento e controle de produção ocorra de forma previsível. A taxa de produção diária diz respeito à velocidade de processamento com que a injetora processa os produtos, relacionados a demanda e programação. A Tabela 5 apresenta a quantidade de peças injetadas nos cenários simulados, e a Figura 43 traz os dados em forma de gráfico, para fins comparativos.

Tabela 5 - Quantidade de peças injetadas nos diferentes cenários

Injetoras	CENÁRIOS		
	Cenário Atual	Cenário A	Cenário B
	Peças Injetadas	Peças Injetadas	Peças Injetadas
Injetora 1	2075	3506	3941
Injetora 2	1579	3935	4556

Fonte: Autor (2021).

Figura 43 - Gráfico da quantidade de peças injetadas



Fonte: Autor (2021).

Com isso, através da Figura 43, pode-se comprovar que a maior quantidade de peças injetadas ocorreu no cenário B, uma vez que, ao simular a proposta de um novo modelo, nota-se que foi possível produzir em média 8.497 unidades. Os índices de ociosidade diminuíram e os operadores das injetoras ficaram menos sobrecarregados.

4.4 REUNIÃO DE VALIDAÇÃO

Foi realizada uma reunião formal com o diretor da empresa, a fim de apresentar os dados obtidos pelos cenários das simulações, com o intuito de escolher o melhor panorama para a implantação do setor de injeção de zamac. Nessa reunião, o orientador Gabriel Vidor esteve presente, e contribuiu para a tomada de decisão referente ao custo benefício do melhor cenário proposto. O gestor mostrou-se surpreendido com os resultados, pois no seu entendimento, iria ser necessário a compra de mais máquinas injetoras, o que o presente trabalho mostrou que não. Apenas as duas injetoras não estavam sendo utilizadas da melhor forma possível, ocasionando uma porcentagem expressiva de ociosidade.

A partir desses resultados observados, a gestão irá realizar um estudo de viabilidade para a aquisição de um AGV, observando seus diversos benefícios, como redução de custos, agilidade, eficiência e segurança. O custo de aquisição deste equipamento é mediano, no

entanto, pode-se realizar um estudo de viabilidade econômica e o investimento pode ser recuperado em um espaço curto de tempo.

4.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PROCESSO DE SIMULAÇÃO

O uso da simulação em processos produtivos é recomendado porque é possível descrever o comportamento do sistema, formar hipóteses considerando as observações capturadas, utilizar o modelo para prever um determinado comportamento futuro e analisar os efeitos produzidos por alterações nos sistemas e operações. Mas para isso, é preciso ter cuidado em relação às variáveis que serão mapeadas nos processos produtivos e inseridas no *software*, que quando mal analisadas, podem atrapalhar no resultado final. É necessário um treinamento para utilização das plataformas e assim buscar um melhor resultado capaz de evitar desperdícios de tempo e dinheiro.

Com o estudo, pode-se perceber boas vantagens da simulação em relação ao leiaute, permitindo projetar, analisar, validar e simular o desempenho do processo, antes de ser colocado em prática. Para uma melhor tomada de decisões, os pontos positivos notados para a simulação de processos produtivos são o uso eficiente dos recursos, aumento da produtividade, planejamento a longo prazo e melhor alocação de objetos. Algumas informações inseridas no software sem nexos, mapeamento do processo incorreto, falta de treinamento e sem conhecimento do processo produtivo, podem ser considerados os pontos negativos do processo de simulação.

Considerando o estudo realizado, o objetivo desse trabalho também estava em analisar a técnica de modelagem e simulação para o ambiente de leiaute. O correto levantamento de dados, a construção do modelo, a simulação e geração de cenários e a validação com a organização, ajudam e analisar os indicadores que a simulação irá gerar, analisando os fluxos, *setup* e ociosidade. Em todas as percepções, a simulação é muito importante, mas não é uma técnica para ser usada sozinha e sem um conhecimento prévio do assunto.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de leiaute por meio do uso de simulação computacional, de modo que possibilitou a análise e comparação do cenário atual com os cenários criados a fim de aprimorar o setor de injeção de zamac. Para tanto, o trabalho foi organizado em quatro etapas, além das conclusões e considerações finais. Na primeira, são apresentadas a introdução, contextualização, justificativas, objetivos e delimitações do estudo. Na segunda, é realizada a fundamentação teórica, abordando o planejamento de leiaute e a simulação. Na terceira e quarta etapas, são detalhadas as metodologias e as formas de aplicação do trabalho, bem como descritos e analisados os resultados obtidos por meio dos cenários gerados. Os principais resultados obtidos com a simulação dos cenários foram o aumento da capacidade produtiva, aumento na disponibilidade dos equipamentos, redução dos tempos de ociosidade e logística de transporte aprimorada.

Para cumprir com o objetivo proposto, o trabalho foi organizado conforme quatro objetivos específicos. O primeiro, mapear os dados, pode-se dizer que foi concluído em sua totalidade, uma vez que, através da ferramenta de mapeamento de processos, foram realizados fluxogramas para melhor entendimento do sequenciamento das atividades do cenário produtivo, para uma posterior tomada de decisões. Observando possíveis melhorias no processo, capacidades operacionais e filas excessivas, através da visualização da necessidade de maiores informações no setor de injeção.

O segundo objetivo específico, construir o modelo conceitual de simulação, sendo o objetivo mais importante, pode ser concluído através da inserção de todos os dados coletados na etapa anterior no *software* de simulação. Nele, através de inúmeros tutoriais, foram inseridos, posicionados e conectados os maquinários, operadores e bancadas, com a ajuda de uma planta 2D; foram colocadas as distribuições de tempo e *setup* obtidas com nosso terceiro e analisadas as lógicas de movimentação. Esse modelo ajuda e destaca as conexões importantes do processo de injeção, podendo ser enriquecido com características mais específicas a partir da geração e desenvolvimento de vários modelos.

Simular e gerar cenários, o terceiro objetivo específico, pode-se dizer que foi a etapa onde foi possível comparar o atual cenário com os demais criados, analisando seus respectivos resultados. Foi cumprido o objetivo específico na sua totalidade, observando os ganhos e perdas de cada um e dos possíveis caminhos que podem ser tomados, a fim de escolher o melhor cenário proposto. A situação gargalo ficou evidente, sendo possível analisar a falta de um transporte logístico após as peças serem injetadas, e com isso realizada a criação

de diferentes cenários, um com a alocação de dois operadores, e um outro com a compra de um AGV.

Por fim, o último objetivo específico, validar com a direção, foi a etapa que os resultados obtidos através da simulação foram passados para o diretor da organização, a fim de evidenciar os ganhos produtivos com a melhoria do transporte na saída das injetoras. Com a reunião formal, foram apresentados os dados obtidos pelos cenários das simulações, com o intuito de escolher o melhor panorama para a implantação do setor de injeção de zamac, sendo evidente o cenário B como a melhor opção para a verticalização do setor. Em relação ao número de peças injetadas, o cenário B teve um aumento de 132% em relação ao cenário inicial pensando pela gestão, mais que dobrando de produção, o que surpreendeu os gestores da organização.

A simulação permitiu testar diferentes cenários sem a necessidade de interromper o sistema real. Para isso, é necessário ter um tempo de desenvolvimento suficiente para verificar todas as informações a respeito do processo, mapeando através de fluxogramas a cadeia produtiva, planejamento do projeto, formulação do problema e construção dos modelos conceitual e computacional. Por meio dos cenários, pode-se analisar e entender melhor a respeito da importância de determinadas variáveis do sistema, realizando testes a fim de encontrar o melhor e mais seguro cenário. Foi bom para conseguir entender melhor a operação, analisar os gargalos presentes e acompanhar a capacidade de produção diária, que com investimentos medianos, aumentaram, como por exemplo com a aquisição de um AGV.

A falta de conhecimento no *software*, a respeito de verificar as variáveis de entrada e saída, podem ajudar a confundir a lógica da simulação. Por isso, é necessário ter um treinamento especial, cujos resultados se darão ao longo do tempo com a aquisição de experiências. O investimento no *software* é caro e muitas empresas não têm esses recursos para adquiri-lo. O que se pode fazer, é realizar o trabalho com a parceria de uma Universidade, como foi no caso deste estudo.

Por fim, baseado nessa visão geral, recomenda-se como próximos passos deste trabalho, estudos futuros em outros setores, realizando uma simulação focada em diferentes processos. A partir dessa simulação, o ideal seria fazer uma simulação do comportamento de demanda histórica, prevendo o comportamento e a competitividade da organização com modelos matemáticos de previsão de demanda.

REFERÊNCIAS

- BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial - Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física**. Ed. Atlas, 2010.3
- BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O.; GOGG, Thomas J.; HARREL, Charles R.; MOTT, Jack R. A.; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. **Simulação de Sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013
- BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O.; GOGG, Thomas J.; HARRELL, Charles R.; MOTT, Jack R. A.; MONTEVECHI, José A. B. **Simulação de Sistemas: Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1. ed. São Paulo: GEN LTC, 2013. 184 p.
- CHWIF, Leonardo. **Utilizando simulação de eventos discretos em projetos de sistemas automatizados de manufatura**. Simulate Tecnologia de Simulação Ltda, São Paulo, p. 1-7, 2002.
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações**. 3. ed. rev. e aum. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.
- COLEONE, Murilo; FRÓES, Nádia Junqueira Martarelli. **Uma Proposta de Melhoria no Arranjo Físico de Uma Fábrica do Setor Têxtil**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n.3, p. 98 - 109, 2019
- DOS REIS, Beatriz Lavezo; SANTANA, Mateus; VALENTE, Bianca Carina; CASSETTA, Igor; KURUMOTO, Juliana Sayuri. Aplicação da simulação e otimização computacional em uma empresa de embalagens. **Anais... XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Maceió - AL. 16 out. p. 1-17, 2018.
- FLEXSIM PROBLEM SOLVED. FlexSim Software Products. 2020. Tutorial. Disponível em: <<https://www.flexsim.com/>>. Acesso em: 18 de set. de 2020.
- FORNAZA, Thais Regina; DE OLIVEIRA, Rafaela Peixoto; VALENTE, Bianca Carina; DE BRITO, Larissa Caroline. Análise e identificação de melhorias no processo produtivo de óleo de coco por meio de simulação dinâmica utilizando o Flexsim. **Anais... XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Santos - SP, 15 out.p. 1-11, 2019.
- GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. rev. São Paulo: Thomson, 2002. 598 p.
- GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. v. 4.
- LAW, Averill; MCCOMAS, Michael. **Secrets of successful simulation studies**. Proceedings of 1991 Winter Simulation Conference, Phoenix. p.21-27, 1991.
- MARTINS, Petrônio Garcia; LAUGENI, Fernando Piero. **Administração da produção**. São Paulo: Saraiva, 1998.

MELO, Roberto Tavares de Filho; NASCIMENTO, Lucas; MOURA, Márcio das Chagas. Modelagem e simulação de um processo produtivo de uma central de processamento de alimentos via Flexsim. **Anais... XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Maceió – AL, 19 out. p. 1-16, 2018.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. rev. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2008. 624 p.

MUTHER, Richard. **Planejamento do Layout: Sistema SLP**. Tradução Elizabeth de Moura Vieira; Jorge Aiub Hijjar; Miguel de Simoni. São Paulo: Edgard Blücher; 1976.

PAZIM, Ananda de Lima; GOMES, Fabrício Maciel. A simulação como ferramenta para a análise da influência do sequenciamento de linha de produção no tempo de fila. **Anais... XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Maceió - AL, 16 out. p. 1-10, 2018.

PICCOLINI, Jacomo Dimmit Boca; FIGUEIREDO, Reginaldo Santana. **Simulação aplicada à análise de layout**. Universidade Federal de São Carlos - Departamento de Engenharia de Produção, São Carlos - São Paulo, p. 1-6, 1998.

SILVA, Alessandro Lucas. **Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientado para a Produção Enxuta**. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP. 2009

SIMÕES, Bruno de Souza; LEMOS, Luis Otávio Silva Pereira; DE ASSIS, Rodrigo Furlan. Análise da capacidade produtiva de uma mineração de agregados do estado de São Paulo através da utilização de modelagem e simulação computacional. **Anais... XXXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção**, Santos - SP, 18 out. p. 1-16, 2019.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 728 p.

TOMPKINS, James A., WHITE, John A. A., BOZER, Yavuz, & TANCHOCO, J. M. A. (2010). **Facilities Planning**. 4 ed. EUA: John Wiley & Sons

TOMPKINS, James A.; WHITE, John A.; BOZER, Yavuz A.; TANCHOCO, J. M. A. **Planejamento de Instalações**. 4. ed. [S. l.]: LTC, 2013.

TREIN, F. A.; AMARAL, F.G. A aplicação de técnicas sistemáticas para análises e melhoria de layout de processo na indústria de beneficiamento de couro. **Anais... ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Salvador - BA, 21, 2001.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. 2012. 191 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, 2012.