

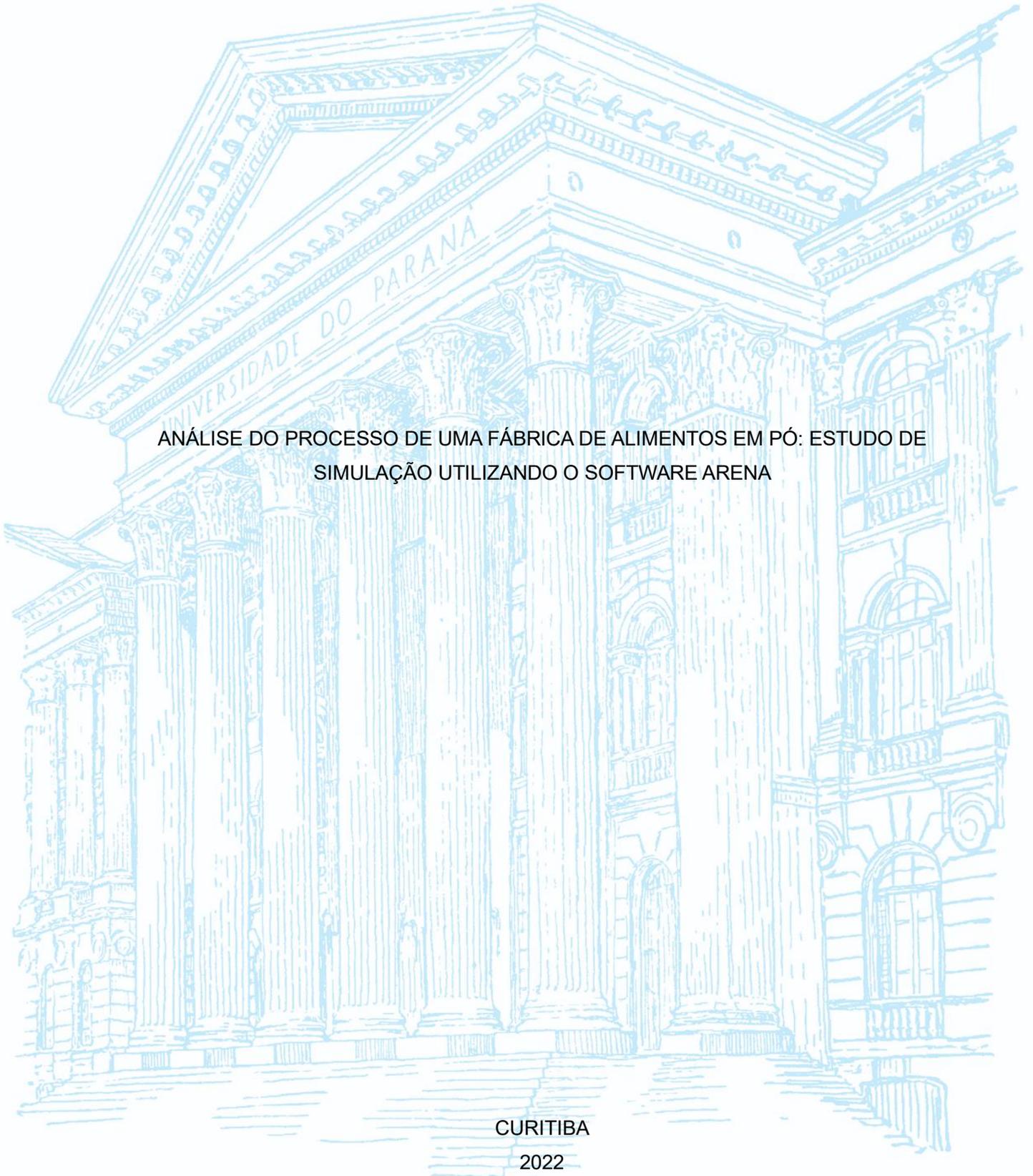
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATÁLIA PEREIRA DE AZEVEDO

ANÁLISE DO PROCESSO DE UMA FÁBRICA DE ALIMENTOS EM PÓ: ESTUDO DE
SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

CURITIBA

2022



NATÁLIA PEREIRA DE AZEVEDO

ANÁLISE DO PROCESSO DE UMA FÁBRICA DE ALIMENTOS EM PÓ: ESTUDO DE
SIMULAÇÃO UTILIZANDO O SOFTWARE ARENA

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro(a) de Produção.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Mariana Kleina

CURITIBA

2022

RESUMO

Atualmente, a eficiência é um parâmetro essencial para a sobrevivência e o sucesso de uma empresa. Com o surgimento da Pesquisa Operacional houve um grande avanço na produtividade das empresas em diferentes áreas de atuação, contribuindo para o aumento de sua eficiência. A simulação de processos, ferramenta desta área de estudo, possibilita a análise em *softwares* de cenários complexos de processos de maneira simplificada, com o objetivo de identificar possíveis oportunidades relacionadas a produtividade da empresa e auxiliar na tomada de decisão sem a necessidade de um alto investimento. Neste trabalho, é feita a implementação e a análise de uma simulação referente ao processo de preparação de receitas de uma fábrica de alimentos em pó no *software* ARENA. O foco é a análise de tempo de processo e dos deslocamentos e distâncias percorridas pelos transportadores existentes no sistema. Para a construção da simulação, são realizadas as etapas de Planejamento, Modelagem e Experimentação. Com os resultados obtidos após a execução do modelo no *software*, é identificado o tempo de permanência de uma entidade no sistema, a etapa em que há o maior tempo de espera, informações sobre os transportadores e oportunidades. São sugeridas duas possibilidades de melhorias na tomada de decisão do deslocamento dos transportadores durante o processo.

Palavras-chave: Simulação. ARENA. Processo. Modelagem. Análise.

ABSTRACT

Currently, efficiency is an essential parameter for the survival and success of a company. With the emergence of Operational Research, there was a great advance in the productivity of companies in different areas of activity, contributing to the increase of their efficiency. Process simulation, a tool in this area of study, enables the analysis in software of complex process scenarios in a simplified way, the objective is identify possible opportunities related to the company's productivity and assisting in decision making without a high investment. In this work, the implementation and analysis of a simulation related to the recipe preparation process of a powdered food factory in the ARENA software is carried out. The focus is the analysis of process time and the displacements and distances covered by existing conveyors in the system. For the construction of the simulation, the stages of Planning, Modeling and Experimentation are carried out. With the results obtained after running the model in the software, the permanence of an entity in the system is identified, the stage in which there is the longest waiting time, information about the carriers and opportunities. Two possibilities for improvement in the decision-making of the displacement of the transporters during the process are suggested.

Keywords: Simulation. ARENA. Process. Modeling. Analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
1.1	OBJETIVOS	6
1.1.1	Objetivo geral	6
1.1.2	Objetivos específicos	6
1.2	JUSTIFICATIVA	6
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	8
2.2	SIMULAÇÃO	10
2.2.1	Desenvolvimento de um modelo de simulação	11
2.2.2	Modelagem de filas.....	12
2.3	SOFTWARE ARENA	13
3	METODOLOGIA	16
3.1	ETAPA DE PLANEJAMENTO	17
3.1.1	Formulação e análise do problema.....	17
3.1.2	Planejamento do projeto.....	18
3.1.3	Formulação do modelo conceitual	18
3.1.4	Coleta de macro informações	18
3.2	ETAPA DE MODELAGEM.....	20
3.2.1	Coleta de dados	21
3.2.2	Tradução do modelo.....	22
3.2.3	Verificação e validação do modelo.....	22
3.3	ETAPA DE EXPERIMENTAÇÃO.....	22
3.4	TOMADA DE DECISÃO E CONCLUSÃO DO PROJETO.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1	MODELO CONCEITUAL DO PROCESSO.....	24
4.2	COLETA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS.....	26
4.3	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ARENA	27
4.4	DESLOCAMENTOS E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELOS TRANSPORTADORES	30
4.5	OPORTUNIDADE DE MELHORIA.....	31
5	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

A competição intensa entre as empresas na atualidade destaca a eficiência como um parâmetro essencial para a sobrevivência e o sucesso das empresas. Segundo Gregório (2019), compreender as interações entre os elementos de um sistema é fundamental para a identificação dos gargalos e para a geração de alternativas eficazes. Conforme Stein et al. (2018), para elevar o desempenho empresarial, a utilização de métodos científicos estruturados para auxiliar nas tomadas de decisão é fundamental.

O surgimento da área de estudo de Pesquisa Operacional possibilitou um grande avanço na produtividade das empresas em diferentes áreas de atuação. O termo “Pesquisa Operacional” originou-se durante a Segunda Guerra Mundial, quando pesquisadores desenvolveram métodos para a resolução de problemas de operações militares. Devido ao sucesso da metodologia, as empresas começaram a utilizar as técnicas criadas para a análise e resolução de problemas de administração (ANDRADE, 2015). Esta área de estudo objetiva otimizar sistemas por meio de métodos matemáticos, os quais auxiliam na tomada de decisões.

Na Pesquisa Operacional são utilizados modelos, os quais permitem ao usuário testar computacionalmente antes de implementar a solução e analisar se há outras opções melhores para então realizar a tomada de decisão. A modelagem e a simulação de processos permitem às empresas analisarem em *softwares* cenários complexos de maneira simplificada com o objetivo de identificarem alternativas de solução (GREGÓRIO, 2019). Segundo Freitas Filho (2008), os modelos de simulação são amplamente utilizados para planejar um sistema que ainda não existe, para analisar cenários de um sistema já existente e para analisar se o sistema existente não é apropriado. A definição do objetivo da simulação é baseada na identificação do problema e do sistema analisados.

Após o entendimento das prioridades de uma fábrica de alimentos em pó, foi percebida a necessidade de analisar o tempo necessário para a produção de uma receita considerando a formação de filas e tempos de transporte ocorrido no processo. Atualmente, este importante parâmetro não é conhecido de maneira precisa. No setor em estudo, a capacidade é difícil de ser calculada pois o *layout* é funcional, ou seja, os processos e equipamentos das mesmas operações estão agrupados em setores de trabalhos específicos, e há a formação de filas durante o processo. Desta forma, utilizando os conceitos da Pesquisa Operacional, este trabalho aborda um estudo de caso referente a uma modelagem de simulação deste setor focada na análise de tempo das etapas e transporte do processo.

1.1 OBJETIVOS

Neste capítulo são apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho. Além disso, é explicada a justificativa para o seu desenvolvimento.

1.1.1 Objetivo geral

No presente trabalho, o objetivo geral é desenvolver um modelo de simulação do setor de preparação das receitas de uma fábrica de alimentos em pó para analisar informações do processo, tais como: tempo necessário para a produção de uma receita; deslocamento e distância percorrida por transportadores; além de identificar possível melhoria no processo. A análise objetiva facilitar a compreensão do comportamento do sistema referente ao setor mencionado. Desta forma, o estudo auxiliará na tomada de decisões após a identificação das oportunidades e o entendimento das filas e tempos de cada etapa do processo.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Obter um modelo conceitual do sistema referente ao setor de preparação das receitas de uma fábrica de alimentos em pó;
- b) Coletar dados do processo e tratá-los para análise estatística;
- c) Desenvolver e executar um modelo de simulação a eventos discretos do sistema em estudo no *software* ARENA;
- d) Entender o tempo médio, mínimo e máximo das entidades no sistema, considerando todas as linhas de envase a cem por cento de capacidade, em dois turnos, durante 6 dias;
- e) Determinar a quantidade de rotas realizadas pelos transportadores do sistema em dois turnos;
- f) Determinar a distância percorrida dos transportadores do sistema em dois turnos;
- g) Analisar os resultados da execução da simulação identificando oportunidades no sistema.

1.2 JUSTIFICATIVA

No setor de preparação de receitas em estudo há a formação de filas ao longo do processo, não sendo viável analisar o tempo de permanência necessário para a produção de uma receita de maneira direta por meio de fórmulas matemáticas. Atualmente, o setor contém mais de 50 receitas, sendo que cada uma apresenta um tempo de processo, visto que as quantidades de

matérias-primas dosadas variam. Desta forma, a combinação, a quantidade e a ordem de quais receitas serão fabricadas em uma semana interferem no tempo de espera nas filas dos recursos do processo.

No setor em estudo ainda há dois transportadores responsáveis por deslocarem os recipientes que recebem as dosagens de matérias-primas necessárias para a produção de uma receita, recipientes estes conhecidos por *bins*. Os transportadores realizam diversas rotas, sendo que a prioridade de deslocamento será aquele *bin* que o chamar por primeiro, de acordo com o método FIFO (*First In, First Out*). Assim como a combinação das receitas interferem no tempo de espera nas filas dos recursos do processo, também interferem em quais serão as rotas dos transportadores e o tempo necessário para o transportador chegar ao local do *bin* que o chamou para realizar seu deslocamento. Essas interferências acarretam em grande complexidade para a análise de parâmetros do setor.

No contexto atual, o setor em estudo não possui uma análise do processo com alta precisão, ocasionando falhas de planejamento e impactando na entrega do volume. Este trabalho considera, no modelo de simulação desenvolvido, a quantidade de produção das receitas quando cem por cento de todas as linhas de envase estão rodando, sendo assim, o pior cenário. Por meio dos resultados deste trabalho, será possível realizar um melhor planejamento de produção das receitas, identificar gargalos e também oportunidades no processo, além de garantir o melhor entendimento do setor para futuros projetos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são apresentados conceitos relacionados a sistemas de produção, modelagem de sistemas, simulação de processos, modelagem de filas e sobre o *software* ARENA. Além disso, é dissertado sobre a justificativa para utilizar a simulação, suas aplicações, classificações e como é feito o seu desenvolvimento.

2.1 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Há diferentes sistemas de produção na atualidade, como exemplo, é possível citar a produção em uma indústria de alimentos e a operação de uma confeitaria. Para Moreira (2012), um sistema de produção representa o conjunto de elementos físicos, informacionais e de operações, o qual produz bens ou serviços a partir do trabalho harmônico entre seus elementos. Um sistema apresenta insumos, um processo propriamente dito e os resultados caracterizados pelos produtos ou serviços. Na área de manufatura, os sistemas se diferenciam, principalmente, pelo volume de produção e pela flexibilização da produção.

Segundo Black (1998, citado por ANTUNES et al., 2011), de forma geral, um sistema de manufatura recebe um conjunto de entradas a partir das quais os materiais são fisicamente processados e adquirem valor agregado pela utilização de um conjunto de elementos complexos, como máquinas e pessoas, o que resulta como saída: produtos acabados, destinados diretamente aos consumidores, ou bens semiacabados que são utilizados pelos clientes para fabricar outros produtos acabados.

É comum um sistema de manufatura receber novas tecnologias ou sofrer alterações para que seja mais eficiente, flexível, automatizado ou para receber novos produtos. Para isso, de acordo com Assis, Rodrigues e Azarias (2016), é preciso entender onde encontram-se os gargalos, as oportunidades e, assim, avaliar os possíveis cenários. O estudo de um processo pode ser feito de diferentes formas. A experimentação por modelos é uma alternativa eficiente e viável para avaliar o impacto de mudanças em um sistema complexo, desta forma não é preciso uma intervenção direta nas rotinas operacionais.

Segundo Miyagi (2006), no estudo de sistemas, há conceitos fundamentais, são eles:

- Variáveis: Valores globais do sistema, os quais são visíveis em qualquer instante do sistema;
- Entidade: Objeto de interesse no sistema, o qual se movimenta no sistema e interage com os recursos;
- Atributo: Propriedade de uma entidade;
- Evento: Acontecimento que altera o estado do sistema;

- Estado: Descreve uma situação do sistema e é identificado pelos valores das suas variáveis em um determinado instante;
- Filas: Acúmulos de entidades geradas por alguma limitação na capacidade do recurso;
- Recurso: Estrutura do sistema, a qual não se movimenta e é utilizada pela entidade.

Em um sistema de produção, a capacidade é uma variável importante de ser conhecida. Conforme Moreira (2012), a capacidade pode ser entendida como as condições de atingir determinadas quantidades, ou seja, representa o limite. Todo sistema apresenta determinada capacidade, a qual deve ser bem planejada na etapa de projeto de acordo com a demanda esperada. Em fábricas onde há a geração de filas no processo, uma maneira de entender a capacidade é por meio da simulação.

No cotidiano de um gerente, uma de suas principais atribuições é a análise de decisões, porém no âmbito da manufatura executar esta tarefa sem o auxílio de ferramentas que permitam a visão holística do sistema pode ser bastante complexo. Por meio da modelagem de sistemas, a análise e a solução de problemas dos sistemas são facilitadas. A modelagem é um meio utilizado para a representação formal dos processos organizacionais, retirando a subjetividade mediante a representação de todos os requisitos necessários (GREGÓRIO, 2018).

Segundo Stein et al. (2018), no processo de tomada de decisão, há objetivos relacionados, que são: transformação de dados em novas informações palpáveis; apoio na tomada de decisões para formas transferíveis e independentes; e criação de sistemas computacionais que podem ser úteis ao usuário. Schlegel e Murray (2010) ressaltam que, para ampliar a capacidade da tomada de decisão, é necessário desenvolver métodos determinísticos ou probabilísticos, sendo que o último permite simular a variabilidade das incertezas que o mercado apresenta por meio de modelos de apoio para a tomada de decisão.

A área que compreende o entendimento e utilização destes modelos é a Pesquisa Operacional. Segundo Andrade (2015), a utilização de modelos na análise de decisão permite a “experimentação”, ou seja, a possibilidade de uma tomada de decisão ser melhor avaliada e testada antes de ser implementada. Desta forma, a decisão é mais assertiva, além de que a economia de recursos e a experiência adquirida com a experimentação justificam o conhecimento e a utilização da Pesquisa Operacional como instrumento de gerência.

As técnicas de otimização (ou de modelagem matemática) normalmente estão condicionadas à solução de um objetivo e assumem que as restrições não podem ser violadas. Porém, há diversas soluções existentes no mundo real que exigem que boa parte das decisões das empresas seja flexível. Dessa forma, no desenvolvimento dos modelos, os gestores procuram satisfazer ou pelo menos se aproximar dos objetivos estabelecidos, ao invés de considerá-los como rígidos (STEIN et al., 2018).

De acordo com a natureza das variáveis que formam um modelo, eles podem ser classificados em Modelos Determinísticos, nos quais as variáveis são conhecidas e confiáveis, e em Modelos Estocásticos ou Probabilísticos, nos quais as variáveis são aleatórias e há incerteza.

Segundo Andrade (2015), além da natureza das variáveis, outras características do problema ou o contexto da decisão levam a classificar os modelos em dois grandes grupos quanto ao processo de resolução para a obtenção da solução: modelos de simulação e modelos de otimização.

Andrade (2015) destaca que os modelos de simulação têm o intuito de representarem o mundo real permitindo a criação e a análise de cenários antes da sua implementação, porém a escolha da melhor alternativa não é fixada na estrutura do modelo, mas sim pelo usuário. Em contrapartida, os modelos de otimização são estruturados para encontrar uma alternativa ótima mediante uma análise matemática processada pelos algoritmos baseada nos critérios estabelecidos pelo usuário, assim não permitem flexibilidade por meio da criação de diferentes cenários.

Em relação aos modelos computacionais de simulação, as seguintes vantagens são apresentadas como exemplos:

- a. Os modelos fornecem respostas rápidas e abrangentes, permitindo que o analista faça experimentos com um grande número de previsões e hipóteses, sem gastar muito tempo.
 - b. Modelos bem construídos contemplam as inter-relações entre as operações e os subsistemas da empresa. Assim, se um fator for alterado, é possível estudar como ele influencia os demais setores da companhia.
 - c. Os modelos são sistemáticas estruturadas de análise e raciocínio. Assim sendo, facilitam o acompanhamento e a participação de várias pessoas em um mesmo processo de tomada de decisão.
- (ANDRADE, 2015, página 23)

2.2 SIMULAÇÃO

De acordo com Andrade (2015, p. 123), “A simulação de um sistema é a operação de um modelo que representa esse sistema, geralmente em computadores, respeitando-se todas as regras e condições reais a que o sistema está submetido”. Os modelos de simulação permitem a análise do comportamento dos eventos de um sistema e as respostas às manipulações realizadas no ambiente virtual pelo usuário. Diferentemente dos métodos matemáticos, na simulação não são utilizados valores médios para os parâmetros no modelo, e sim distribuições estatísticas geradas a partir de uma coleção de dados sobre o parâmetro a ser inserido (ARAGÃO, 2011).

A simulação representa diversos meios e recursos produtivos com suas relações e interações, gerando informações que auxiliam na tomada de decisões sobre o que fazer e quando fazer (GREGÓRIO, 2018). Atualmente, com a facilidade de acesso às tecnologias, a simulação está cada vez mais presente nas empresas, principalmente nas indústrias, onde sua aplicabilidade é vasta. Definição de capacidade produtiva, projeção de estoques e tempo de produção, representação de fluxo de materiais e pessoas e dimensionamento de filas, são algumas das aplicações da simulação.

Os modelos de simulação são classificados em Simulação de Monte Carlo, Simulação Contínua e Simulação de Eventos Discretos. Chwif e Medina (2015) ressaltam que:

A Simulação de Monte Carlo utiliza geradores de números aleatórios para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais o tempo não é considerado explicitamente como uma variável. A Simulação Contínua e a Simulação de Eventos Discretos consideram as mudanças de estado do sistema ao longo do tempo. A Simulação Contínua é utilizada para modelar sistemas cujo estado varia continuamente no tempo. A 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.

(CHWIF; MEDINA, 2015, página 53)

A simulação de eventos discretos é muito eficiente em situações do mundo real, pois permite a análise de filas como variável aleatória. Além de que, segundo Miyagi (2006), este tipo de modelo de simulação é executado por métodos numéricos, ou seja, por meio de procedimentos computacionais.

Em tomadas de decisão relacionadas a sistemas complexos, é comum os gestores basearem-se na vivência e estimarem resultados por meio de contas simplificadas. Chwif e Medina (2015), abordam outras ferramentas para a análise de sistemas, sendo elas as planilhas de Excel, métodos de otimização, Teoria das Filas e simulação. Porém, destacam que “se o problema em questão for complexo, dinâmico e apresentar aleatoriedade, a melhor escolha é a simulação”.

Segundo Gregório (2018), a simulação é uma ferramenta com muito potencial, visto que compreender as interações e trocas entre os elementos de um sistema é fundamental para a identificação dos gargalos e para a geração de alternativas que contribuam com resultados positivos para a empresa. Além de uma ferramenta de análise de problemas, a simulação é uma ferramenta que promove uma melhor compreensão sobre os sistemas, atuando como meio de comunicação entre os *stakeholders* (CHWIF; MEDINA, 2015).

2.2.1 Desenvolvimento de um modelo de simulação

Após entender que para um determinado sistema, a melhor análise de solução será feita por meio da simulação, há passos para a construção do modelo. De acordo com Chwif e Medina (2015), há três grandes etapas, são elas:

- Etapa de Concepção: Definição do escopo do modelo, coleta dos dados de entrada e construção do modelo conceitual;
- Etapa de Implementação: Construção do modelo computacional por meio do modelo conceitual, verificação e validação do modelo;
- Etapa de Análise: Construção do modelo experimental ou operacional, análise dos resultados das rodadas do modelo.

Robinson (2004, citado por CHWIF, MEDINA, 2015) enfatiza a não linearidade de um estudo de simulação, a qual deve ser considerada na construção do modelo. Desta forma, as

etapas não são estagnadas, no projeto de simulação elas são repetidas, desenvolvendo-se em formato espiral.

Segundo Gregório (2018), as etapas de desenvolvimento de um projeto de simulação podem ser descritas com maior detalhamento como:

1. Definição do problema e dos objetivos: definição do problema existente no sistema real a ser solucionado e dos objetivos do projeto de simulação.
2. Formulação e planejamento do modelo: construção do modelo conceitual do projeto.
3. Coleta de dados: identificação dos dados necessários e coleta.
4. Desenvolvimento do modelo: desenvolvimento de um modelo computacional que represente o modelo conceitual.
5. Verificação: análise que verifica se o modelo computacional representa satisfatoriamente o modelo conceitual.
6. Validação: aprovação do modelo computacional caso ele esteja adequado. Caso não esteja, retorna-se à fase de desenvolvimento do modelo.
7. Experimentação: realização de testes no modelo, de acordo com os cenários predeterminados.
8. Análise dos resultados e apresentação: exame dos resultados da experimentação e apresentação aos tomadores de decisões.
9. Implementação: implantação da decisão tomada.

No início do desenvolvimento do projeto, é necessário responder a perguntas como “o que, quando e como será feito?”, “quais cenários serão analisados?”, “quais são as restrições que serão consideradas?”. Após o entendimento do problema, dos objetivos e da construção do modelo conceitual, inicia-se a coleta de dados, uma das etapas mais importantes do projeto. Segundo Miyagi (2006), nesta etapa, é preciso garantir que a amostra de dados seja a mais representativa possível do fenômeno. O autor destaca que após realizar a coleta, é necessário tratar os dados e realizar a inferência estatística. Após estas etapas, os dados serão incorporados ao modelo de simulação e as demais etapas de desenvolvimento do projeto serão realizadas.

Segundo Moreira (2012), os dados coletados para a construção do modelo são classificados em variáveis não controladas, das quais é conhecida a medida ou distribuição de probabilidade, e variáveis de decisão, as quais apresentam seu valor definido por meio do modelo, compondo a solução do problema. Para a modelagem e a simulação de sistemas, as informações necessárias são os valores das variáveis não controladas, as quais podem ser mensuradas por meio de técnicas como a observação, questionários, medições *in loco*, entre outros (GREGÓRIO, 2018).

2.2.2 Modelagem de filas

Para o dimensionamento de filas, a simulação também pode ser aplicada, em especial em processos complexos. Segundo Chwif e Medina (2015), quanto mais complexo, dinâmico e

aleatório for um problema, maior será a aplicabilidade das ferramentas de simulação. A modelagem de filas pode ser analisada pelo ângulo da simulação, onde não mais utilizam-se fórmulas matemáticas, mas apenas tenta-se imitar o funcionamento do sistema real por meio de recursos computacionais (CAMELO et al., 2010).

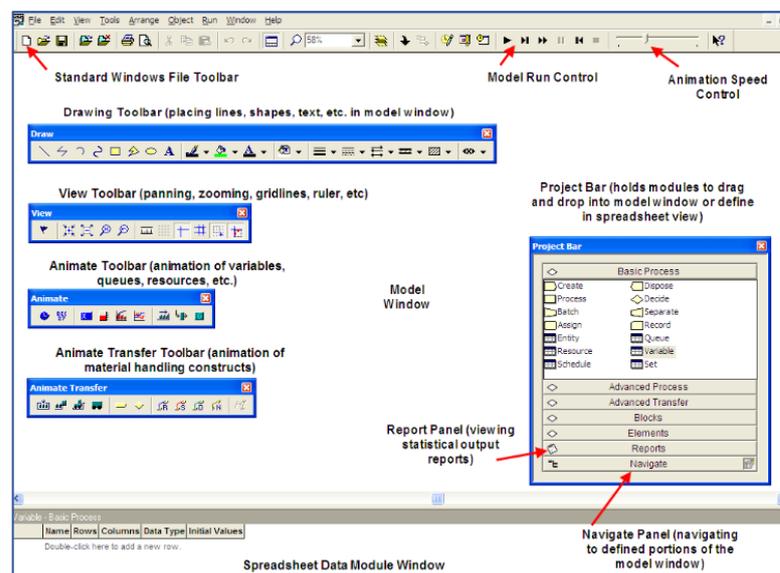
Outra maneira de analisar filas seria por meio da Teoria das Filas, porém este método apresenta restrições e pode não representar a realidade do processo. Um modelo matemático construído pela Teoria das Filas é composto por fórmulas matemáticas que fornecem soluções rápidas, porém neste método, hipóteses simplificadoras são consideradas para sistemas complexos. A Teoria das Filas é vantajosa quando as distribuições estatísticas são conhecidas e podem ser aproximadas pela distribuição exponencial (CHWIF, MEDINA, 2015).

2.3 SOFTWARE ARENA

Para a construção da simulação, existem vários *softwares* que podem ser utilizados, como o ARENA (2022), o Plant Simulation (2022) e o Flexsim (2022). Essas ferramentas computacionais permitem a construção de modelos e a simulação de sistemas de produção reais possibilitando a identificação de possíveis problemas e a avaliação de diferentes cenários de soluções (GREGÓRIO, 2018).

O ARENA é um *software* comercial que permite o desenvolvimento e a execução de modelos de simulação computacional com facilidade. Em sua interface é utilizada a metodologia de fluxograma de arrastar e soltar para a construção dos modelos por meio da linguagem de simulação SIMAN (ROSSETTI, 2021). No *software*, há um conjunto de ferramentas que possibilitam o usuário realizar diversas ações em seu modelo e ajustes nos dados, as quais estão indicadas na FIGURA 1.

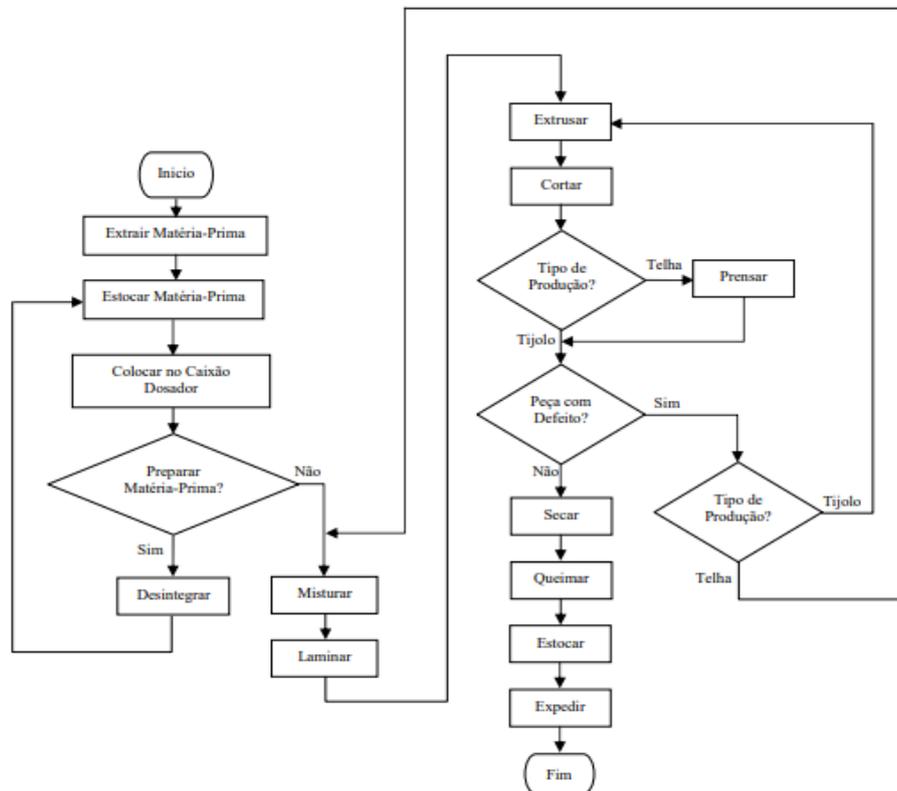
FIGURA 1 – BARRA DE FERRAMENTAS DO SOFTWARE ARENA



FONTE: ROSSETTI (2021).

No início da modelagem, é preciso identificar os elementos do sistema e o que eles representam. Após isso, segundo Rossetti (2021), é necessário aprimorar a compreensão conceitual do sistema por meio da modelagem conceitual (FIGURA 2), a qual pode ser feita pelo diagrama de atividades, a partir dela é feita a modelagem no *software*.

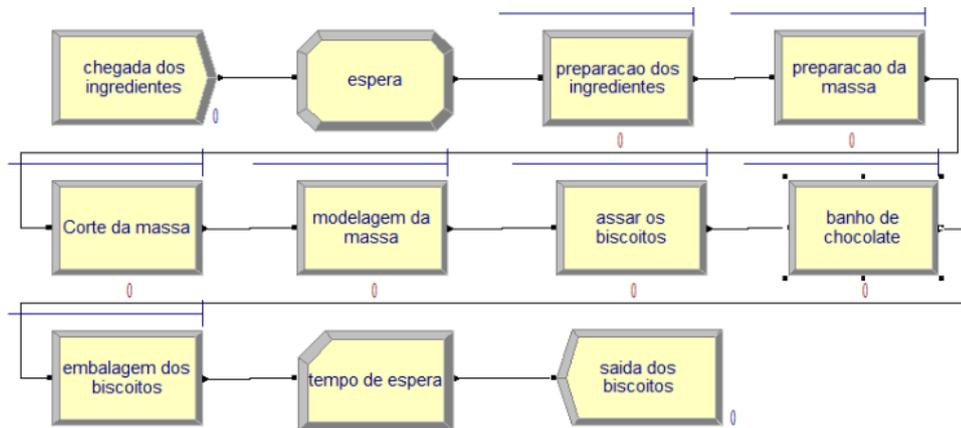
FIGURA 2 – EXEMPLO DE UM MODELO CONCEITUAL DE UM PROCESSO PRODUTIVO



FONTE: ARAGÃO (2011).

Segundo Aragão (2011), no Arena não é necessário escrever linhas de código, pois a construção do modelo é gráfica e visual. No formato de fluxograma, são inseridos valores referentes a tempo, distâncias e recursos disponíveis, construindo, assim, um modelo lógico-matemático, o qual representa a dinâmica do sistema analisado, como representado na FIGURA 3.

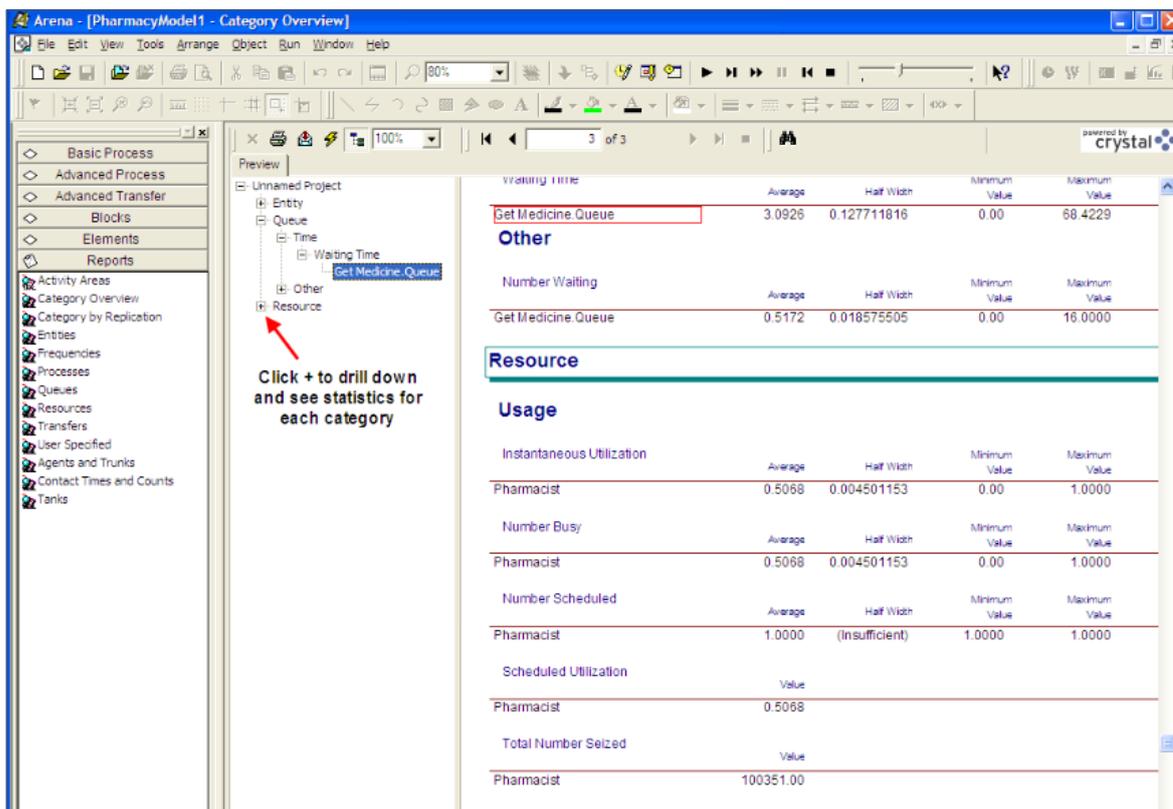
FIGURA 3 – EXEMPLO DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTIVO NO SOFTWARE ARENA



FONTE: SOUZA et al. (2011).

Após a modelagem estar completa, o usuário executa o modelo e, na área de visualização de relatórios do *software*, analisa os resultados gerados. Nesta área, são detalhados os dados estatísticos da simulação, como apresentado na FIGURA 4, possibilitando ao usuário um melhor entendimento sobre o modelo analisado. No ARENA, também é possível gerar os relatórios na versão de texto e selecionar relatórios específicos para visualizar (ROSSETTI, 2021).

FIGURA 4 – EXEMPLO DE UM RELATÓRIO DE RESULTADOS DO SOFTWARE ARENA



FONTE: ROSSETTI (2021).

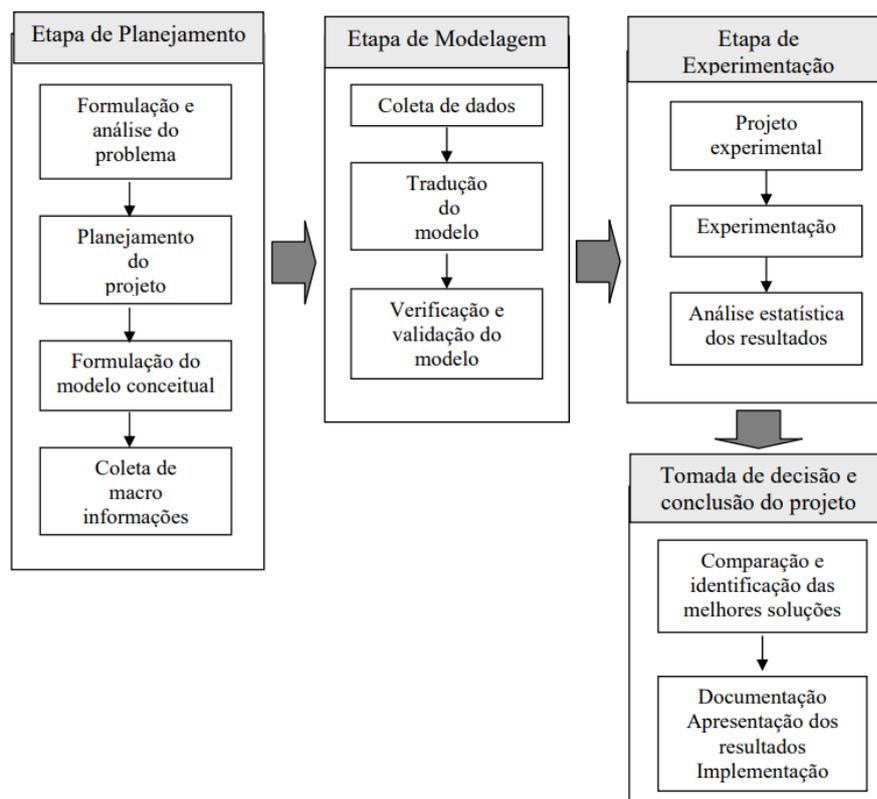
3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para esta pesquisa é a de um estudo de caso exploratório. Segundo Yin (2015), no estudo de caso é investigado a fundo um fenômeno em seu contexto de mundo real, sendo que o estudo de caso exploratório visa identificar informações sobre o assunto estudado. Os resultados deste tipo de estudo são utilizados para descobrir questões relacionadas ao tema, desta forma esta classificação de pesquisa auxilia empresas a responderem perguntas importantes sobre o seu negócio e a explorarem novos cenários.

Este trabalho apresenta a abordagem de pesquisa quantitativa por meio da coleta de dados realizada *in loco* e posterior tratamento dos dados. Segundo Baptista e Campos (2016), a pesquisa quantitativa pode ser denominada como pesquisa convencional, nela os dados são coletados e tratados de maneira objetiva. O pesquisador é o responsável por levantar o referencial teórico e definir as hipóteses e os procedimentos para testar os dados.

Para a construção de um modelo de simulação, há etapas a serem seguidas, sendo que cada autor propõe em um formato, porém todos possuem o mesmo objetivo. No desenvolvimento deste estudo, são consideradas as etapas descritas na FIGURA 5 propostas pelo autor Freitas Filho (2008).

FIGURA 5 – ETAPAS DA CONSTRUÇÃO DE UMA MODELAGEM E SIMULAÇÃO



FONTE: FREITAS FILHO (2008).

No presente estudo, não serão comparados diferentes cenários para o sistema, pois o objetivo é modelar o processo e entender os tempos de processo considerando a formação de filas e os deslocamentos dos transportadores. Desta forma, as etapas de desenvolvimento do estudo de modelagem e simulação deste trabalho estão descritas nas seções a seguir considerando todos os passos até a etapa de Modelagem proposta por Freitas Filho (2008) e as etapas subsequentes de maneira simplificada.

3.1 ETAPA DE PLANEJAMENTO

Nesta primeira etapa de desenvolvimento do estudo de simulação é apresentada a formulação e análise do problema, o planejamento do projeto, a formulação do modelo conceitual e a coleta de macro informações.

3.1.1 Formulação e análise do problema

Nesta etapa é determinado o problema existente no mundo real a ser analisado por meio da simulação e quais são os objetivos da modelagem. Questões como “Quais são as respostas que o estudo objetiva alcançar?”, “Quais são os critérios para a avaliação da performance do sistema?” e “Por que o problema está sendo estudado?” precisam ser respondidas. Segundo Gregório (2019), a definição do problema é feita entendendo-se o que não possui um desempenho satisfatório no sistema e os objetivos do estudo são os propósitos relacionados ao problema do sistema de produção.

Para este estudo, em uma fábrica de alimentos em pó, foi identificada a dificuldade em calcular o tempo necessário para a produção de uma receita e os tempos de processo do sistema considerando as filas e os transportadores, já que conforme a combinação de receitas produzidas na semana, o tempo de espera dos *bins* nas filas irá mudar e, conseqüentemente, as rotas realizadas pelos transportadores para deslocar cada *bin* no processo também irão modificar. Atualmente, há falhas no planejamento de produção e impacto na entrega de volume por estes parâmetros não serem conhecidos de maneira precisa.

Considerando o contexto atual, a modelagem e simulação do processo desta fábrica no *software* ARENA objetiva responder aos seguintes questionamentos: “Qual é o tempo médio, mínimo e máximo das entidades no sistema considerando todas as linhas de envase a cem por cento de capacidade durante dois turnos?”, “Sobre os transportadores, qual é a distância percorrida por cada um e qual é a quantidade de rotas realizadas em dois turnos?”. Além disso, com a simulação implementada, o objetivo do estudo também é identificar oportunidades de melhorias no sistema.

3.1.2 Planejamento do projeto

O objetivo desta etapa é garantir que há recursos suficientes para o desenvolvimento do modelo de simulação e descrever os cenários que serão investigados. Neste estudo de caso é utilizado o *software* ARENA 7.01 na versão estudantil. O *Input Analyzer*, incluso no *software* ARENA 7.01 versão estudantil, e o Excel são utilizados para análise dos dados, os quais serão coletados *in loco* por observação e cronometragem do processo e por relatórios gerados pelo supervisor do sistema em estudo. Neste estudo, é simulado o cenário mais crítico para o processo, no qual todas as linhas de envase rodam em cem por cento de sua capacidade e, por consequência, há maior formação de filas e aumento no tempo de processo no setor de preparação das receitas, o qual deve entregá-las no tempo correto para a etapa de envase.

3.1.3 Formulação do modelo conceitual

Nesta etapa o sistema é representado por meio de um modelo conceitual, o qual é entendido como uma representação abstrata do sistema real. No modelo conceitual são identificados: o sistema, os eventos, as atividades e os atrasos condicionais. Segundo Freitas Filho (2008), o modelo conceitual pode ser representado por um fluxograma ou de forma algorítmica, sendo que ele inicia de forma simplificada e torna-se robusto com a complementação das especificidades e características do sistema.

No decorrer da formulação do modelo conceitual, o pesquisador define qual é a estratégia da modelagem, qual é a quantidade de detalhes que deve ser incorporada ao modelo, como os resultados serão reportados, qual o nível de agregação dos processos e como os dados serão inseridos no sistema (FREITAS FILHO, 2008). Neste estudo a simulação é referente a um sistema discreto, pois há a formação de filas, ou seja, no sistema em análise as variáveis de estado variam em função da ocorrência de eventos. O modelo conceitual do processo em estudo foi baseado na observação do sistema real e estruturado em um fluxograma no *site Drawio* (2022).

3.1.4 Coleta de macro informações

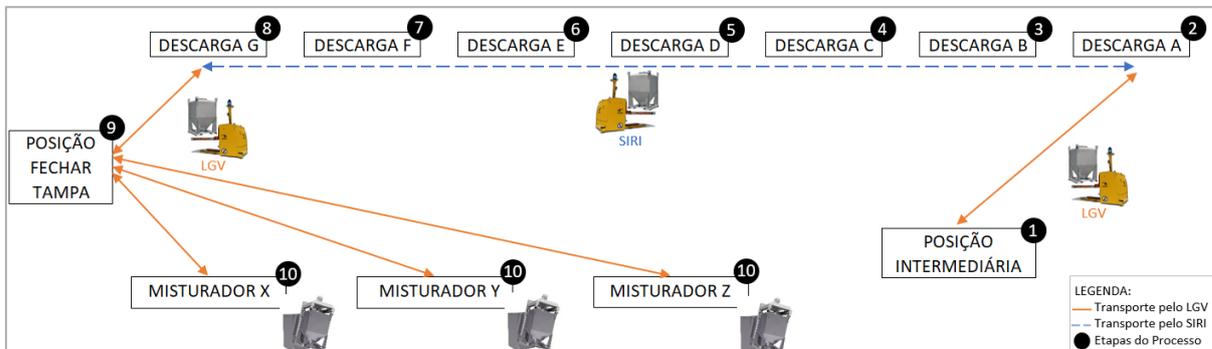
Nesta etapa o objetivo é coletar fatos, informações e dados advindos de observações, experiências pessoais ou documentos. Esta coleta conduz a etapa de coleta de dados dos parâmetros do sistema relevantes para a simulação.

O processo em estudo, representado na FIGURA 6, inicia-se quando o *bin* chega na posição intermediária, onde aguarda o transportador LGV (*Laser Guided Vehicle*) buscá-lo e levá-lo para a Descarga A. Após o transporte, na descarga A, é acoplada uma manga do equipamento de descarga no *bin* e a descarga de matérias-primas é iniciada conforme a receita desejada. Ao terminar a descarga A, a manga do equipamento é desacoplada e o *bin* aguarda o transportador

SIRI (LGV que transporta apenas em uma única reta) buscá-lo para realizar o seu transporte até a próxima estação de descarga, estação B. Após o transporte, na descarga B, é acoplada uma manga do equipamento de descarga no *bin* e a descarga de matérias-primas é iniciada conforme a receita. Ao terminar a descarga B, a manga do equipamento é desacoplada e o *bin* aguarda o transportador SIRI buscá-lo para realizar o seu transporte até a estação de descarga C. O processo ocorre como descrito anteriormente para todas as descargas até serem descarregadas as matérias-primas da descarga G e a respectiva manga desacoplar. O *bin* passa por todas as descargas do processo, sendo que o seu transporte é realizado pelo SIRI e ocorre do sentido direito para o esquerdo.

Após a manga da descarga G desacoplar do *bin*, o LGV o transporta para a posição fechar tampa, onde é feita a atividade de fechar tampa. Então, o *bin* aguarda o LGV para ser transportado para um dos três misturadores (X, Y e Z). No misturador, o *bin* é rotacionado por um determinado tempo e o processo é finalizado.

FIGURA 6 – FLUXO DO PROCESSO DE UM *BIN* NO SETOR DE PREPARAÇÃO DE RECEITAS



FONTE: A autora (2022).

No processo há dois transportadores de *bins*. As rotas realizadas entre as estações de descarga são feitas pelo transportador SIRI, enquanto as demais são realizadas pelo transportador LGV. Nos QUADROS 1, 2, 3 e 4 estão descritas as possíveis rotas realizadas por cada transportador quando estão deslocando um *bin* para determinada posição, portanto estão carregados, ou quando foram requisitados para buscarem um *bin*, ou seja, estão sem carga.

QUADRO 1 – POSSÍVEIS ROTAS DO LGV CARREGADO

ROTAS DO LGV COM O BIN	
PONTO DE PARTIDA	POSSÍVEIS DESTINOS
Posição Intermediária	Descarga A
Descarga G	Posição Fechar Tampa
Posição Fechar Tampa	Misturador X, Misturador Y, Misturador Z

FONTE: A autora (2022).

QUADRO 2 – POSSÍVEIS ROTAS DO LGV DESCARREGADO

ROTAS DO LGV SEM O BIN	
PONTO DE PARTIDA	POSSÍVEIS DESTINOS
Posição Intermediária	→ Descarga A, Descarga G, Posição Fechar Tampa, Misturador X, Misturador Y, Misturador Z
Descarga A	→ Posição Intermediária, Descarga G, Posição Fechar Tampa, Misturador X, Misturador Y, Misturador Z
Descarga G	→ Descarga A, Posição Intermediária, Posição Fechar Tampa, Misturador X, Misturador Y, Misturador Z
Posição Fechar Tampa	→ Descarga A, Descarga G, Posição Intermediária, Misturador X, Misturador Y, Misturador Z
Misturador X	→ Descarga A, Descarga G, Posição Fechar Tampa, Posição Intermediária, Misturador Y, Misturador Z
Misturador Y	→ Descarga A, Descarga G, Posição Fechar Tampa, Misturador X, Posição Intermediária, Misturador Z
Misturador Z	→ Descarga A, Descarga G, Posição Fechar Tampa, Misturador X, Misturador Y, Posição Intermediária

FONTE: A autora (2022).

QUADRO 3 – POSSÍVEIS ROTAS DO SIRI CARREGADO

ROTAS DO SIRI COM O BIN	
PONTO DE PARTIDA	POSSÍVEIS DESTINOS
Descarga A	→ Descarga B
Descarga B	→ Descarga C
Descarga C	→ Descarga D
Descarga D	→ Descarga E
Descarga E	→ Descarga F
Descarga F	→ Descarga G

FONTE: A autora (2022).

QUADRO 4 – POSSÍVEIS ROTAS DO SIRI DESCARREGADO

ROTAS DO SIRI SEM O BIN	
PONTO DE PARTIDA	POSSÍVEIS DESTINOS
Descarga A	→ Descarga B, Descarga C, Descarga D, Descarga E, Descarga F, Descarga G
Descarga B	→ Descarga A, Descarga C, Descarga D, Descarga E, Descarga F, Descarga G
Descarga C	→ Descarga A, Descarga B, Descarga D, Descarga E, Descarga F, Descarga G
Descarga D	→ Descarga A, Descarga B, Descarga C, Descarga E, Descarga F, Descarga G
Descarga E	→ Descarga A, Descarga B, Descarga C, Descarga D, Descarga F, Descarga G
Descarga F	→ Descarga A, Descarga B, Descarga C, Descarga D, Descarga E, Descarga G
Descarga G	→ Descarga A, Descarga B, Descarga C, Descarga D, Descarga E, Descarga F

FONTE: A autora (2022).

3.2 ETAPA DE MODELAGEM

Nesta segunda etapa do desenvolvimento do estudo de simulação é apresentada a coleta de dados, a tradução do modelo construído para o *software* ARENA e é dissertado sobre a verificação e validação do modelo.

3.2.1 Coleta de dados

Segundo Gregório (2019), as informações essenciais para a modelagem e a simulação de sistemas são os valores das variáveis não controladas, as quais apresentam valores que não podem ser controlados, mas são conhecidos a sua medida ou a sua distribuição de probabilidade. Os dados que são coletados estão diretamente relacionados com o problema e o objetivo da modelagem. Após o entendimento de quais dados são significativos para a simulação em estudo, é definido o método da coleta destes dados. Neste trabalho, os dados coletados e a respectiva metodologia de coleta estão descritos no QUADRO 5.

QUADRO 5 – DADOS COLETADOS E METODOLOGIA UTILIZADA

ETAPA DO PROCESSO	DADO	UNIDADE DE MEDIDA	TIPO DO DADO	MÉTODO DE COLETA
Transporte do LGV	Velocidade	metros/minuto	Constante	Velocidade média do transporte do LGV conforme especificação do equipamento
Transporte do LGV	Distância	metros	Constante	Mensurado no AutoCAD pela planta do setor em estudo
Transporte do SIRI	Velocidade	metros/minuto	Constante	Velocidade média do transporte do LGV conforme especificação do equipamento
Transporte do SIRI	Distância	metros	Constante	Mensurado no AutoCAD pela planta do setor em estudo
Acoplamentos	Tempo médio de acoplamento	minutos	Constante	Medição por observação com cronômetro digital
Desacoplamentos	Tempo médio de desacoplamento	minutos	Constante	Medição por observação com cronômetro digital
Posição intermediária	Taxa de chegada de <i>bins</i>	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema e subtração dos dados (exemplo: horário em que terminou a etapa anterior do processo do bin X1 - horário em que terminou a etapa anterior do processo do bin X0)
Descarga A	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga B	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga C	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga D	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga E	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga F	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Descarga G	Tempo de descarga	minutos	Expressão	Análise de relatórios gerados pelo sistema
Posição Fechar Tampa	Tempo médio para realizar a atividade Fechar Tampa	minutos	Constante	Medição por observação com cronômetro digital
Misturador X	Tempo de rotação de cada <i>bin</i>	minutos	Constante	Determinado de acordo com a receita
Misturador Y	Tempo de rotação de cada <i>bin</i>	minutos	Constante	Determinado de acordo com a receita
Misturador Z	Tempo de rotação de cada <i>bin</i>	minutos	Constante	Determinado de acordo com a receita

FONTE: A autora (2022).

O dado taxa de chegada de *bins* foi coletado durante um mês e é referente ao primeiro e segundo turno, quando todas as linhas de envase rodam cem por cento. Os dados de tempo de descarga foram coletados durante um mês e são referentes aos três turnos. Estes dados foram analisados estatisticamente no *Input Analyzer* presente no *software* ARENA para ser determinada a expressão que melhor representa a sua distribuição. Foram coletadas trinta amostras dos dados analisados por observação com cronômetro digital para então ser analisada a média. Os dados

de distância, velocidade e tempo de rotação de cada *bin* são fixos no sistema real, desta forma, também foram especificados como constantes.

Conforme Gregório (2019), após a coleta de dados, é importante tratá-los a fim de os organizar, compreender, detectar e eliminar erros e inconsistências. Neste estudo, os dados coletados foram analisados em uma planilha de Excel, desta forma os *outliers* foram identificados e desconsiderados para o estudo. Os *outliers* encontrados foram: células zeradas, células vazias e números negativos.

3.2.2 Tradução do modelo

Nesta etapa, o modelo conceitual é construído no *software* escolhido, ou seja, o modelo é codificado em uma linguagem de simulação apropriada para o sistema em estudo. Neste estudo o modelo conceitual foi desenvolvido no *software* ARENA 7.01 na versão estudantil. Conforme Freitas Filho (2008), para garantir o entendimento do programa, é essencial que o nome das variáveis e atributos estejam claramente definidos.

3.2.3 Verificação e validação do modelo

Após o desenvolvimento do modelo conceitual no *software* escolhido, é feita a verificação e a validação deste modelo comparando com os dados reais do sistema. Nesta etapa, é preciso entender se não há erros na lógica de programação e se as informações geradas pelo modelo são confiáveis e estão de acordo com o objetivo do estudo. No sistema real deste estudo, há a interferência humana em tomadas de decisão de transporte do LGV e SIRI e na priorização de *bins*, a qual não é possível representar na simulação. Desta forma, o modelo não será verificado comparando ao sistema real e, conseqüentemente, validado. Somente possíveis oportunidades de melhorias pontuais encontradas no sistema serão validadas com o sistema real.

3.3 ETAPA DE EXPERIMENTAÇÃO

O objetivo desta etapa é executar no *software* o modelo de simulação validado para a obtenção dos dados desejados e realização de análises. No presente estudo, o modelo foi executado simulando 6 repetições cada uma com o período equivalente a dois turnos, totalizando dezesseis horas, já que neste intervalo de tempo é quando todas as linhas de envase rodam em cem por cento e a cada 6 dias a fábrica é parada e o processo é iniciado novamente após um dia. Com os dados gerados por esta simulação, os questionamentos abordados no estudo foram respondidos.

3.4 TOMADA DE DECISÃO E CONCLUSÃO DO PROJETO

Nesta etapa os resultados são analisados e são feitas inferências sobre os resultados alcançados pela simulação implementada no *software* escolhido. Neste estudo, foram analisados os questionamentos e identificadas oportunidades de melhoria no processo.

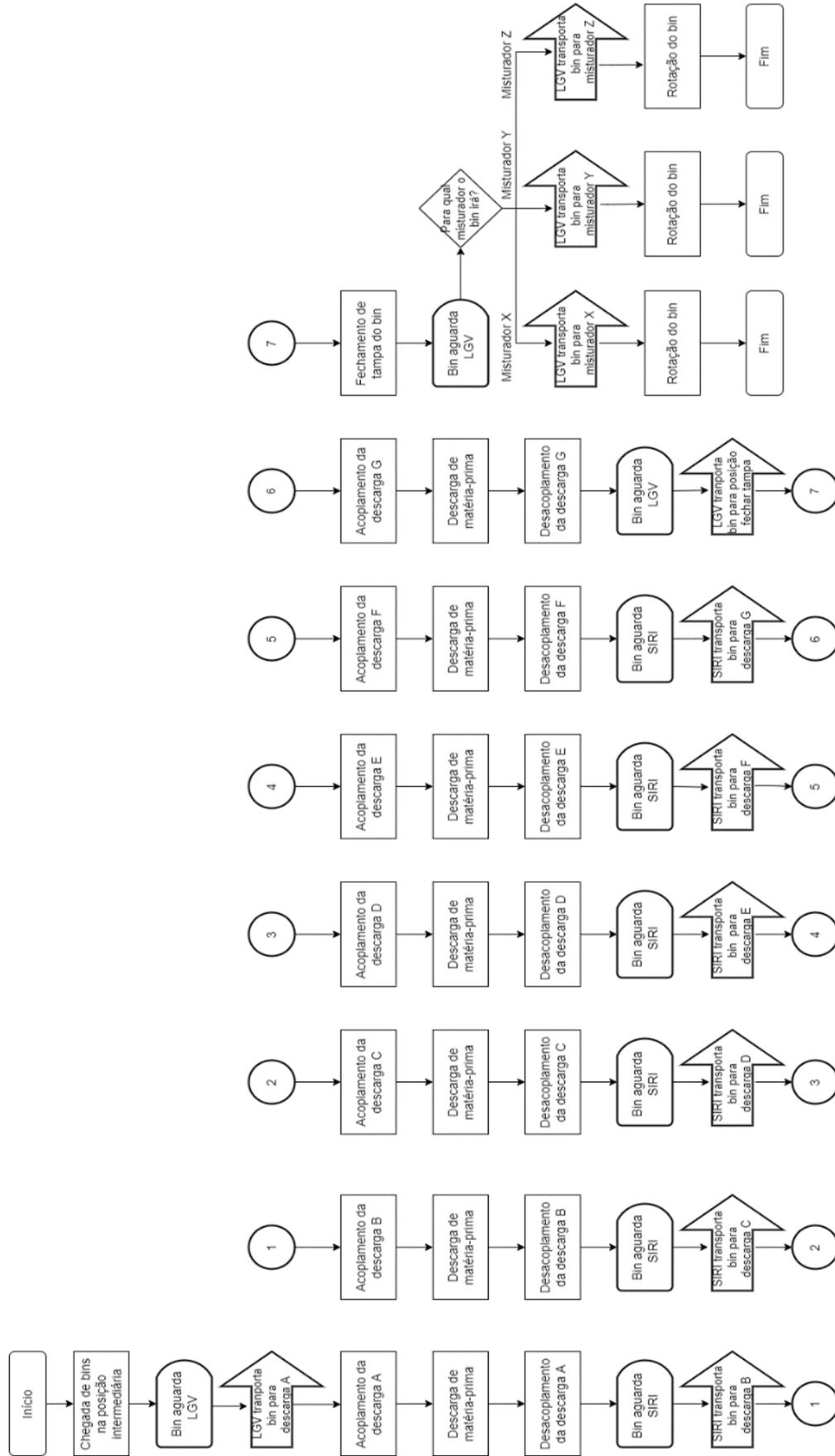
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados da simulação no *software* ARENA do processo de uma fábrica de alimentos em pó. É explicado o modelo conceitual do processo, a coleta e tratamento estatístico dos dados analisados, a implementação do modelo no *software* ARENA, a quantidade de deslocamentos e das distâncias percorridas pelos transportadores e uma oportunidade encontrada por meio do estudo.

4.1 MODELO CONCEITUAL DO PROCESSO

Conforme a metodologia selecionada para este trabalho e proposta por Freitas Filho (2008), na Etapa de Planejamento é estruturado o modelo conceitual do processo a ser implementado na simulação. Na FIGURA 7 está a construção do modelo conceitual em estudo referente ao processo do setor de preparação de alimentos em pó.

FIGURA 7 – MODELO CONCEITUAL DO PROCESSO

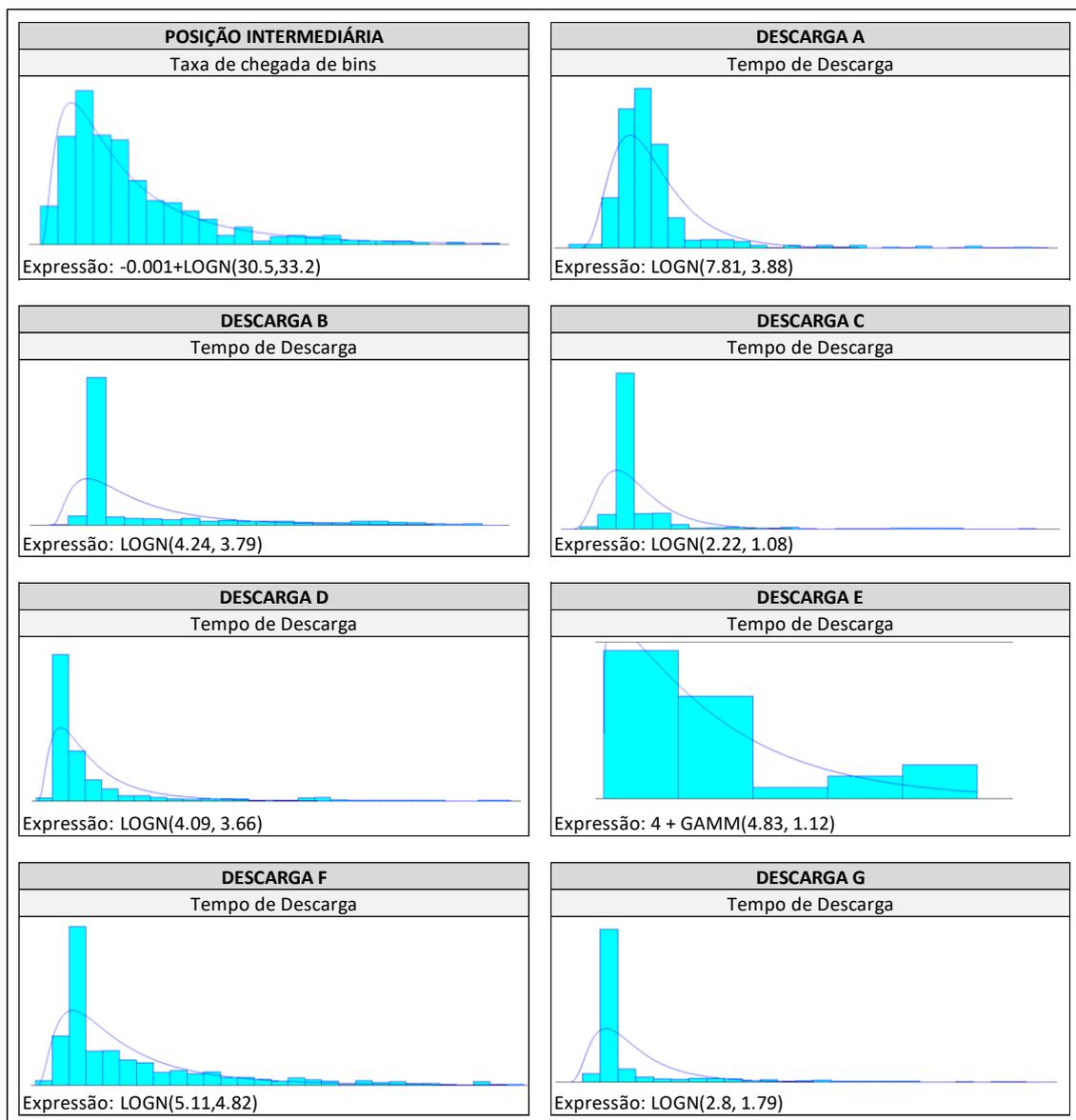


FONTE: A autora (2022).

4.2 COLETA E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS

Após realizada a coleta de dados, na etapa de tratamento, foram encontrados os seguintes *outliers* para o dado taxa de chegada de *bins*: tempo entre parada de produção e primeira produção da semana seguinte, tempo entre parada diária para limpeza do setor e produção seguinte. Para os demais dados analisados por relatórios do sistema, foram identificados *outliers* iguais a zero. Todos os *outliers* foram desconsiderados para a análise. No QUADRO 6 estão as expressões definidas pela análise estatística do *Input Analyzer* para cada etapa do processo.

QUADRO 6 – ANÁLISE DE DADOS NO *INPUT ANALYZER*



FONTE: A autora (2022).

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO NO SOFTWARE ARENA

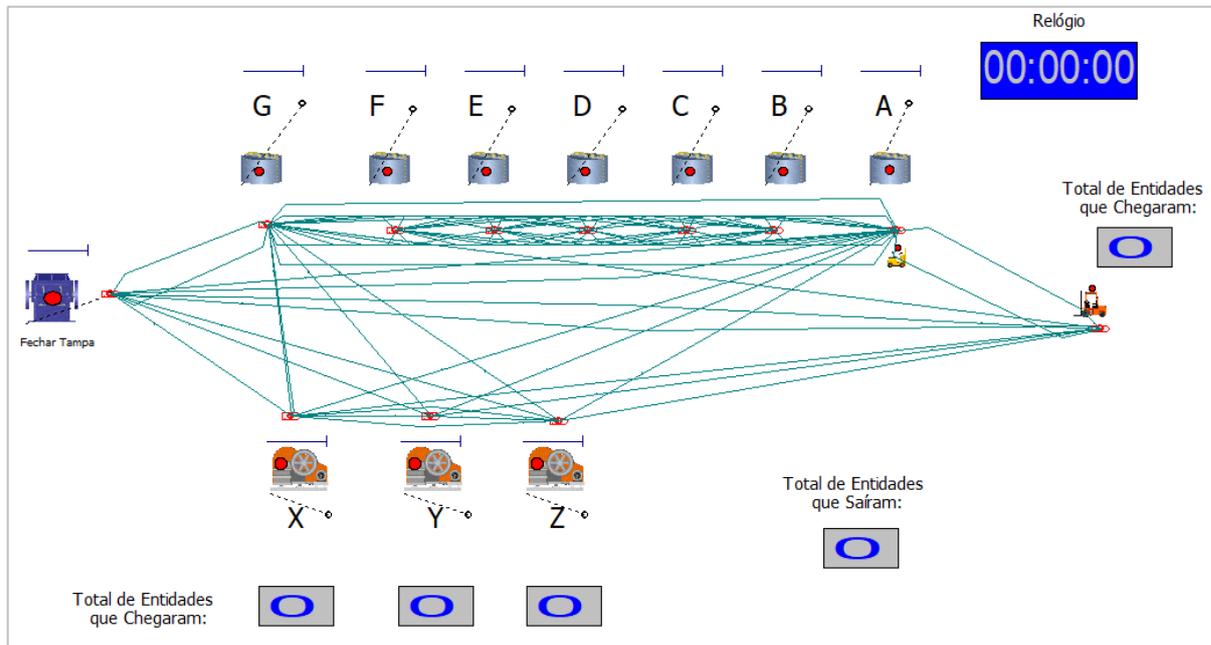
Após a construção do modelo conceitual do processo em estudo, coleta e tratamento dos dados, o sistema foi modelado no *software* ARENA (FIGURA 8) e foi criada a animação (FIGURA 9) para o melhor entendimento durante a execução.

FIGURA 8 – MODELAGEM NO SOFTWARE ARENA



FONTE: A autora (2022).

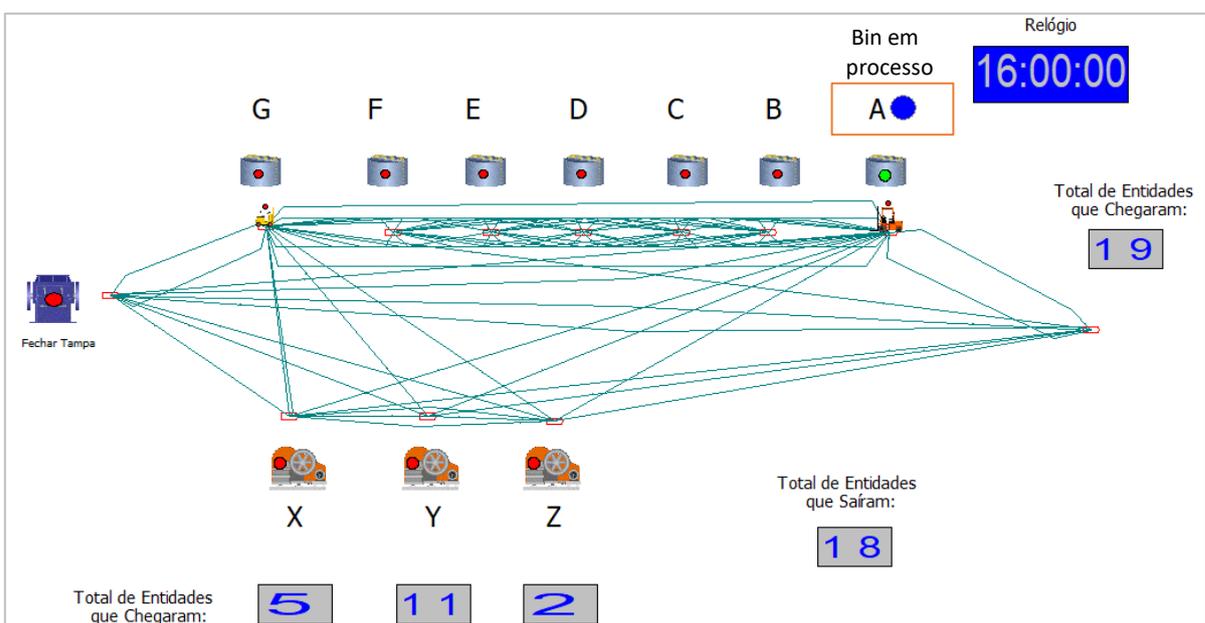
FIGURA 9 – ANIMAÇÃO DO SISTEMA MODELADO NO SOFTWARE ARENA



FONTE: A autora (2022).

Após o modelo ser implementado no *software*, ele foi executado simulando 6 repetições, cada uma de dezesseis horas, o equivalente a dois turnos, e foi analisado o relatório disponibilizado pelo ARENA. Na FIGURA 10 está representada a animação do modelo após a sua execução.

FIGURA 10 – ANIMAÇÃO DO SISTEMA MODELADO NO SOFTWARE ARENA APÓS EXECUÇÃO



FONTE: A autora (2022).

No relatório gerado pelo *software* ARENA após a execução do modelo, há a informação de que o tempo médio de permanência de um *bin* dentro do sistema é de 106,71 minutos, sendo que o tempo máximo é de 149,65 minutos e o mínimo é de 77,55 minutos. O tempo utilizado para espera de um *bin* no sistema variou entre 5,17 minutos e 70,44 minutos e a média foi de 24,73 minutos. Além disso, a quantidade média de *bins* no sistema simultaneamente é de 3,08, mas a quantidade máxima foi de 10 *bins*. Estas informações, apresentadas na FIGURA 11, mostram que o tempo para a produção de uma receita varia bastante e que há oportunidade no tempo de espera, o qual não agrega valor ao produto final.

FIGURA 11 – RESULTADOS DO RELATÓRIO SOBRE OS *BINS*

Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Bins	24.7342	6,18	18.1063	33.8286	5.1738	70.4434
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Bins	106.71	6,51	97.8656	115.48	77.5537	149.65
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Bins	3.0828	1,21	1.4562	4.3432	0.00	10.0000

FONTE: A autora (2022).

Ainda no relatório, é visualizado que o maior tempo de espera corresponde a 42,93 minutos e ocorre na fila do *Request 13*, referente a requisição do SIRI para a realização do transporte da descarga A para a descarga B (FIGURA 12). Portanto, há oportunidade no deslocamento realizado pelos transportadores.

FIGURA 12 – RESULTADOS DO RELATÓRIO SOBRE AS FILAS

Queue						
Time						
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Acopl DescA.Queue	0.6995	0,61	0.00	1.4433	0.00	13.7832
Acopl DescB.Queue	0.1134	0,15	0.00	0.3361	0.00	4.2743
Acopl DescC.Queue	0.01530684	0,04	0.00	0.08553871	0.00	2.2475
Acopl DescD.Queue	0.1747	0,14	0.00	0.3536	0.00	6.2997
Acopl DescE.Queue	1.4274	0,80	0.4640	2.1591	0.00	31.8380
Acopl DescF.Queue	0.2881	0,41	0.00	0.9841	0.00	15.6828
Acopl DescG.Queue	0.1009	0,19	0.00	0.4533	0.00	6.8502
Fechar Tampa.Queue	1.9079	1,14	0.5005	3.0364	0.00	20.2635
Misturar X.Queue	0.4659	0,51	0.00	1.2458	0.00	8.2289
Misturar Y.Queue	0.4292	0,64	0.00	1.5642	0.00	14.6229
Misturar Z.Queue	0.08858438	0,23	0.00	0.5315	0.00	1.4764
Request 12.Queue	0.4172	0,33	0.06847430	0.8294	0.00	7.8705
Request 13.Queue	2.1104	1,29	0.7421	3.8990	0.00	42.9310
Request 14.Queue	1.1438	0,58	0.3649	1.8005	0.00	8.9560
Request 15.Queue	1.1008	0,43	0.4287	1.5358	0.00	8.5875
Request 16.Queue	0.8885	0,43	0.3600	1.3753	0.00	7.0821
Request 17.Queue	0.9796	0,50	0.1719	1.4467	0.00	6.1872
Request 18.Queue	1.2622	0,58	0.6796	1.8665	0.00	12.9214
Request 19.Queue	0.3588	0,21	0.1463	0.7163	0.00	5.3267
Request 20.Queue	0.4843	0,26	0.1633	0.7971	0.00	7.9187

FONTE: A autora (2022).

4.4 DESLOCAMENTOS E DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PELOS TRANSPORTADORES

Para a análise da quantidade de deslocamentos realizada pelos transportadores do sistema e distância total percorrida (metros) foram implementadas no *software* ARENA duas matrizes para cada transportador, as quais registraram os dados com base na origem (linha) e destino (coluna) de cada trajeto. Executando o modelo implementado com 1 repetição durante dezesseis horas, os resultados das matrizes são os observados nas FIGURAS 13, 14, 15 e 16.

FIGURA 13 – DESLOCAMENTOS REALIZADOS PELO LGV

ORIGEM	Deslocamento LGV							DESTINO
	Posição Intermed	Desc A	Desc G	Fechar Tampa	Mist X	Mist Y	Mist Z	
Posição Intermed	1	31	0	1	0	0	0	
Desc A	10	0	10	10	0	0	0	
Desc G	2	0	0	26	0	0	0	
Fechar Tampa	10	0	5	9	15	6	4	
Mist X	6	0	6	2	0	0	0	
Mist Y	1	0	2	2	0	0	0	
Mist Z	1	0	3	0	0	0	0	

FONTE: A autora (2022).

FIGURA 14 – DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA PELO LGV POR TRAJETO

ORIGEM	Distância Total Percorrida LGV							DESTINO
	Posição Intermed	Desc A	Desc G	Fechar Tampa	Mist X	Mist Y	Mist Z	
Posição Intermed	0	713	0	53	0	0	0	
Desc A	230	0	220	320	0	0	0	
Desc G	76	0	0	598	0	0	0	
Fechar Tampa	530	0	105	0	225	108	88	
Mist X	150	0	150	30	0	0	0	
Mist Y	20	0	56	36	0	0	0	
Mist Z	15	0	96	0	0	0	0	

FONTE: A autora (2022).

FIGURA 15 – DESLOCAMENTOS REALIZADOS PELO SIRI

ORIGEM	Deslocamento SIRI							DESTINO
	Desc A	Desc B	Desc C	Desc D	Desc E	Desc F	Desc G	
Desc A	2	35	1	2	3	1	0	
Desc B	5	9	35	5	3	2	0	
Desc C	4	0	11	34	4	4	0	
Desc D	4	2	2	9	34	4	0	
Desc E	2	6	3	2	9	28	0	
Desc F	5	3	6	4	2	11	26	
Desc G	9	2	2	3	1	3	0	

FONTE: A autora (2022).

FIGURA 16 – DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA PELO SIRI POR TRAJETO

ORIGEM	Distância Total Percorrida SIRI							DESTINO
	Desc A	Desc B	Desc C	Desc D	Desc E	Desc F	Desc G	
Desc A	0	385	14	32	57	22	0	
Desc B	55	0	315	55	42	34	0	
Desc C	14	45	0	306	44	56	0	
Desc D	64	22	18	0	306	48	0	
Desc E	38	84	33	18	0	252	0	
Desc F	110	51	84	48	18	0	260	
Desc G	225	40	36	48	13	30	0	

FONTE: A autora (2022).

A distância total percorrida pelo transportador SIRI corresponde a 3.322 metros em dois turnos, enquanto a distância total percorrida pelo transportador LGV é de 3.819 metros em dois turnos.

4.5 OPORTUNIDADE DE MELHORIA

No sistema modelado e no sistema real, os transportadores são deslocados em direção ao *bin* que o requisitou primeiro. Na execução do modelo em estudo, foi percebida uma oportunidade

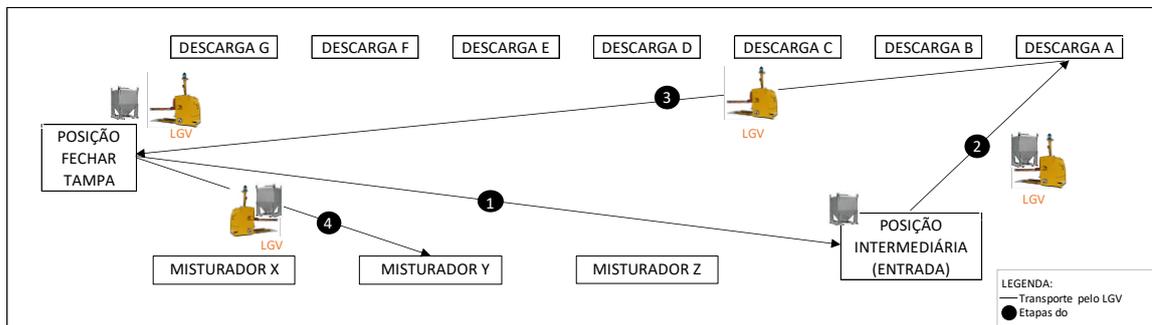
nos deslocamentos dos transportadores. Em determinado instante t da simulação o transportador LGV realiza o seguinte trajeto: Fechar Tampa, Entrada (Posição Intermediária), Descarga A, Fechar Tampa, Misturador Y. Na FIGURA 17 e 18 há a representação, de maneira sequencial, de cada etapa da simulação em uma linha do tempo considerando a situação descrita.

FIGURA 17 – LINHA DO TEMPO DAS ETAPAS DA SITUAÇÃO ATUAL



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 18 – FLUXO DO PROCESSO DA SITUAÇÃO ATUAL

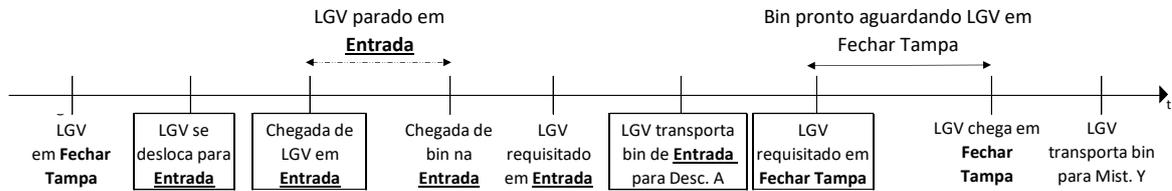


FONTE: A autora (2022).

Caso no sistema houvesse uma análise de distância total percorrida ou de tempo total de espera dos bins que requisitaram o LGV, a trajetória feita por este transportador poderia ser outra. Atualmente, o transportador não analisa o sistema completo para decidir em qual direção de bin ele se deslocará. Sendo assim, como forma de melhorar o sistema, são propostas duas tomadas de decisão diferentes que o transportador poderia seguir:

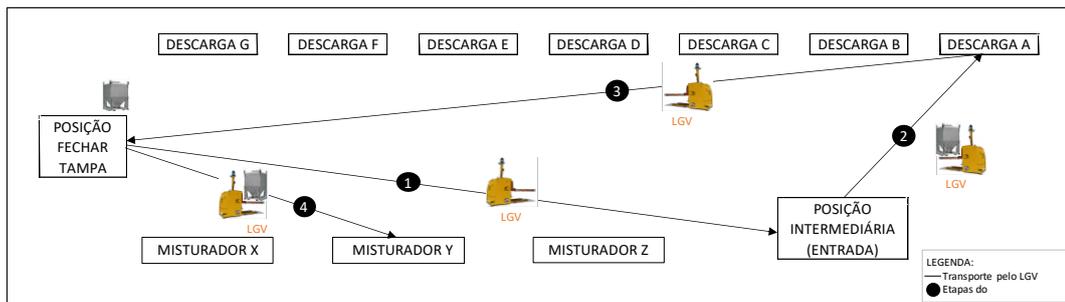
1. Ação Antecipatória (FIGURA 19 e 20): Neste caso, o LGV entende que há um bin prestes a chegar na Entrada e que o requisitará, ou seja, percebe a próxima ação de maneira antecipada. Desta forma, assim que o LGV deixa o bin na posição Fechar Tampa, ele já se desloca para a Entrada, eliminando o tempo parado na posição Fechar Tampa. Como vantagem desta tomada de decisão, há a redução do tempo de processo total, eliminação do tempo de espera do bin na Entrada e redução do tempo de espera do bin pronto aguardando o LGV em Fechar Tampa. Trajeto percorrido: Fechar Tampa, Entrada, Descarga A, Fechar Tampa, Misturador Y.

FIGURA 19 – LINHA DO TEMPO DAS ETAPAS COM AÇÃO ANTECIPATÓRIA



FONTE: A autora (2022).

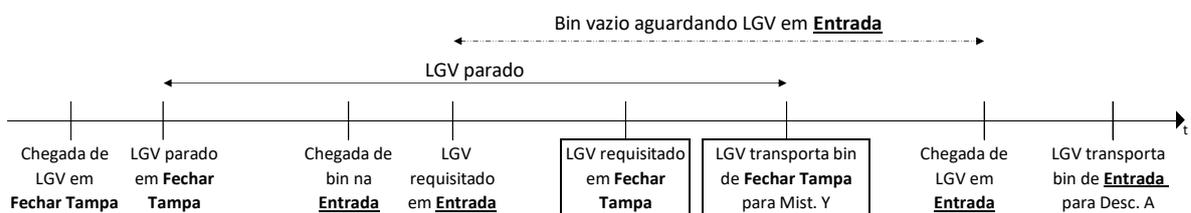
FIGURA 20 – FLUXO DO PROCESSO COM AÇÃO ANTECIPATÓRIA



FONTE: A autora (2022).

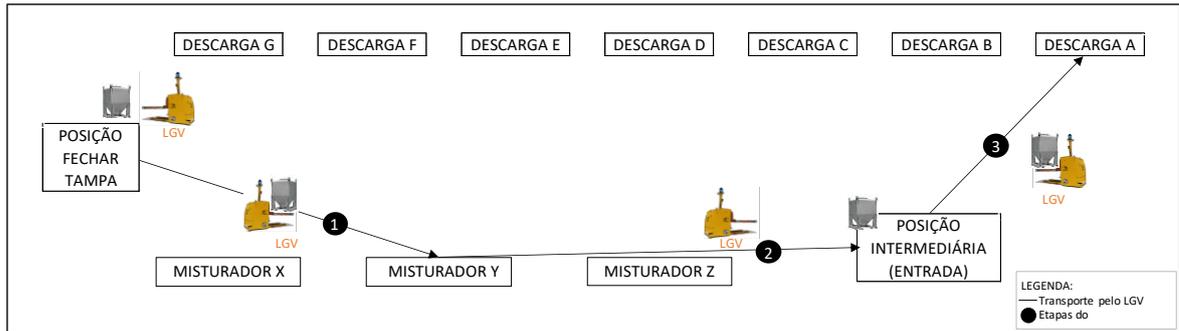
2. Ação Retardatária (FIGURA 21 e 22): Neste caso, o LGV entende, após ser requisitado na Entrada, que a distância total percorrida será menor se ele aguardar finalizar o processo de Fechar Tampa, que também o requisitará. Como vantagem desta tomada de decisão, há a redução da distância total percorrida no processo e a eliminação do tempo de espera do bin pronto aguardando o LGV em Fechar Tampa. Trajeto percorrido: Fechar Tampa, Misturador Y, Entrada, Descarga A.

FIGURA 21 – SITUAÇÃO COM AÇÃO RETARDATÁRIA



FONTE: A autora (2022).

FIGURA 22 - FLUXO DO PROCESSO COM AÇÃO RETARDATÁRIA



FONTE: A autora (2022).

5 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos após a implementação da simulação do processo no *software* ARENA, os objetivos propostos neste trabalho foram atingidos. A construção do modelo conceitual do processo, a coleta e a análise de dados para implementação da simulação, o desenvolvimento do modelo, o entendimento do tempo médio de permanência da entidade no sistema e de informações sobre os transportadores e a identificação de oportunidade foram realizados seguindo a metodologia proposta.

Por meio do modelo executado foi percebido que o tempo mínimo de permanência de um *bin* no processo durante as seis repetições corresponde a 51,8% do tempo máximo que um *bin* permaneceu no sistema. Além disso, a grande variação no tempo utilizado para espera de uma entidade e na quantidade de *bins* no processo simultaneamente revelam que há oportunidade no sistema.

Ao ser compreendido que o maior tempo de espera presente no sistema ao longo das seis repetições foi na etapa de requisição de um transportador, foram criadas matrizes referentes a deslocamentos e distâncias percorridas com o objetivo de melhorar o entendimento do processo dos transportadores e facilitar o mapeamento de oportunidades. Reduzindo a distância percorrida pelo LGV e pelo SIRI, eles estarão por um tempo maior livres no sistema e atenderão de maneira mais rápida às suas requisições, diminuindo o tempo de espera dos *bins* e, conseqüentemente, o tempo de permanência desta entidade no processo.

A análise destes dados possibilita a conclusão de que há oportunidades no transporte, sendo que uma possibilidade de melhoria seria os transportadores anteciparem as ações que precisarão realizar no instante futuro e já se deslocarem para a etapa em que serão requisitados, reduzindo o seu tempo parado e, outra possibilidade, seria os transportadores além de anteciparem as ações que precisarão realizar no instante futuro, entenderem qual tomada de decisão os fará optar pela menor distância total percorrida no processo.

O desenvolvimento desta simulação e compreensão dos seus resultados permitem o melhor entendimento do processo, a melhor construção dos planos de produção e o levantamento de melhorias. Porém, a partir destas respostas surgem outros questionamentos, como: “Qual melhoria referente a lógica de tomada de decisão dos transportadores deveria ser a escolhida para ser implementada?” e “Se determinado parâmetro de um recurso fosse alterado, o quanto seria reduzido do tempo de permanência de uma entidade no sistema?”.

Para trabalhos futuros, é recomendada a criação de diferentes cenários considerando a proposta das possíveis melhorias a serem implementadas para o entendimento de qual trará um maior benefício ao sistema caso seja executada. Além disso, na simulação construída é recomendada a implementação da interferência humana na tomada de decisão, fator presente no sistema real, e a execução do modelo em uma quantidade maior de repetições para as etapas de verificação e validação do modelo serem concretizadas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Eduardo Leopoldino D. **Introdução à Pesquisa Operacional - Método e Modelos para Análise de Decisões**, 5ª edição. São Paulo: Grupo GEN, 2015. 978-85-216-2967-2. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2967-2/>. Acesso em: 05 mai. 2022.

ANTUNES, Junico et al. **Sistemas de Produção**. Rio Grande do Sul: Grupo A, 2011. 9788577802494. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577802494/>. Acesso em: 04 mar. 2022.

ARAGÃO, A. P. **Modelagem e simulação computacional de processos produtivos**: o caso da cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes, RJ. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, UENF. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-producao/wp-content/uploads/sites/13/2013/04/DISSERTACAO_FINAL1.pdf. Acesso em: 03 mai. 2022.

ARENA, 2022. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt-br/products/software/arena-simulation/buying-options/download.html>. Acesso em: 01 mai. 2022.

ASSIS, R.; RODRIGUES, G.; AZARIAS, J. Simulação de Processos Produtivos: Uma Pesquisa-Ação em uma Indústria Automobilística. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. **Anais eletrônicos** [...]. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_322_29501.pdf. Acesso em: 07 mar. 2022.

CAMELO, G. R. et. al. Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais eletrônicos** [...]. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_129_830_14824.pdf. Acesso em: 01 mai. 2022.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**, 4ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. Disponível em: <https://toaz.info/doc-view>. Acesso em: 24 mar. 2022.

CHLEGEL, G. L.; MURRAY, P. **Next Generation of S&OP**: Scenario Planning with Predictive Analytics & Digital Modeling. *Journal of Business Forecasting*, p. 20-30, 2010. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/f816c138d279ccd3acd93244db0312a0/1.pdf?cbl=28144&pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 05 abr. 2022.

DRAWIO, 2022. Disponível em: <https://app.diagrams.net/>. Acesso em 01 mai. 2022.

FLEXSIM, 2022. Disponível em: <https://www.flexsim.com/pt/est%C3%BAdio/lan%C3%A7amentos-de-software/>. Acesso em: 01 mai. 2022.

FREITAS FILHO, P. J. Modelagem e Simulação de Sistemas, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/36613850/Cap%C3%ADtulo_1_Modelagem_e_Simula%C3%A7%C3%A3o_de_Sistemas_MODELAGEM_E_SIMULA%C3%87%C3%83O_DE_SISTEMAS. Acesso em: 19 abr. 2022

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca P.; LOZADA, Gisele. **Simulação de Sistemas Produtivos**. Rio Grande do Sul: Grupo A, 2019. 9788595029194. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595029194/>. Acesso em: 05 mai. 2022.

LIMA, Rodrigo Z.; SOUZA, Alisson D. C.; ARAÚJO, L. C. **Manual do Arena 9.0**, 2006. Disponível em: http://mz.pro.br/simulacao/32-APOSTILA_ARENA_9.pdf. Acesso em: 18 ago. 2022.

MIYAGI, Paulo. **Introdução a Simulação Discreta**. Curso de Engenharia Mecatrônica. 2006. Apostila de Aula. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4122712/course/section/1030600/PMR3305-ApostilaSimulacao.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2022.

MOREIRA, Daniel. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502180420/>. Acesso em: 05 mar. 2022.

PLANT SIMULATION, 2022. Disponível em: https://www.plm.automation.siemens.com/plmapp/education/plant-simulation/en_us/free-software/student. Acesso em 01 mai. 2022.

ROSSETTI, M. D. **Simulation Modeling and Arena**, 2021. Disponível em: <https://rossetti.github.io/RossettiArenaBook/>. Acesso em: 10 abr. 2022

SOUZA, A. C. L. et. al. Simulação de uma linha de produção de biscoitos utilizando o software Arena. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 11., 2017, Campo Mourão. **Anais eletrônicos** [...]. Disponível em: http://anais.unespar.edu.br/xi_eepa/data/uploads/artigos/3/3-01.pdf. Acesso em: 01 mai. 2022.

STEIN, Ronei; GEHLEN, Rubens Z. da C.; AFFONSO, Ligia M F.; LIXANDRÃO, Kelly C. de L. **Modelagem e Otimização de Sistemas da Produção**. Rio Grande do Sul: Grupo A, 2018.

9788595024151. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595024151/>. Acesso em: 09 mar. 2022.

YIN, Robert K. Estudo de Caso. Porto Alegre: Grupo A, 2015. 9788582602324. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582602324/>. Acesso em: 17 abr. 2022.