



Análise e modelagem computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus: uma aplicação no software Flexsim®

Recebido: 27 dez. 2021

Aprovado: 03 out. 2022

Versão do autor aceita publicada online: 03 out. 2022

Publicado online: 13 out. 2022

Como citar esse artigo - American Psychological Association (APA)

Leal, L. K. B., Ribeiro, L. W., Silva, J. A. P., Lucas, Á. M., Oliveira, F. A. B., Almeida, E. S., Santos, G. C.,

Barboza, F., Veiga, A. C. P., & Gomes, K. (jan./mar. 2024). Análise e modelagem

computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo

Industrial de Manaus: uma aplicação no software Flexsim®. *Exacta*, 22(1), p. 197-237.

<https://doi.org/10.5585/exactaep.2022.21368>

Submeta seu artigo para este periódico

Processo de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor: Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto



Dados Crossmark



ANÁLISE E MODELAGEM COMPUTACIONAL DO PROCESSO DE MANUFATURA DE FITAS ADESIVAS EM UMA EMPRESA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS: UMA APLICAÇÃO NO SOFTWARE FLEXSIM®

Leandra Karolina Batista Leal¹ Lucas Wanderley Ribeiro² Jeniffer Andrielle Pereira da Silva³
 Átila Martins Lucas⁴ Francisco Assis Barros de Oliveira⁵ e Ely Sena de Almeida⁶

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade do Estado do Amazonas (UEA) - Manaus, Amazonas

⁶ Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Manaus, Amazonas

Nota dos autores

Autores declaram que não há conflito de interesses.

Agradecimentos: Amazon Tape Indústria e Comércio de Fitas Adesivas Ltda por meio de um Plano de PD&I 2020. Embasada no Decreto 6.008 de 29 de dezembro de 2006 e Resolução No 71 Remover de 29 de dezembro de 2006 e Resolução No 71 de 6 de maio de 2016

Resumo

O Polo Industrial de Manaus (PIM) sofreu inúmeros reveses desde sua implantação na década de 70 e sua adequação às constantes transformações econômicas mundiais, assim como evolução dos processos de manufatura sempre contou com o apoio e ações da Superintendência da Zona Franca de Manaus (Suframa). A indústria 4.0 é uma realidade mundial e as fábricas instaladas no PIM precisam se reestruturar para absorver os avanços tecnológicos deste novo paradigma industrial. A pesquisa, subsidiada por investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) na Amazônia Ocidental, propõe a otimização de um processo produtivo em uma empresa situada no PIM que atua no setor de fitas adesivas. O presente estudo baseia-se em um dos pilares da indústria 4.0: simulação digital de eventos discretos. A pesquisa descreve os principais passos metodológicos implementados para a melhoria dos processos de uma célula produtiva cujos resultados foram modelados computacionalmente e analisados por meio do *software* FlexSim® 2021. Mediante modelagem computacional foi possível identificar problemas e sugerir oportunidades de aprimoramento para a célula alvo do estudo. O emprego dos métodos e técnicas de simulação proporcionaram a otimização do processo produtivo da empresa, uma vez que trouxeram resultados por meio da criação de cenários que demonstraram a redução do estoque em processos, diminuição do *lead time* de produção, eliminação de gargalos e melhoria de *layout*.

Palavras-chave: Indústria 4.0, simulação computacional, otimização de processos

COMPUTATIONAL ANALYSIS AND MODELING OF THE PROCESS OF MANUFACTURE OF ADHESIVE TAPES IN A COMPANY OF THE INDUSTRIAL POLE OF MANAUS: AN APPLICATION FLEXSIM® SOFTWARE

Abstract

The Industrial Pole of Manaus (PIM) suffered many setbacks since its implementation in the 70s and its adaptation to constant global economic transformations, as well as evolution of manufacturing processes always had the support and actions of the Superintendence of the Manaus Free Trade Zone (Suframa). Industry 4.0 is a global reality, and the factories installed in PIM need to restructure



to absorb the technological advances of this new industrial paradigm. The research, subsidized by investments in research and development (R&D) in the Western Amazon, proposes the optimization of a production process in a company in PIM that operates in the adhesive tape sector. Digital simulation of discrete events is a pillar of industry 4.0. This research describes the main methodological steps implemented to improve the processes of a productive cell whose results were computationally modeled and analyzed using the FlexSim® 2021 software. Through computational modeling, it was possible to identify problems and suggest opportunities for improvement for the target cell of the study. Using simulation methods and techniques provided the optimization of the company's production process, since they brought results through the creation of scenarios that showed the reduction of inventory in processes, reduction of production lead time, elimination of bottlenecks and improvement of layout.

Keywords: Industry 4.0, computer simulation, process optimization

1 Introdução

Ao considerar que a globalização surgiu na década de 80 até a atualidade, muito se tem pesquisado sobre os efeitos desse fenômeno social para as empresas e organizações. Um dos pontos principais e transformadores para a sociedade, com foco principal das organizações está: a competitividade. O que até então era considerado competitividade estava baseado em dimensões geográficas fronteiriças, e muitas vezes, tornando-se intransponíveis, dado o alto custo de investimento para empresas e organizações. A partir de então, esse termo toma dimensão global ampliando ações, investimentos e estratégias de alcance, penetração e posicionamento de mercado (Di Serio & Vasconcellos, 2017).

Estar e ser globalizado passou a ser inerente à criação e existência das organizações que sabem o poder benéfico de *market share* e o que esta estratégia proporciona a todos os *stakeholders* e *shareholders*. Segundo Hitt, Ireland e Hoskisson (2012) “a globalização levou a níveis mais elevados de padrões de desempenho em várias dimensões competitivas, incluindo qualidade, custo,

produtividade, tempo para introduzir produtos e eficiência operacional”. Com a elevação da concorrência no mercado mundial, décadas após o surgimento da globalização, impulsionado pelo desenvolvimento de novos sistemas de manufatura flexíveis, auxiliadas a inovações na automação de produção, iniciou-se uma transformação digital nas indústrias em esfera mundial, esse fenômeno é definido como indústria 4.0.

De acordo com Prifti, Knigge, Kienegger, e Krcmar (2017) o termo indústria 4.0 foi criado durante a feira Hannover-Messe Fair de 2011 na apresentação da estratégia alemã de alta tecnologia para 2020. Assim, o Bundesministerium Für Wirtschaft Und Klimaschutz (BMWK), define a Indústria 4.0 como sendo: “A rede inteligente de máquinas e processos na indústria com a ajuda da tecnologia da informação e comunicação”.

Em meio a tamanho cenário de inovação mundial, se torna cada vez mais evidente no contexto atual das fábricas do Polo Industrial de Manaus (PIM), a procura por inovações tecnológicas, na busca por melhorar seus sistemas produtivos e gerar vantagens competitivas dentro do mercado. Vislumbrando esse cenário, a simulação computacional tem se tornado cada vez mais forte dentro da indústria nacional. Hoje a simulação computacional, não só faz parte, como é um dos principais pilares da indústria 4.0. Segundo o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial [SENAI] (2019), a simulação digital proporciona às fábricas a oportunidade de se tornarem mais inteligentes e eficientes no que se refere aos seus meios de produção. E poucas empresas do Polo Industrial de Manaus já utilizam esse recurso para melhoria das suas linhas produtivas, como pode ser no trabalho de Azevedo & Almeida (2019) e Lucas *et al.* (2022). Entretanto, durante a realização da revisão bibliográfica para a elaboração do projeto, percebeu-se a falta de publicação de artigos em periódicos indexados que tratam a simulação computacional aplicada em empresas instalada do PIM, especificamente na fabricação de fitas adesivas.

Shannon (1998) e Banks (1999) reitera que a simulação possui um grande potencial para auxiliar no planejamento, tanto operacional quanto estratégico de gestores e engenheiros.



A simulação possibilita lidar com problemas de sistemas produtivos, interagir com suas diversas peculiaridades dentro de um modelo digital em tempo computacional, sem a necessidade de alterações no processo físico. A simulação proporciona possibilidades de analisar falhas, recolher dados, propor melhorias e testar cenários de forma virtual, evitando gastos com experimentação em meio a uma otimização de processo produtivo, auxiliando assim a tomada de decisão dos gestores. A simulação computacional tornou-se fundamental para a compreensão da dinâmica de sistemas produtivos. Diversas empresas de sucesso utilizam intensamente da simulação como instrumento de planejamento (Kljajić, Bernik e Škraba, 2000).

Diante deste cenário, este artigo tem como objetivo avaliar o sistema produtivo de uma fábrica de fitas adesivas do polo industrial de Manaus.

Segundo Gierenz e Karmann (2008) as fitas adesivas usam folhas, papel ou tecido como material de suporte que é revestido com um filme permanentemente pegajoso. No comércio, essas fitas, que podem ser compradas em diferentes tipos e tamanhos (fita adesiva de um lado ou de dois lados), são usadas principalmente para embalagem, montagem em pequena escala e para mascaramento em trabalhos de renovação.

Além disso, em conformidade com os autores, a fabricação de fitas adesivas compreende essencialmente os processos de composição, revestimento e corte. Centenas de produtos de fita adesivos estão disponíveis para lidar com inúmeras aplicações na indústria, escritório, casa, entre outros. Eles diferem em material e ou design. A maioria é enrolada em rolos; alguns são cortados em peças separadas ou montados em folhas.

As principais aplicações das fitas de espuma são a vedação de fendas e o amortecimento de vibrações (Gierenz e Karmann, 2008). Em muitas indústrias, adesivos e fitas autoadesivas estão substituindo cada vez mais as fixações mecânicas para a montagem de produtos e componentes de diversos tipos. Dito isto, deve-se reconhecer que, mesmo agora, os engenheiros de projeto geralmente demoram a reconhecer que as fitas e adesivos de alto desempenho de hoje podem fornecer um acessório tão forte e duradouro quanto parafusos, rebites, parafusos, cliques, juntas

soldadas e soldas muitas vezes mais forte. Em muitas aplicações, existem vantagens distintas a serem obtidas com o uso de fitas ou adesivos (Corbin, 1997).

Para este caso, o estudo dedicou-se a célula produtiva chamada Blister que produz, dentre outras fitas, a dupla face espuma 19mm x 2m, tomada como produto base para o desenvolvimento da modelagem. A pesquisa utilizou-se da simulação computacional como meio de análise e verificação de alternativas para otimização da eficiência do processo geral da célula, definindo parâmetros de análise condizentes e alinhados aos requisitos da própria empresa, tal como o trabalho desenvolvido por Lucas *et al.* (2022), cujo artigo é resultado de outro estudo do mesmo grupo pesquisa.

Para a execução do modelo computacional utilizou-se o *software* de simulação FlexSim® devido a sua capacidade de replicar eventos reais a fim de solucionar as dificuldades da realidade que inviabilizam ou limitam sua execução. O *software* revela-se como um aliado às transformações digitais provenientes da indústria 4.0, no qual é líder do segmento de análise e modelagem de simulação e otimização em ambiente 3D (Flexsim, 2021).

Uma das ferramentas do FlexSim® usada na construção lógica dos modelos de simulação é o *Process Flow*. Mediante diagrama de blocos de atividades pré-elaboradas é possível representar o fluxo de processos de uma organização. Além disso, o *software* permite a aderência de distribuições estatísticas através do *ExpertFit* que emprega os dados levantados de um processo real com o propósito de estipular a distribuição de probabilidade mais apropriada para o conjunto de dados.

O *software* prova que para a simulação de eventos discretos e baseados em agentes sua aplicação é fundamental na avaliação das ações que devem ser realizadas visando a prosperidade das organizações (Flexsim, 2021).

Para o cumprir com os objetivos traçados no projeto, o presente artigo está estruturado da seguinte forma: inicialmente há o capítulo Metodologia da simulação computacional onde será explicado os procedimentos metodológicos adotados. Posteriormente, o capítulo modelagem de processo de fitas consta todas as etapas da construção do modelo computacional, como foi definido



o problema, realizado o planejamento do projeto, a coleta de dados e análise inicial do processo, seguido então para as análises dos resultados do modelo.

Então é seguido para o capítulo Experimentação onde são realizadas propostas de melhoria e simuladas como cenários que geram resultados passivos de comparação com o estado atual. Por fim, o último capítulo é a Conclusão acerca dos resultados obtidos, objetivos e da ferramenta no desenvolvimento do projeto.

2 Metodologia da Simulação Computacional

A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa brasileira situada no PIM que atua na fabricação de fitas adesivas e atende as regiões do país nos mais diversos segmentos: indústrias, comércios, papelaria, distribuidores, entre outros. A organização produz fitas e soluções adesivas de alta qualidade para indústria e consumidores finais desde 2005 e possui entre diversas células produtivas a célula Blister, cujo foco é produzir produtos com excelência, comprometimento com os clientes e atenção às necessidades do mercado.

De acordo com Araujo, Corrêa e Nunes (2013), o mercado cada vez mais competitivo exige que empresas do mundo todo se adequem a transformações diárias objetivando o aumento dos lucros e diminuição dos custos de produção. A utilização de novas tecnologias como a simulação computacional vêm sendo escolhida pelas empresas como estratégia para apoiar a tomada de decisão, melhorar o seu desempenho e garantir a sua sobrevivência frente ao mercado. Os motivos pelos quais a simulação em ambiente virtual é preferível na resolução de um problema são (Araujo *et al* 2013, p. 61):

- i. “o sistema real ainda não existe;
- ii. experimentar com o sistema real é dispendioso,
- iii. experimentar com o sistema real não é apropriado”

Com o intuito de alcançar os desígnios da simulação seguiu-se determinadas etapas para construção dos modelos. Os procedimentos que foram aplicados basearam-se na metodologia de Banks e Carsen (1984).

Primeiramente, foi realizado a definição e análise do problema, sendo analisado os produtos manufaturados no que tange a demanda de vendas, fluxo produtivo e custos. Posterior a isto, foi realizado o planejamento do projeto, ou seja, definidos os propósitos e o escopo que nortearam o desenvolvimento do projeto.

Finalizada a etapa de planejamento, coletou-se os dados de entrada da simulação, que posteriormente foram tratados e validados por meio de testes estatísticos. Tendo os dados, partiu-se para a elaboração do Modelo Conceitual da simulação, expresso em forma de fluxograma cujas operações executadas por máquinas e operadores foram representas esquematicamente. De acordo com Chwif (2007), o modelo conceitual provirá um modelo computacional mais completo.

Finalizado esta etapa, o modelo conceitual será transformado em um modelo computacional por meio do *software* comercial denominado FlexSim® que, quando finalizado, é validade por meio da comparação dos dados gerados pelo modelo com os coletados no processo produtivo e sendo aprovado quando o modelo representa a realidade.

Na próxima etapa, os resultados da simulação são analisados e criados cenários de melhoria que geram novos resultados, novas conclusões e, caso necessário, novos cenários. Este ciclo é finalizado quando os objetivos da pesquisa são alcançados dando início a última etapa de documentação no qual os resultados dos cenários de melhorias simulados computacionalmente são comparados com os dados atuais do processo produtivo gerando assim conclusões da pesquisa.

3 Modelagem do processo de fitas

3.1 Definição e análise do Problema

Investigou-se a célula Blister em razão da demanda crescente dos produtos fita dupla face massa acrílica e dupla face espuma. Devido a matéria prima possuir valor elevado e excesso de estoque em processo fez-se análise da fita dupla face espuma, por representar gargalo no fluxo produtivo, e em consequência a célula não consegue acompanhar o crescimento da empresa.

3.2 Planejamento do Projeto



Analisou-se a célula Blister mediante modelagem e simulação do processo produtivo com a finalidade de propor melhorias que darão suporte a tomada de decisão e assim como ações que beneficiarão a empresa tornando-a mais competitiva no mercado. Os propósitos que nortearam o desenvolvimento do projeto são:

Analisar a célula Blister do ponto de vista dos tempos e dos métodos de trabalho nos seus subprocessos de produção de fitas;

- Definir e simular *layouts* eficientes para a célula;
- Balancear as etapas do processo a fim de melhorar o *lead time* de produção;
- Aperfeiçoar o sistema de produção da célula com ações identificadas por meio das simulações;
- Reduzir o estoque em processo e duração da execução da ordem de produção
- Aumentar a produtividade da célula, ou seja, elevar a taxa de produção por hora das estações de trabalho e;
- Reduzir a ociosidade das máquinas e dos operadores, assim como, a distância total percorrida por eles.

3.3 Coleta de dados de entrada

Foram realizadas diversas visitas *in loco* durante o período de 22 julho a 22 de outubro de 2021 para coleta de dados, tais como: intervalo de tempo entre a alimentação da linha de produção com matéria prima (logs, tubetes, embalagens, dentre outros), tempo de operação das máquinas de rebobinamento, tempos de transporte e distâncias percorridas pelos operadores, tempo de alimentação das máquinas com tubetes, tempo de corte das fitas, tempo de separação e organização do produto final para embalagem, tempo de selamento das embalagens individuais, tempo de encaixotamento e separação em pallets para o envio do produto acabado para a expedição. Além do levantamento de quantidade de operadores e máquinas do processo produtivo e o *layout* do chão-de-fábrica.

Como peça-chave para a compreensão do processo de fabricação de fitas e realidade da organização, efetuou-se o levantamento das ordens de produção dos tipos de fita em estudo no período de um ano.

A observação torna-se um divisor de águas à medida que favorece o estudo de fatos e permite “[...] identificar e obter provas a respeito de objetivos sobre os quais os indivíduos não têm consciência, mas que orientam seu comportamento” (Marconi & Lakatos, 1996, p. 79).

Fez-se uso de cronômetro, prancheta, papel e caneta para anotar as informações extraídas do processo, além de celular para registros fotográficos e cronométricos dos dados. Dentre as dificuldades vivenciadas no estudo do processo destaca-se a variabilidade no método de execução das atividades por parte dos operadores, o que tornou a cronoanálise uma tarefa árdua, visto que precisou-se utilizar equipamentos (cronômetro e celular) paralelamente para conseguir coletar os tempos das atividades.

Para o tratamento dos dados de entrada das simulações usou-se o *ExpertFit* para obter as distribuições de probabilidade que melhor se adequam aos modelos. Destaca-se que as distribuições passam por três testes estatísticos: *Anderson-Darling*, *Kolmogorov-Smirnov* e *Chi-Square* para comprovar sua legitimidade.

O teste *Anderson-Darling* tem como base a distância entre a função de distribuição empírica e a função de distribuição acumulada hipotética. Rejeita-se a hipótese caso os valores encontrados sejam suficientemente grandes. Portanto, quanto menor o valor, melhor será o ajuste (Anderson & Darling, 1954).

Segundo Chiwif (2007) o teste *Kolmogorov-Smirnov* realiza a comparação da função acumulada do modelo teórico com a função acumulada de probabilidade observada. O objetivo principal é avaliar se o modelo observado adere ao modelo teórico, o teste é baseado no cálculo da distância absoluta máxima entre as duas distribuições acumuladas.



De acordo com Chwif (2007) o *Chi-Square Test* realiza-se nos cálculos dos desvios entre frequência acumuladas feitas em cada classe de maneira individual e frequência teóricas adquiridas com base no modelo escolhido nas mesmas classes.

Na coleta dos dados observa-se que eventualmente há valores atípicos dentro da amostra (*outliers*), o surgimento de tais valores está atrelado a coleta errônea dos dados ou um sinistro. Logo, a coleta precisa dos dados é crucial para o desenvolvimento de modelos computacionais eficientes e eficazes às necessidades da operação (Chwif, 2007)

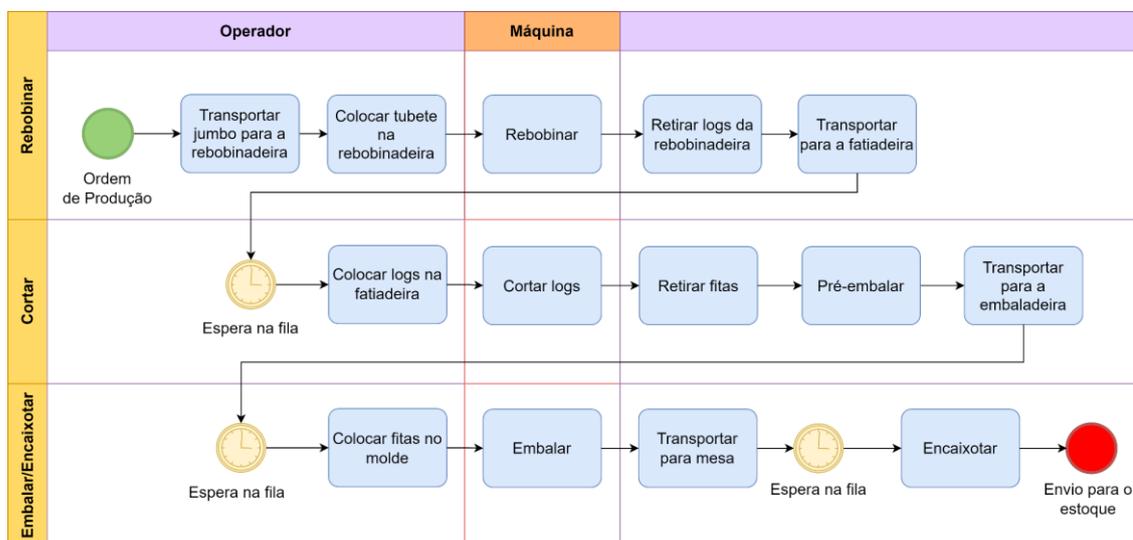
O tratamento dos dados é primordial nas tomadas de decisão de qualquer empresa. Afinal, o processo decisório traz consequências para a companhia, já que reflete seus valores. Por isso, os dados coletados são o ponto de partida para boas decisões empresariais, mas é a sua análise que vai ajudar a chegar à melhor decisão.

3.4 Modelo Conceitual

A célula Blister é composta por: rebobinadeira de 1 polegada, fatiadeira de 1 polegada, embaladeira Blister e estação de empacotamento. Há 1 operador responsável pelo manuseio de cada máquina presente na célula. O diagrama do processo produtivo da célula é descrito na Figura 1, cujo intuito é mostrar de forma esmiuçada a sequência de atividades exercidas na produção das fitas adesivas.

Figura 1

Fluxograma da célula



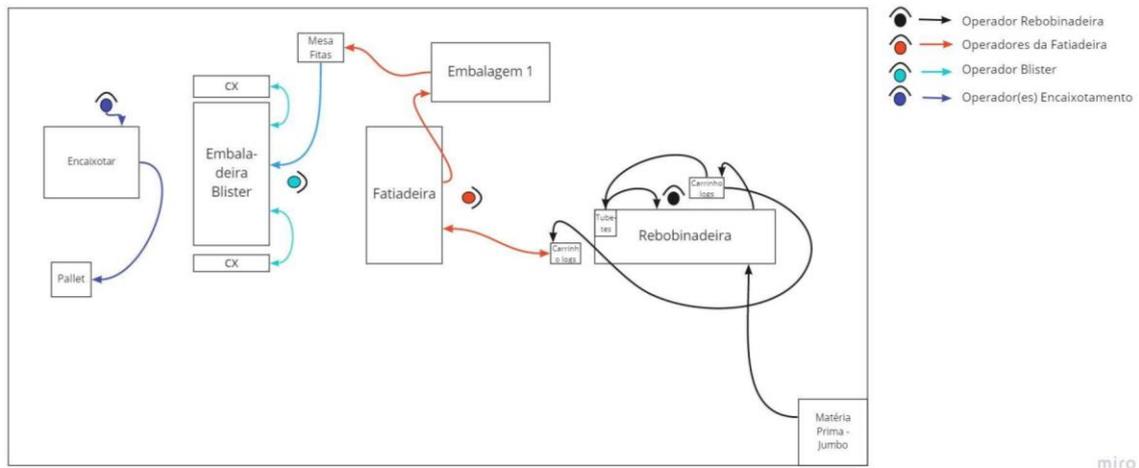
Fonte: Autores (2021).

A fabricação das fitas se inicia com a chegada da ordem de produção, posteriormente há o transporte do jumbo (matéria-prima) até a máquina de rebobinar, em seguida o jumbo é rebobinado de acordo com a metragem do produto e transforma-se em *log*. Por conseguinte, é enviado mediante lote para a máquina de fatiar, as fitas são cortadas de acordo com o diâmetro que se almeja produzir e passam pelo processo intermediário de pré-embalagem. Forma-se um lote de fitas, seguido pelo processo da embaladeira Blister e, por fim, as fitas são empacotadas em caixas e aguardam no estoque para serem despachadas para o cliente.

Elaborou-se croquis da linha de produção para melhor entendimento do fluxo do processo produtivo, contribuindo de forma positiva na solidificação dos objetivos da pesquisa. Na Figura 2 é representada a movimentação dos operadores, bem como o fluxo de materiais de forma clara e fiel a realidade fabril, cuja finalidade é evidenciar a ordem de processamento desde a matéria prima até o produto acabado.

Figura 2

Diagrama de espagete da célula



Fonte: Autores (2021).

Ainda segundo a Figura 2, observa-se o deslocamento do operador da rebobinadeira no exercício de suas atribuições representados pelas setas na cor preta. Já em vermelho, nota-se a movimentação do operador da máquina de fatiar, na cor azul-claro a locomoção do operador da embaladeira Blister e por fim, em azul-escuro o fluxo de movimento do operador da estação de empacotamento.

Desenvolveu-se também o Fluxograma Vertical do processo produtivo da empresa para auxílio na construção do modelo conceitual da simulação, uma vez que é possível descrever o passo a passo das atividades executadas pelos operadores. De acordo com Chwif & Medina (2010) o modelo conceitual apoia-se no emprego de diagramas que visam representar um sistema, sua concepção é crucial para garantir a validade do modelo. Adiante disso, ter-se-á base para a simulação e modelagem dos dados no computador de modo a reproduzir a realidade da operação.

3.5 Modelo Computacional

Segundo Beaverstock, Greenwood e Nordgren (2017) o modelo computacional proporciona a simulação de um sistema real, no qual há lógicas que reproduzem ações mediante simulação do ambiente físico. Para Araujo *et al.* (2013), com a simulação computacional é possível reproduzir diversos cenários e estimar seus respectivos resultados.

Após a coleta e tratamento de dados, realizou-se a tradução do modelo conceitual para o modelo computacional, por conta da limitação do histórico de dados documentados e padronização das atividades, optou-se por simular os seguintes cenário:

Cenário real: caracteriza-se por apresentar a média do tempo de espera entre as máquinas Tabela 1, contabilizado após o primeiro *log* ser rebobinado ou fatiado, durante o qual outra ordem de produção estaria sendo finalizada. Importante ressaltar que devido à restrição de dados, somente foi possível obter a duração entre a rebobinadeira e fatiadeira e entre a fatiadeira e empacotadora;

Cenário padrão: representa o fluxo contínuo ou em lotes da movimentação de produtos entre as máquinas da célula de produção, contabilizando apenas o tempo da ordem de produção simulada. Durante as visitas, observou-se que em um fluxo contínuo, o operador da fatiadeira busca diretamente os logs na rebobinadeira, enquanto as demais máquinas esperam a formação de lotes para iniciar suas atividades.

Tabela 1

Tempo Médio de espera entre as máquinas (horas)

Medida	Rebobinadeira - Fatiadeira	Fatiadeira - Empacotadora
Média	13,67	14,10
Desvio Padrão	11,50	0,50
Mínimo	2,33	0,00
Máximo	36,00	36,00

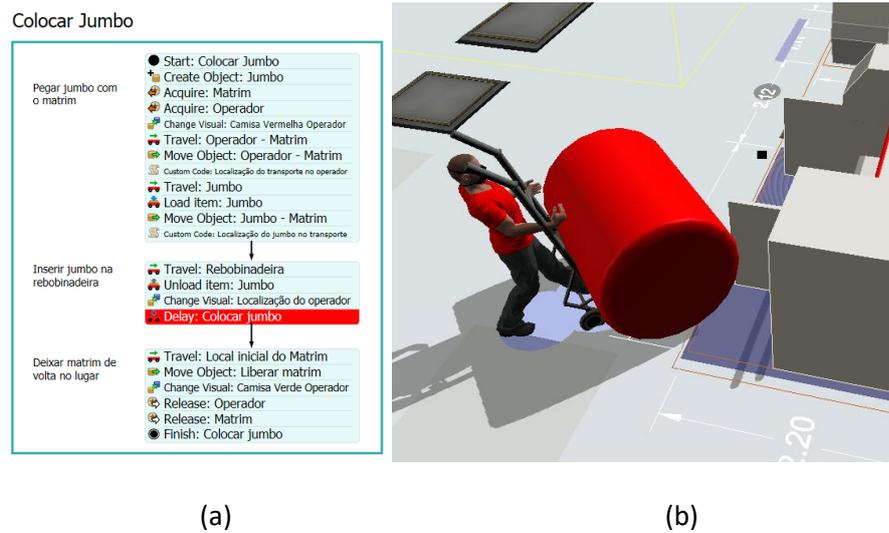
Fonte: Autores (2021).

Os modelos foram criados no ambiente de simulação e visualização de processos, com objetos empregados da biblioteca do FlexSim® que representam equipamentos ou realizam uma função específica na interface de simulação. Devido à complexidade do processo, aplicou-se uma ferramenta do programa chamada *Process Flow*, que utiliza diagrama de blocos na construção da lógica que orienta a movimentação dos objetos no modelo 3D. Na Figura 3 é possível visualizar a

lógica desenvolvida no *Processo Flow* para representar a operação executada pelo operador de colocar o jumbo na rebobinadeira (a) e a sua representação em ambiente 3D (b).

Figura 3

Lógica no Process Flow da atividade de colocar jumbo e reprodução no modelo 3D



Fonte: Flexsim® (2021).

3.5.1 Parâmetros de operação de elementos de simulação

O modelo computacional foi programado para simular a inserção de qualquer ordem de produção, entretanto, para efeitos de comparação e de acordo com a média de produção de janeiro a setembro de 2021 (Tabela 2), definiu-se uma Ordem de Produção (OP) de 280 logs.

Tabela 2

Resultado das análises das ordens de produção (OPs)

Medida	Logs Programados	Logs Produzidos
Média	281,81	270,50
Desvio Padrão	141,78	135,81
Mínimo	90,00	89,45
Máximo	550,00	549,82

Fonte: Autores (2021).

Além disso, o modelo dos cenários considera as variáveis de entrada que influenciam a operação nas estações de trabalho e os dados de saída necessários para as análises.

Para garantir a representação fiel da realidade na simulação, empregou-se a validação do modelo computacional, que vem a ser “[...]o processo de se assegurar que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido” (Engenharia, Bowden, Gogg e Harrell, 2013, p. 37).

O método empregado para a validação do modelo consiste na comparação da média do tempo de ciclo de um *log*, em segundos, obtido mediante coleta *in loco* na empresa e o resultado simulado no *software*. O mesmo procedimento metodológico foi aplicado para a comparação da taxa de produção por hora de cada estação de trabalho, tendo resultados expressos na Tabela 3 – Taxa de Produção de *logs* por hora

Tabela 3

Média do tempo de ciclo para um log (segundos)

<i>Média do Tempo de Ciclo para um Log (segundos)</i>			
Máquina	Real	Simulado	% Erro
Rebobinadeira	102,71	103,11	0,38%
Fatiadeira	154,26	153,87	0,25%
Embaladeira	212,56	213,26	0,33%
Empacotadora	160,48	160,08	0,25%
<i>Taxa de Produção de logs por hora</i>			
Máquina	Real	Simulado	% Erro
Rebobinadeira	35	33	5,71%
Fatiadeira	32	30	6,25%
Embaladeira	24	23	1,74%
Empacotadora	20	20	0,00%

Fonte: Autores (2021)



Para a validação do modelo computacional dos cenários reais e padrão, considerou-se um grau de confiança de 90%, uma vez que a simulação diz respeito a um processo produtivo sem grandes variações nos tempos coletados (Freitas Filho, 2008).

3.5.2 Definição das premissas

As seguintes informações são essenciais para a análise do modelo:

- A simulação é limitada pelo tamanho programado da ordem de produção, ou seja, após os 280 logs serem produzidos encerra-se a produção das máquinas;
- O módulo de simulação inclui somente as máquinas, transportes e operadores da célula Blister; e
- Os tempos de duração das atividades foram inseridos de acordo com as análises estatísticas realizadas pelo *ExpertFit*.

Para auxiliar a criação dos cenários, as seguintes hipóteses foram levantadas:

- Alterar a disposição dos equipamentos no layout para diminuir a distância total percorrida pelos operadores;
- Melhorar os métodos de realização das atividades com o objetivo de balancear a utilização dos operadores e aumentar da taxa de produção por hora das estações de trabalho; e
- Otimizar o tamanho do lote transportado entre as máquinas para diminuir a duração e quantidade de produto em estoque.

4 Outputs e Análise dos Resultados

4.1 Ociosidade

A partir da aplicação do *Flexsim*® para executar o modelo de simulação dos cenários reais e padrão, a pesquisa obteve os seguintes resultados sobre o estado de trabalho das máquinas e dos operadores, observados na Tabelas 4 - Estado das Máquinas. A máquina que permanece ociosa por mais tempo durante o processo é a rebobinadeira, com 57,21% de ociosidade, seguida da fatiadeira,

com 47,21%. Esse tempo ocioso está ligado a atividade de retirar/colocar o *log* na máquina, que consome um tempo elevado do processo.

Tabela 4

Taxas de Ocupação

<i>Estado das Máquinas</i>		
	<i>Ociosidade</i>	<i>Ocupação</i>
Embaladeira	30,20%	69,80%
Fatiadeira	47,21%	52,79%
Rebobinadeira	57,21%	42,79%
<i>Estado dos Operadores</i>		
	<i>Ociosidade</i>	<i>Ocupação</i>
Operador Rebobinadeira	0,53%	99,47%
Operador Fatiadeira	20,01%	79,99%
Operador Embaladeira	6,96%	93,04%
Operador Empacotadeira	0,87%	99,13%

Fonte: Autores (2021).

Ainda de acordo com a Tabela 3 - Estado dos Operadores, o operador que possui maior ociosidade é o da fatiadeira. Durante a simulação percebe-se à espera da embaladeira para poder acontecer a troca de mesas, que são limitadas em 3 na célula, os demais operadores permanecem com ocupação acima de 90% durante o processo. O modelo computacional também possibilitou a obtenção da distância total percorrida pelos operadores (Tabela 5).



Tabela 5

Distâncias percorridas (metros)

Operadores	Distância
Operador Rebobinadeira	588,74
Operador Fatiadeira	3314
Operador Embaladeira	32
Operador Empacotadeira	1653,79
Total	5588,52

Fonte: Autores (2021)

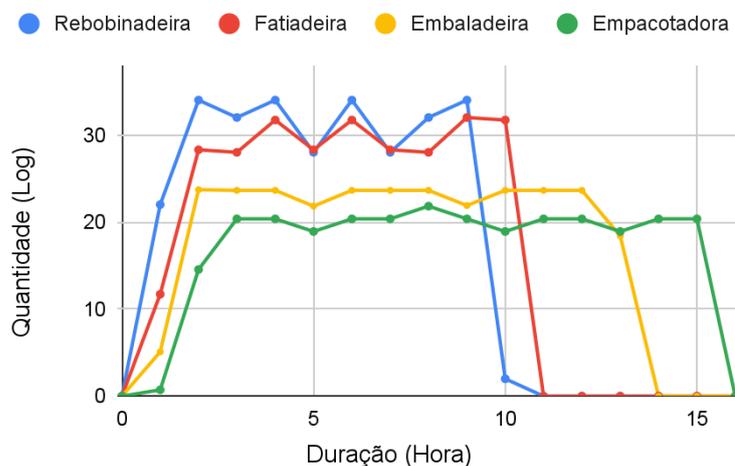
4.2 Gargalo

Mediante análise da saída de *logs* por hora das máquinas, extraída dos resultados da simulação computacional, identificou-se o gargalo da célula. Na Figura 4 observa-se (na cor verde) que a empacotadora possui uma produção média de 20 *logs* por hora, uma diferença média de 5 *log* em relação à embaladeira Blister (na cor amarela), 10 *logs* em comparação a máquina de fatiar (na cor vermelha) e 14 *logs* em média sobre a máquina de rebobinar.

Portanto, constata-se que o gargalo da célula é a empacotadora, seguido da embaladeira, fatiadeira e por último a rebobinadeira, que apresenta a maior taxa de saída.

Figura 4

Comparação de saídas por hora entre as máquinas

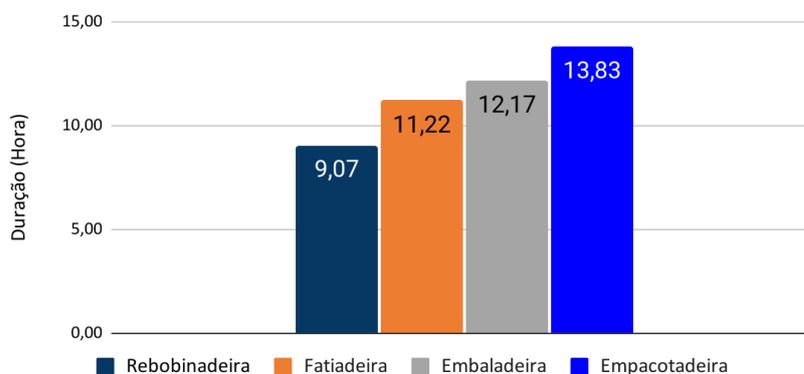


Fonte: Autores (2021)

Entre as possíveis causas para os gargalos estão o tamanho do lote entre as máquinas e a distribuição de atividades entre os operadores, como observado na Figura 5 o tempo em que cada operador é utilizado chega a ter uma discrepância de aproximadamente 5 horas.

Figura 5

Duração total das atividades dos operadores



Fonte: Autores (2021)



4.3 Estoques internos

Em relação ao cenário real, constatou-se que o tempo de espera entre as máquinas influenciou diretamente na duração da OP simulada. No cenário padrão são necessárias 19 horas para a finalização e no cenário real 43 horas, ou seja, uma diferença de 24 horas. A Tabela 6 mostra o tempo em estoque de ambos os cenários.

Tabela 6

Duração máxima de Produtos em estoque (horas)

	Cenário Real	Padrão
Rebobinadeira - Fatiadeira	9,18	-
Fatiadeira - Empacotadora	12,41	-
Fatiadeira - Embaladeira	3,77	3,77
Embaladeira - Empacotadora	-	2,19

Fonte: Autores (2021)

5 Experimentação

A otimização do processo produtivo objetivou um ganho de eficiência na célula, tal benefício pode ser demonstrado de acordo com objetivos e metas estabelecidos no planejamento do projeto.

Inicialmente houve um *brainstorming* a fim de identificar possíveis problemas de cada posto de trabalho no que tange operadores e máquinas, em seguida foram propostas soluções para tais gargalos diagnosticados. Posteriormente fez-se necessário a implementação das melhorias no modelo computacional com o intuito de realizar análises comparativas referentes ao tempo de duração da ordem de produção, saída de *logs* por hora, estoque em processo e tempos de ciclo, os devidos valores foram observados em modelos computacionais do processo produtivo atual e otimizado simulados no *software* FlexSim®.

Os problemas identificados foram analisados individualmente através da simulação computacional e conseqüentemente ocorreram sugestões de melhorias ou soluções de forma individual.

5.1 Rebobinamento

Na operação de rebobinar, identificou-se dificuldades da não utilização do alimentador da fábrica: o mesmo é encarregado de levar tubetes para o operador da máquina rebobinadeira iniciar suas atividades. Entretanto, o responsável pela atividade não realizava essa obrigação, situação que ocasionava a execução da alimentação por parte do operador da própria máquina. A situação acarreta prejuízos, visto que o tempo que o operador da máquina leva para buscar tubetes em estoque poderiam ser convertidos para tempo de processamento.

Outro problema visto foi a não padronização da execução da atividade, sendo feita de diferentes formas entre operadores distintos. Um operador realizava duas atividades em paralelo – enquanto a máquina rebobina um tubete, o operador retira outro *log* já rebobinado; e um segundo operador realizava essas duas operações em sequência, onde primeiro era necessário a máquina rebobinar dois tubetes, e após a conclusão deste processamento o operador retirava os dois *logs*, resultando em um maior tempo de ciclo para o processo.

As soluções apontadas com o objetivo de aplicar melhorias na máquina rebobinadeira foram a utilização do alimentador para transporte de tubetes do estoque até a máquina e padronização do processo de rebobinar, realização das atividades em paralelo, para que ocorra uma diminuição no tempo de ciclo do operador.

5.2 Fatição

No posto de trabalho da fatiadeira foi identificado diferentes formas de execução no processo de fatiar os *logs* e na pré-embalagem das fitas fatiadas. O primeiro operador concedia prioridade à máquina de fatiar no que tange a sua alimentação, situação que gerava ganho produtivo para célula. O segundo operador dava prioridade ao processo de pré-embalagem das fitas, ou seja, posicioná-las na embalagem blister, a mesma é composta pela cartela e PVC blister, antes de serem realmente embaladas na selagem, fato que não agregava valor ao resultado final.

Vale ressaltar que o operador na fatiadeira é responsável de programar a máquina para dar início ao fatiamento do *log* e também responsável pela pré-embalagem das fitas após as mesmas

serem fatiadas, portanto o que alterava nas diferentes formas de execução da atividade era qual atividade seria priorizada.

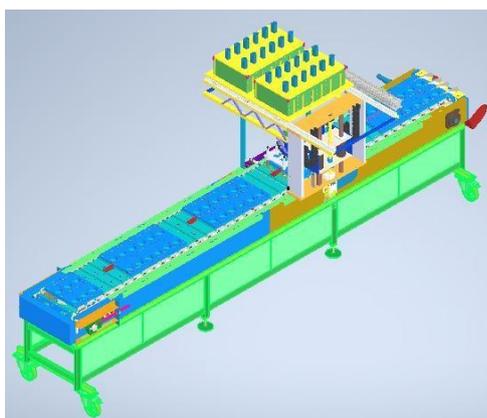
A solução apontada como melhoria a fim de suprir os problemas antes citados, é de o operador fornecer prioridade a alimentação da máquina.

5.3 Embalagem

Em relação ao processo de embalagem das fitas adesivas após as mesmas serem fatiadas, observou-se um tempo de permanência do estoque em processo de até 4 horas. A solução encontrada foi a modelagem do processo com parâmetros de uma nova embaladora advinda de outro projeto de pesquisa e desenvolvimento no qual a empresa está investindo. Destaca-se que a nova máquina terá o triplo da capacidade produtiva comparada à antiga, ou seja, as selagens passariam de quatro em quatro fitas equivalentes a um molde de fitas para doze em doze fitas em um mesmo período de tempo de aproximadamente cinco segundos. A nova máquina pode ser vista na Figura 6.

Figura 6

Desenho 3D da nova máquina embaladora



Fonte: SolidWorks® (2021)

5.4 Empacotamento

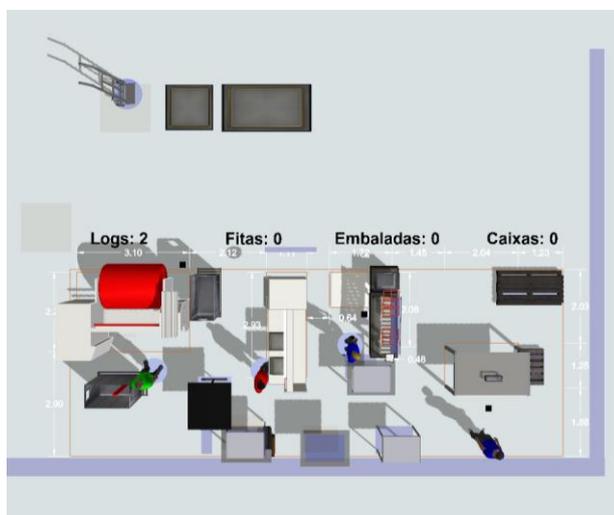
No processo de empacotamento constatou-se que o fechamento da caixa com fitas embaladas estava ocorrendo de maneira manual, visto que a máquina que deveria ser utilizada para executar essa atividade estava com defeito. Como o problema ocasionava em perdas para a célula e

até mesmo na empacotadora como gargalo de toda produção, foi simulado e validado que o uso da máquina traria como consequência a diminuição do processamento da ordem de produção.

Outro problema a destacar é a limitação de espaço para locomoção de materiais e pessoas. Atualmente a célula apresenta um *layout* desfavorável à produção, a desordem no fluxo de operação é fator que aflige a empresa uma vez que é causador de problemas de produtividade. O *layout* atual da célula pode ser visto conforme Figura 7.

Figura 7

Layout atual da célula



Fonte: Autores (2021).

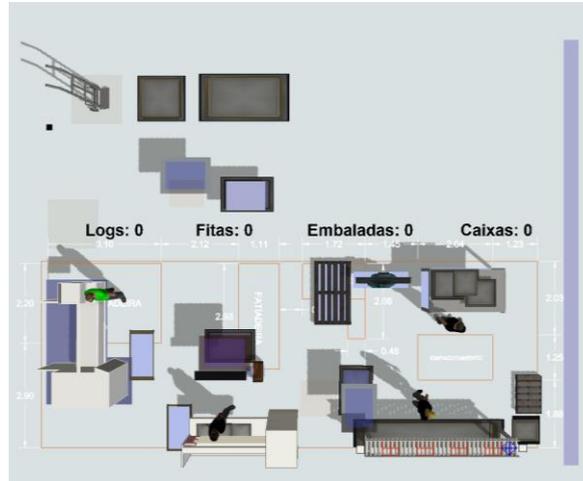
5.5 Layout

Um dos fatores limitantes à célula é que a nova embaladora terá 2 metros a mais se comparada ao do cenário atual da fábrica, por conseguinte fez-se necessário a alteração do *layout* da célula. Ao todo 3 propostas foram feitas, a primeira proposta representada na Figura 8, aumentou o espaço entre operadores da rebobinadeira e fatiadeira, no entanto limitou o transporte de fitas entre fatiadeira e embaladora.



Figura 8

Proposta de layout 1 no Flexsim®

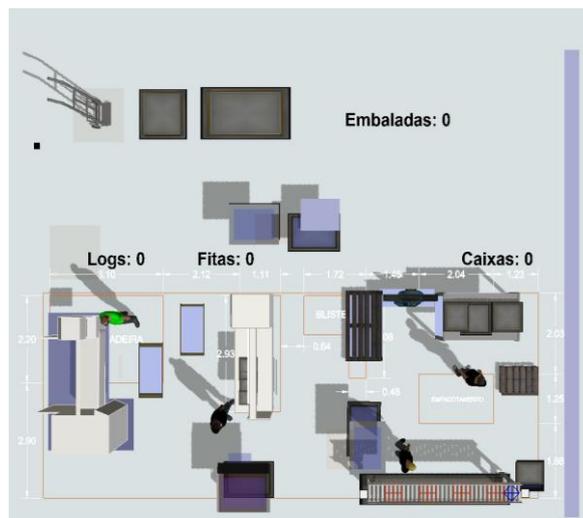


Fonte: Autores (2021).

A segunda proposta, visualizada na Figura 9, supriu a necessidade de transporte de fitas ou troca de carrinhos entre máquinas, todavia o operador da embaladeira necessitaria de um maior deslocamento para execução de suas atividades.

Figura 9

Proposta de layout 2

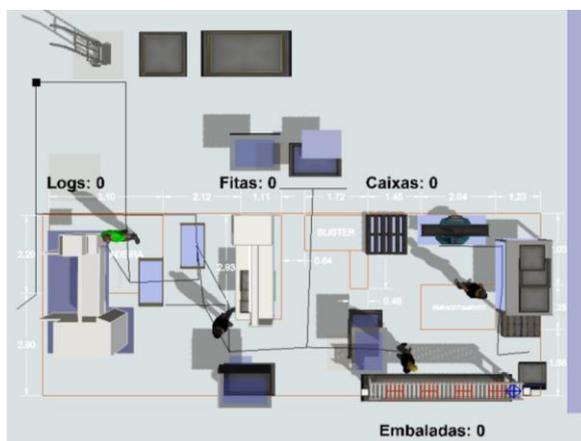


Fonte: Autores (2021).

A última opção de *layout* destacou-se de maneira positiva frente às outras propostas, pois em um mesmo *layout* foi possível fornecer espaço para troca de jumbo na rebobinadeira, realizar trocas de carrinhos ou mesas entre as máquinas como transporte de materiais, além de realocar a mesa de empacotamento, assim o operador da empacotadora precisa se deslocar mais para realizar suas atividades. O *layout* pode ser visto na Figura 10.

Figura 10

Proposta de layout 3 no Flexsim®



Fonte: Autores (2021).

6 Cenários de Melhoria

Tendo em vista os problemas individuais de cada máquina e algumas soluções já existentes, seguiu-se para a implementação de maneira conjunta. Criaram-se de três cenários de melhorias com soluções anteriormente previstas para eliminação de gargalos individuais, além de melhorias pensadas para ganhos na célula como um todo.

6.1 Cenário 1

No primeiro cenário de melhoria simulou-se a integração de melhorias individuais de cada máquina com a proposta do *layout* otimizado. Importante destacar que todos os cenários foram comparados ao cenário atual da corporação e serão mostrados no tópico seguinte de análises comparativas.



Na Tabela 7 é notória a ociosidade do operador da embaladeira, visto que a capacidade produtiva foi triplicada na máquina, com isso a cada chegada de um novo lote vindo da fatiadeira, o operador consegue rapidamente concluir suas atividades, dessa maneira passa o restante do tempo ocioso até a chegada de um novo lote. Neste cenário, ocorrem picos de produção conforme é possível visualizar no Figura 11.

Tabela 7

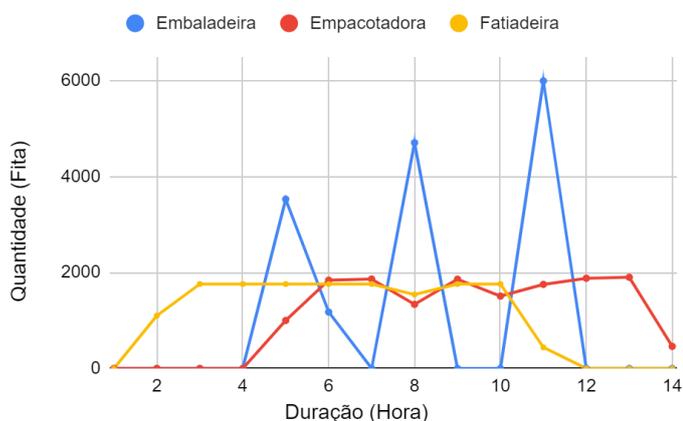
Estado dos operadores no cenário 01

	Ociosidade	Ocupação
Operador Rebobinadeira	1,01%	98,99%
Operador Fatiadeira	8,74%	91,26%
Operador Embaladeira	69,12%	30,88%
Operador Empacotadeira	7,34%	92,66%

Fonte: Autores (2021).

Figura 11

Comparação das saídas de fitas por hora entre as máquinas cenário 01



Fonte: Autores (2021).

6.2 Cenário 2

No segundo cenário de melhorias propôs-se a alteração no tamanho do lote transportado entre a fatiadeira e embaladora para 4.284 fitas, no cenário atual o tamanho do lote era de 4.896 fitas. Esta mudança objetiva diminuir a ociosidade do operador da embaladeira, além das melhorias já implementadas no cenário um, como *layout* e soluções individuais em cada posto de trabalho.

Apesar do operador da embaladeira conseguir ficar menos ocioso conforme demonstrado na Tabela 8, o tempo de permanência do estoque na empacotadora aumentou para até seis horas. Ressalta-se que no cenário atual o tempo de permanência máxima nesse processo era de até duas horas.

Tabela 2

Estado dos operadores no cenário de melhorias 02

	Ociosidade	Ocupação
Operador Rebobinadeira	1,00%	99,00%
Operador Fatiadeira	9,53%	90,47%
Operador Embaladeira	24,64%	75,36%
Operador Empacotadeira	1,44%	98,56%

Fonte: Autores (2021)

6.3 Cenário 3

O intuito no terceiro cenário foi o balanceamento da linha tomando como base o tempo de processamento entres das máquinas, uma vez que no cenário 02 (dois o tempo de permanência no estoque da empacotadora aumentou para 6 horas. Portanto, no último cenário, realizaram-se testes com diferentes tamanhos de lote para transporte entre a fatiadeira e embaladeira, com 5, 8, 10 e 15 camadas, equivalentes a respectivamente 1020, 1632, 2040 e 3060 fitas.

O tamanho ideal do lote, com a visão do balanceamento de linha, foi o de 1632 fitas ou 8 camadas, pois dessa maneira as atividades ficavam equitativamente distribuídas e com menor



discrepância. Além da alteração do tamanho do lote, definiu-se que o operador da embaladora, ao fim das suas atividades, auxiliará o posto de trabalho do empacotamento.

Na Tabela 8 observa-se que o operador da embaladeira aumentou sua taxa de ocupação pois neste cenário adicionou-se uma atividade do processo de empacotamento, e já o operador da empacotadora ficará diminuirá sua taxa de ocupação para valores aceitáveis pois conta com um suporte adicional, e o mesmo poderá organizar seu posto e realizar possíveis retrabalhos que venham a surgir de não-conformidades da embaladeira.

Tabela 3

Estados dos operadores no cenário de melhorias 03

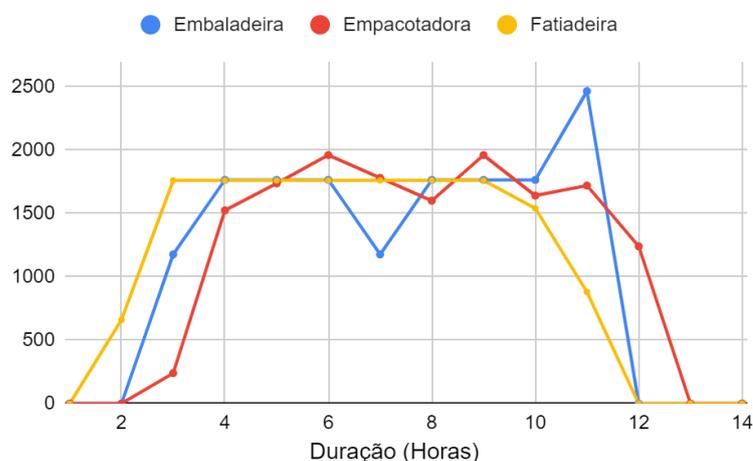
	Ociosidade	Ocupação
Operador Rebobinadeira	1,01%	98,99%
Operador Fatiadeira	6,37%	93,63%
Operador Embaladeira	13,77%	86,23%
Operador Empacotadeira	18,15%	81,85%

Fonte: Autores (2021)

Na Figura 12 é possível visualizar que os picos de produção da embaladeira não ocorrem mais, fazendo com que as atividades se tornem balanceadas. Além disso, o tempo de permanência máximo do estoque em processo na empacotadora foi de até 40 minutos, anteriormente de até seis horas no cenário 02.

Figura 12

Comparação das saídas de fitas por hora entre as máquinas cenário 03



Fonte: Autores (2021)

7 Análise comparativas dos resultados

As análises comparativas foram realizadas em torno do alcance de objetivos e metas estabelecidos no planejamento do projeto, entre os objetivos destacam-se: balanceamento das etapas do processo, aumento da produtividade em no mínimo 10%, simulação de um *layout* eficiente e redução do estoque em processo.

Os resultados encontrados foram analisados acerca do cenário atual da organização e dos três cenários de melhorias propostos, além disso o terceiro cenário de melhoria proposto foi identificado como o mais eficiente dentre as simulações elaboradas.

Em relação a ocupação dos operadores e máquinas, é possível notar que o cenário 03 apresenta atividades mais balanceadas frente aos demais, conforme exemplificado na Figura 13. Tal fato ocorre devido às melhorias implementadas individuais de cada posto de trabalho serem incentivados a otimização do tempo de ciclo na produção do material.

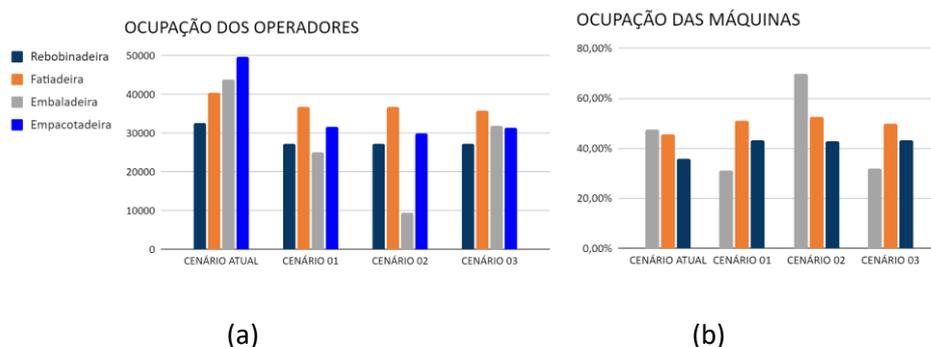
No processo de rebobinar, o operador não necessita realizar a alimentação dos tubetes, o que gera maior tempo ocupado.

No processo de fatiar, a prioridade é dada para alimentação da máquina, o que resulta em um tempo de ocupação maior por parte da máquina.

As atividades dos operadores da empacotadora e embaladora diminuem e ficam mais balanceadas uma vez que, no cenário ideal, os colaboradores dividem as atividades nos processos de empacotamento de caixas.

Figura 13

Ocupação dos operadores e máquinas



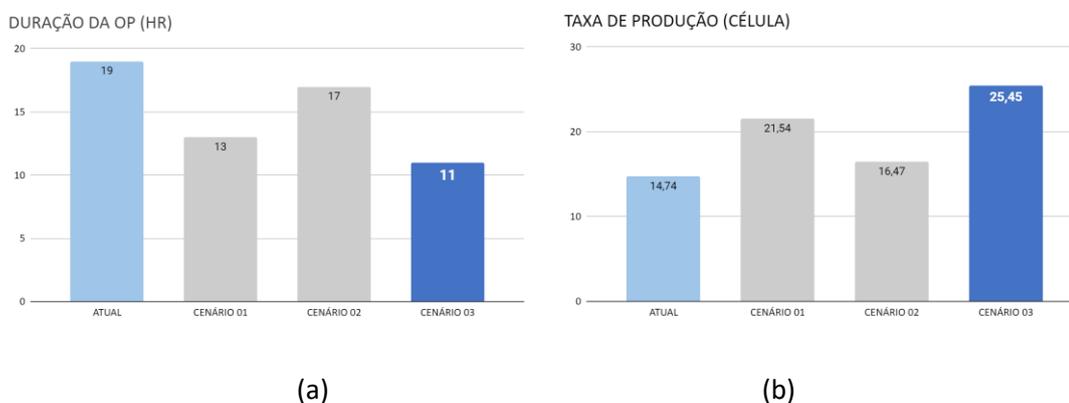
Fonte: Autores (2021).

Com o intuito de alcançar o objetivo de reduzir a *lead time* da célula foram analisadas a duração da ordem de produção em horas. A Figura 14(a) evidencia a redução de 8 horas na duração da OP, que passou de 19 para 11 horas, o que caracteriza uma diminuição de 42,10%.

O segundo tópico alcançado foi o aumento da produtividade em 72,73% na taxa de produção no que se refere a quantidade de *logs* saídos, aumentando de 14,74 para 25,45 *logs* por hora.

Figura 14

Duração da ordem de produção e taxa de produção



Fonte: Autores (2021).

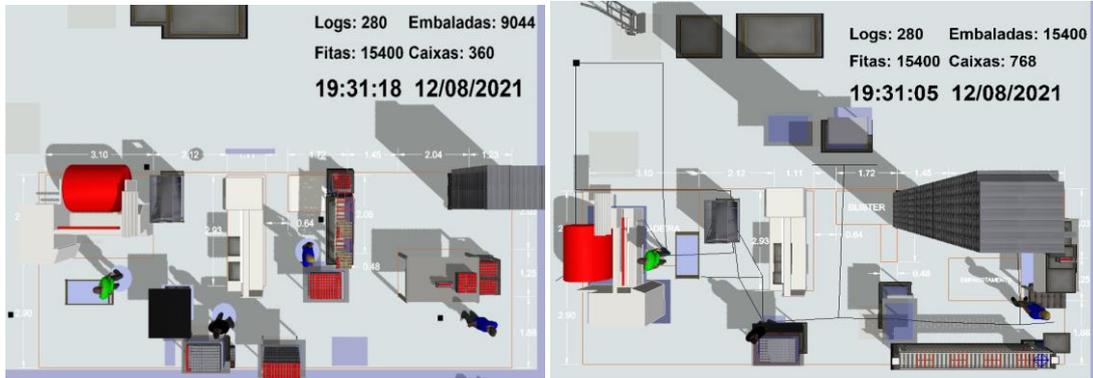
Vale destacar que o aumento da produtividade em 72,73% se deu por melhorias implementadas individualmente em cada máquina e movimentos otimizados de operadores com intuito da redução do tempo ciclo. Outro fator de suma importância é a capacidade produtiva da embaladora ser triplicada.

Um ponto de melhoria analisado foi a simulação de *layouts* eficientes: mensuração da otimização desse tópico foi avaliar a quantidade de saída utilizando o mesmo tempo de simulação nos modelos computacionais comparados com *layout* atual da organização.

Na Figura 15 é possível notar que para um mesmo tempo de simulação, no cenário com o *layout* atual (a) estariam faltando para finalização da ordem de produção em torno de 6.366 fitas a serem embaladas e 8.160 fitas a serem empacotadas, em comparação com o cenário com *layout* otimizado (b), no qual a ordem de produção com 280 logs já estaria finalizada.

Figura 15

Simulação no layout atual e otimizado no Flexsim®



(a)

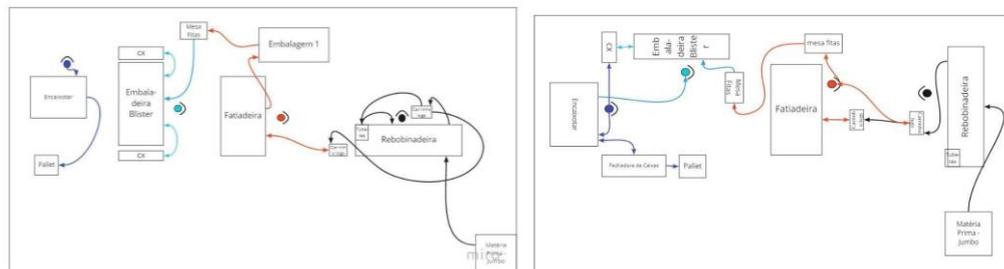
(b)

Fonte: Autores (2021).

No que se refere a avaliação dos *layouts*, construíram-se diagramas espaguetes a fim de ilustrar os movimentos dos operadores. Na Figura 16 (a) o layout atual e (b) o ideal.

Figura 16

Diagramas espaguetes cenário atual e ideal



(a)

(b)

Fonte: Autores (2021).

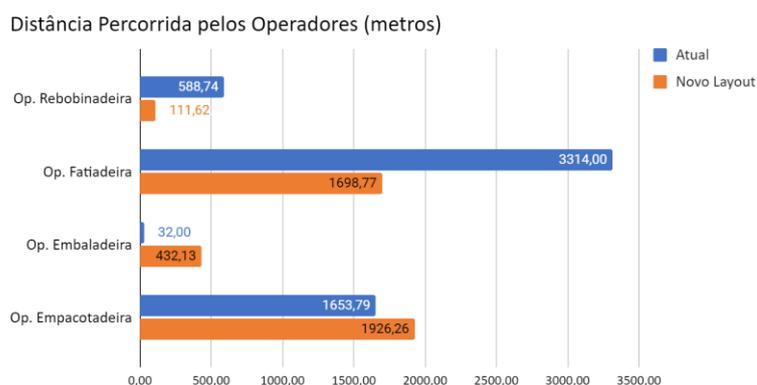
Na análise da simulação de *layouts* eficientes compararam-se as distâncias percorridas em metros pelos operadores das 4 máquinas envolvidas no processo. É possível observar na Figura 17

que, apesar do aumento da distância percorrida de alguns operadores, a distância percorrida total foi reduzida durante a produção de uma ordem de produção de 280 logs.

Destaca-se que os operadores da embaladora e empacotadora tiveram um aumento na distância percorrida e isto resulta em ganho evidente ao término do processo produtivo, visto que o operador da embaladora ao invés de permanecer apenas em seu posto de trabalho, ajuda no processo de empacotamento. Enquanto o operador do empacotamento, que antes realizava todas as operações do processo, no cenário ideal, conta com o suporte da máquina para fechar caixa sendo necessário o mesmo se deslocar para realizar esta atividade.

Figura 17

Distância percorrida pelos operadores



Fonte: Autores (2021).

Por fim, a redução de estoque pode ser demonstrada nas máquinas empacotadora e embaladora. Na máquina empacotadora, o estoque foi reduzido porque, diferente do que ocorria no cenário atual, o processo de empacotamento conta com o suporte do operador da embaladeira quando o mesmo está ocioso, além do suporte da máquina para fechamento das caixas.

Na Figura 18, é possível visualizar o estoque em processo ao lado do operador com blusa azul na empacotadora, o tempo de permanência do estoque em processo no cenário ideal é de até 40 minutos, redução de 1 hora e 20 minutos visto que anteriormente eram de até 2 horas.



Figura 18

Estoque em processo na empacotadora no Flexsim®



Fonte: Autores (2021).

Outro ganho colossal foi a redução no tempo de permanência do estoque em processo na embaladora de até 3 horas e 59 minutos visto que no cenário atual, o estoque permanecia em processo até 4 horas e no cenário ideal permanece no máximo 1 minuto.

Tal ocorrência acontece devido ao fato da máquina embaladora ter triplicado sua capacidade produtiva no que diz respeito a embalagem de fitas: antes eram embaladas 4 fitas em um período de 5 segundos.

No cenário ideal, com a nova máquina, são embaladas 12 fitas no mesmo período de tempo. Vê-se na Figura 19 o estoque em processo no cenário ideal na máquina embaladora.

Figura 19

Estoque em processo na embaladora no Flexsim®



Fonte: Autores (2021).

Além da análise buscando a redução de ociosidade, eliminação de gargalos e criação de estoques entre as etapas do processo produtivo da linhas de produção da fita adesiva em estudo, o modelo de simulação dos cenário com melhoria contemplou uma máquina de embalagem que ainda estava em fase de desenvolvimento.

Desta maneira pode prever os impactos da inserção deste novo maquinário no sistema em estudo: tanto em relação a capacidade produtiva da linha quanto no rearranjo do *layout* produtivo, uma vez que as dimensões maiores do projeto da nova embaladeira exigiram alteração da disposição da célula de produção.

Ressalta-se também a falta de publicações em periódicos indexados da aplicação da simulação computacional em sistemas produtivos de fitas adesivas, tanto em bases nacionais quanto internacionais. Na pesquisa bibliográfica realizadas, encontrou-se disponíveis apenas publicações em congressos, trabalhos de conclusão de cursos e algumas dissertações de mestrado.

8 Conclusão

A empresa analisada por esse estudo passa por plena expansão atingindo novos mercados no país. Em meio a este cenário e projetando crescimento para os anos seguintes, utilizou-se a



simulação computacional como ferramenta para análise da célula produtiva e proposições e testes de melhorias objetivando o aumento da produtividade e diminuição do estoque.

A simulação computacional por meio do *software* FlexSim® permitiu testar algumas hipóteses e antever se as mudanças nos valores das variáveis controladas são benéficas para a organização ou não sem interrupções do processo físico real e a partir daí criar um cenário futuro possível e adequado. O resultado da elaboração de cenário para a introdução de uma nova máquina de embalagem, substituindo a anterior, e de uma máquina de empacotamento possibilitou definir o melhor *layout*, fluxo de material e operadores e sequência de atividades que, quando instaladas.

Os *inputs* obtidos por meio da cronoanálise e visitas técnicas foram:

- Distribuição estatística dos tempos de cada atividade e duração do setup;
- Métodos de realização das atividades;
- Quantidade de máquinas e operadores;
- Tamanho do lote transportado entre as máquinas; e
- Layout atual da célula Blister;

Os *outputs* do modelo são:

- Taxa de produção por hora das estações de trabalho;
- Status de utilização e ociosidade dos operadores e das máquinas;
- Distância total percorrida pelos operadores;
- Duração e quantidade de produto em estoque entre as máquinas; e
- Duração da ordem de produção.

Os ganhos apresentados nos modelos foram uma redução de 42,10% no *Lead time* de uma OP com 15.400 fitas utilizando a mesma quantidade de mão de obra, atingindo dessa forma o

objetivo da pesquisa no que tange o aumento da produtividade em no mínimo 10%. Estas informações auxiliará a direção da empresa na tomada de decisão no que tange às análises de decisões de investimento a curto e médio prazo e antecipando as atividades necessárias antes mesmo dos novos maquinários serem implementados.

Para pesquisas futuras, pode-se simular as demais famílias da própria dupla face espuma e da dupla face acrílica de modo a propor o melhor sequenciamento de produção de modo a aumentar a produtividade global da célula.

Referências

- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1954). A test of goodness of fit. *Journal of the American statistical association*, 49(268), 765-769. <https://doi.org/10.1080/01621459.1954.10501232>
- Araujo, S., Corrêa, V. A., & do Patrocínio Nunes, L. E. N. (2013). Análise do comportamento da demanda com abordagem de cenários simulados no setor automobilístico. *Exacta*, 11(1), 59-76. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v11n1.3950>
- Banks, J., Carson II, J. S., Automation, B., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation*. (5a ed.). Prentice Hall.
- Banks, J. (1999, dezembro). Introdução à simulação. Em *Proceedings of the 31a conference on Winter simulation: Simulation a bridge to the future-Volume 1* (pp. 7-13).
- Beaverstock, M., Greenwood, A., & Nordgren, W. (2017). *Applied Simulation: Modeling and Analysis Using Flexsim*. (5a ed.). BookBaby.
- Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (n.d.). Was ist Industrie 4.0?. Recuperado em 13 dezembro, 2021, de <[Exacta, 22\(1\), p. 197-237, jan./mar. 2024](https://www.plattform-</p></div><div data-bbox=)



i40.de/IP/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>.

Corbin, P. (1997). Opportunities for adhesives and tapes in automated assembly. *Assembly Automation*.

Chwif, L., Medina, A. C. (2007). *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações*. (2a ed.). rev. São Paulo: Ed. do Autor.

Crain, R. C., Sussman, J. M., Schriber, T. J., Henriksen, J. O., & Roberts, S. D. (1992, December). The winter simulation conference: celebrating twenty-five years of progress. In *Proceedings of the 24th conference on Winter simulation* (pp. 3-33).<https://doi.org/10.1145/167293.167302>

Di Serio, L. C., & de Vasconcellos, M. A. (2017). *Estratégia e competitividade empresarial*. Saraiva Educação SA.

Engenharia, B., Bowden, R. O., Gogg, T. J., & Harrell, C. R. (2013). *Simulação De Sistemas: Aprimorando Processos de Logística, Serviços e Manufatura* (Vol. 1). Elsevier Brasil.

FlexSim Software Products, Inc. (2021). *FlexSim 2021 for Education* (FlexSim 21.2.4). [Software].

Freitas Filho, P. D. (2008). *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*. Florianópolis, SC.

Gierenz, G., & Karmann, W. (Eds.). (2008). *Adhesives and adhesive tapes*. John Wiley & Sons.

Hitt, M. A. Ireland, R. D., & Hoskisson, R. E. (2012). *Administração estratégica: competitividade e globalização*. (2a ed.). São Paulo: Cengage Learning.

Kljajić, M., Bernik, I., & Škraba, A. (2000). Simulation Approach to Decision Assessment in Enterprises. *Simulation*, 75(4), 199-210. <https://doi.org/10.1177/003754970007500402>

Lucas, A.M, Freires, V.M., Nascimento, A. T.L, Segadilha, B.P.R, Ribeiro, W. M.S., Leal, L.S., Bezerra, A.S., Silva, R.H.P (2022). Análise e modelagem computacional do processo de manufatura de fitas adesivas em uma empresa do Polo Industrial de Manaus. *Sistemas & Gestão*, 17(1). <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2022.v17n1.1776>

Marconi, M. A. & Lakatos, E. M. (1996). *Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração e interpretação de dados.* (3a ed.). São Paulo: Atlas 6.

Messe, D. Hannover Messe 2011. *Engineering & Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 90-90, April 2011.

Azevedo, M.M. & Almeida, E.S. (2019). Balancing a manufacturing line integrating gbo analysis and computational simulation: a case study in a white line company. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 14(1), 210–230. <https://doi.org/10.15675/gepros.v14i1.2109>

Prifti, L., Knigge, M., Kienegger, H., & Krcmar, H. (2017). A Competency Model for" Industrie 4.0" Employees. *Wirtschaftsinformatik und Angewandte Informatik*.

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2019). Tudo Sobre Simulação Digital, Um dos Principais Pilares da Indústria 4.0. Recuperado em 13 dezembro, 2021, de <https://www.senairs.org.br/industria-inteligente/tudo-sobre-simulacao-digital-um-dos-principais-pilares-da-industria-40>.



Shannon, R. E. (1998, December). Introduction to the art and science of simulation. In *1998 winter simulation conference. proceedings* (cat. no. 98ch36274) (Vol. 1, pp. 7-14). IEEE.