

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS,  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SERVIÇO SOCIAL

LEONARDO CARVALHO PARANAIBA  
TIAGO FERNANDES BOLANDIM

A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS EM UMA  
PRODUÇÃO DE PIMENTA-DO-REINO

ITUIUTABA  
2022

LEONARDO CARVALHO PARANAIBA  
TIAGO FERNANDES BOLANDIM

A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS EM UMA PRODUÇÃO  
DE PIMENTA-DO-REINO

Trabalho de conclusão de curso de caráter obrigatório para conclusão da graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Simulação de Sistemas

Orientador: Eugênio Pacelli Costa

# A UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS EM UMA PRODUÇÃO DE PIMENTA DO REINO

Trabalho de conclusão de curso de caráter obrigatório para conclusão da graduação em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Uberlândia.

Área de concentração: Simulação de Sistemas

Orientador: Eugênio Pacelli Costa

Ituiutaba, 22 de outubro de 2022.

---

Eugênio Pacelli Costa,  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Jorge von Atzingen dos Reis,  
Universidade Federal de Uberlândia

---

Ricardo Batista Penteado,  
Universidade Federal de Uberlândia

## AGRADECIMENTOS

Eu, Tiago Fernandes Bolandim, agradeço a Deus por ter me concedido a oportunidade e ter me capacitado para poder cursar este curso de graduação, agradeço a meus pais Paulo César Bolandim e Célia Fernandes Bolandim por todo suporte, carinho e amor que me proporcionaram, aos meus irmãos Ana Paula, Daniela e Paulo Henrique que sempre estiveram comigo, a minha tia, Vera Lúcia, por toda a ajuda e a minha companheira Isabella Barbosa que trilhou toda a estrada ao meu lado.

Eu, Leonardo Carvalho Paranaíba, agradeço a Nosso Senhor Jesus Cristo, criador e redentor meu; à Santíssima Virgem Maria, senhora e mãe minha; a meus pais, Sergio Barros Paranaíba e Cláudia Ribeiro Carvalho Paranaíba, por terem colaborado com Deus na obra da criação, me gerando, educando e amando; ao meu irmão, Matheus Carvalho Paranaíba, por todo o apoio e amor fraternal; às minhas avós, Maria Lúcia Ribeiro Carvalho e Maria Helena Barros Paranaíba e ao meu avô, Luiz Fernando Martins Carvalho (*in memoriam*), por todo cuidado e amor desde o meu nascimento até aqui; à minha família e a todos os meus amigos e amigas, que dividiram cada momento, felizes ou tristes, comigo; e aos meus colegas de trabalho e faculdade, por cada abraço e palavra amiga.

Agradecemos à Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade, ao nosso orientador Prof. Dr. Eugênio Pacelli Costa que nos orientou no desenvolvimento deste trabalho e a todo corpo docente pelos ensinamentos e experiências compartilhadas conosco durante este período. Também agradecemos a todos os amigos pelo apoio nos bons e maus momentos que passamos.

*“O estudo já foi denominado uma oração à Verdade.”*

*A. D. Sertillanges*

*“Tudo o que temos que decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado.”*

*J. R. R. Tolkien*

## RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido para projetar uma indústria de pimenta-do-reino e, através da simulação de sistemas, estimar sua capacidade, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão de um grupo empresarial. A pesquisa teve início a partir do alinhamento das expectativas do grupo com o desenvolvimento do trabalho, para tanto, foram definidas as etapas do processo e, posteriormente, foi elaborado o fluxo de processos da fábrica, no formato de um fluxograma, com o objetivo de visualizar as etapas e seus sequenciamentos. O fluxograma foi utilizado para a elaboração de um modelo de simulação computacional, no *software* FlexSim. O propósito da simulação foi avaliar hipóteses e testar cenários para compreender o comportamento do sistema e coletar informações para apoiar a tomada de decisão. Por fim, foram feitas as conclusões da pesquisa e recomendações que são essenciais para que o grupo tome a decisão mais assertiva.

**Palavras-chave:** Simulação de Sistemas. Pimenta-do-Reino. Capacidade Produtiva, Mapeamento de Processos.

## **ABSTRACT**

The present work was developed to project a black pepper industry and, thru system modeling simulation, estimate the productive capacity, in order to support the decision-making of a business group. The research began with the alignment of the group's expectations with the development of the work, based on that, the steps of the process were defined and later the process flow of the factory's processes was prepared in the format of a flowchart, with the objective of making the steps and the sequencing of steps. The process flow was used to create a computational model, on the FlexSim software. The purpose of the simulation was to evaluate hypotheses and test scenarios to evaluate the behavior of the system and collect information for decision making. Finally, the research conclusions and recommendations were made that are essential for the group to make the most assertive decision.

**Keywords:** Systems Simulation. Black Pepper. Productive Capacity. Process Mapping.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 – ETAPAS DO PROJETO DE SIMULAÇÃO  | 19 |
| FIGURA 2 – SÍMBOLOS DO MAPEAMENTO DE PROCESSOS                                       | 29 |
| QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA   | 31 |
| FIGURA 3 – ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO                                     | 34 |
| FIGURA 4 – SEQUENCIAMENTO DA FÁBRICA   | 37 |
| FIGURA 5 – PLANTA BAIXA  | 39 |
| FIGURA 6 – PLANTA NO SOFTWARE FLEXSIM  | 40 |
| FIGURA 7 – PLANTA BAIXA DAS INSTALAÇÕES DA ESTUFA E MAQUINÁRIOS PRÓXIMOS             | 41 |
| FIGURA 8 – PLANTA DA ESTUFA E MAQUINÁRIOS PRÓXIMOS NO SOFTWARE FLEXSIM               | 42 |
| FIGURA 9 – PLANTA BAIXA DO LOCAL DE PROCESSAMENTO DA PIMENTA-DO-REINO                | 43 |
| FIGURA 10 – PLANTA DO LOCAL DE PROCESSAMENTO DA PIMENTA-DO-REINO NO SOFTWARE FLEXSIM | 44 |

## LISTA DE TABELAS

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| TABELA 1 – PARÂMETROS INICIAIS | 46 |
| TABELA 2 – FATORES INICIAIS    | 47 |
| TABELA 3 – RESULTADOS          | 48 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|         |   |
|---------|---|
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| g       | Gramma                                      |
| h       | Hora  |
| kg      | Quilograma                                  |
| m       | Metro                                       |
| min     | Minutos                                     |
| t       | Tonelada                                    |
| T       | Tempo                                       |
| V       | Volt  |
| W       | Watt  |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                               | <b>12</b> |
| 1.1      | CONTEXTUALIZAÇÃO .....                          | 12        |
| 1.2      | OBJETIVOS DA PESQUISA .....                     | 14        |
| 1.3      | JUSTIFICATIVAS.....                             | 14        |
| 1.4      | DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....                    | 15        |
| 1.5      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                     | 15        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                    | <b>16</b> |
| 2.1      | SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL .....                   | 16        |
| 2.1.1    | <i>Conceitos básicos</i> .....                  | 16        |
| 2.1.2    | <i>Estrutura da simulação de sistemas</i> ..... | 18        |
| 2.2      | CAPACIDADE PRODUTIVA .....                      | 27        |
| 2.3      | MAPEAMENTO DE PROCESSOS.....                    | 29        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA</b>                              | <b>31</b> |
| 3.1      | CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....                 | 31        |
| 3.2      | SIMULAÇÃO UTILIZANDO O FLEXSIM.....             | 32        |
| 3.3      | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS - ETAPAS .....      | 33        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>                               | <b>34</b> |
| 4.1      | ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....     | 34        |
| 4.2      | PRESSUPOSTOS DO MODELO .....                    | 36        |
| 4.3      | SEQUENCIAMENTO DE PROCESSOS .....               | 37        |
| 4.4      | DESCRIÇÃO DA PLANTA .....                       | 38        |
| 4.5      | CAPACIDADE EFETIVA DA PLANTA INDUSTRIAL .....   | 44        |
| 4.6      | VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO .....                   | 45        |
| 4.7      | PLANEJAMENTO E EXECUÇÕES DO MODELO .....        | 45        |
| 4.8      | RESULTADOS OBTIDOS.....                         | 48        |
| 4.9      | ANÁLISE DOS RESULTADOS.....                     | 48        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>                     | <b>51</b> |
| 5.1      | CONCLUSÕES DO TRABALHO.....                     | 51        |
| 5.2      | LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....                      | 52        |

## 1 INTRODUÇÃO

A pimenta-do-reino é uma planta trepadeira originária da Ásia, mais especificamente da Índia, sendo uma das mais antigas especiarias conhecidas. Por ser uma planta que necessita de clima tropical e/ou subtropical para ser cultivada, encontrou no Brasil condições ideais para seu cultivo. No norte do Brasil a cultura tem extrema relevância socioeconômica, principalmente no estado do Pará onde se encontra a maior produção de pimenta-do-reino do Brasil (DUARTE *et al.*, 2006).

Para a agricultura da pimenta-do-reino as temperaturas apontadas como ideais estão entre 23°C e 28°C, o clima ótimo é o quente e úmido com precipitações superiores a 1.500 mm por ano, com uma cadência bem distribuída ao longo do ano. A umidade relativa do ar deve ser maior do que 80%, tendo grande influência na polinização das flores. Solos encharcados e úmidos são inapropriados para a cultura, sendo melhores os solos bem drenados e argilosos por conseguirem reter a umidade nos períodos de maior seca (DUARTE *et al.*, 2006).

A pimenta-do-reino pode ser processada em três tipos, dependendo única e exclusivamente do estágio de maturação dos frutos. O primeiro tipo de pimenta-do-reino processado é a de tipo verde, na qual as espigas são colhidas quando os frutos alcançam  $\frac{2}{3}$  do crescimento. O segundo é a de tipo preta, onde as espigas são colhidas quando os frutos estão totalmente desenvolvidos. Por último é o processo da pimenta de tipo branca, cujas espigas são colhidas apenas quando os frutos apresentam coloração amarela ou vermelha (DUARTE *et al.*, 2006).

### 1.1 Contextualização

Por ser um dos condimentos mais valorizados no mundo, a pimenta-do-reino possui um grande destaque na economia brasileira, possibilitando que as organizações criem modelos sustentáveis de negócio devido a boa rentabilidade com o seu comércio.

O Brasil tornou-se em 2020 o segundo maior exportador de pimenta-do-reino do mundo, sendo responsável por 15% do comércio do produto, ficando atrás apenas do Vietnã. Em 2021, a produção de pimenta-do-reino chegou a 145 mil toneladas, com mais de 60% desse volume destinado à exportação (VETTORE, 2022).

A pimenta-do-reino é o condimento mais consumido no mundo, possuindo diversas formas de aplicação que vai desde o consumo alimentar até o consumo na indústria

farmacêutica, por possuir propriedades anti-inflamatórias, antidepressivas, hepatoprotetoras, entre outras aplicações (CAPUCHO, 2016).

Para o consumo na alimentação, em seu estado natural, ou seja, após ser colhida, a pimenta-do-reino não é um produto pronto para a ingestão. Dessa forma, para que ela se torne apta para o uso na alimentação é preciso um processamento que possibilite a sua utilização. Por ser necessário um processamento, é fundamental um bom gerenciamento, a fim de minimizar os recursos utilizados e otimizar a produção, conseqüentemente maximizando os resultados e lucros da organização.

Um parâmetro que mensura uma boa gestão da produção é garantir que a organização tenha capacidade produtiva suficiente para atender a demanda de seus clientes. Essa capacidade pode ser entendida como a otimização do processo produtivo, encontrando o balanceamento entre oferta e demanda (CORRÊA; CORRÊA, 2007).

A capacidade produtiva deve ser gerenciada de forma dinâmica, levando em consideração o tempo disponível e necessário para cada etapa do processo, além do tempo utilizado nas atividades que não agregam valor ao produto ou serviço (PEINADO; GRAEML, 2007).

Uma vez que a capacidade depende dos tempos do processo, é preciso um bom conhecimento dele, isso significa conhecer a natureza das operações e seu sequenciamento. Segundo Slack *et al.* (2018), o mapeamento de processos envolve precisamente essas duas características, descrevendo-as visualmente através de simbologia.

Diante do exposto e a partir da oportunidade identificada por um grupo empresarial em aumentar seus rendimentos com a venda da pimenta-do-reino industrializada, o presente trabalho foi desenvolvido para projetar uma planta de produção de pimenta-do-reino e determinar sua capacidade de produção, com o uso da simulação de sistemas.

O grupo empresarial possui um plantio que fornece, ao final do processo, aproximadamente quatro toneladas de pimenta-do-reino por safra, em uma cidade no interior de Minas Gerais, que são vendidas sem valor agregado, ou seja, como *commodity*. O grupo tem o objetivo de aumentar a margem de lucro vendendo, em frações de trinta gramas, a pimenta-do-reino moída, aumentando, dessa forma, o valor agregado do produto. Diante disso, o grupo busca embasamento para compreender se, com os recursos humanos disponíveis e com um pequeno investimento em equipamentos, é possível o processamento de toda a matéria-prima disponível.

A partir do conhecimento do processo, dos tempos e dos recursos disponíveis é possível elaborar um modelo de simulação que estime a capacidade produtiva da planta. A simulação é

um processo que corresponde à realidade modelada, gerando como resposta um comportamento do modelo a partir de seus pressupostos e cenários estabelecidos. Ela pode estar relacionada a modelos estáticos ou dinâmicos, isto é, associados ou não com o tempo, com eventos contínuos ou discretos e em processos determinísticos ou estocásticos (BATEMAN *et al.*, 2013; FREITAS FILHO, 2008).

## 1.2 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral deste trabalho é projetar uma possível indústria de pimenta-do-reino e determinar a sua capacidade produtiva, em um determinado período, utilizando os conceitos de simulação de sistemas, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão de um grupo empresarial sobre investir na construção da indústria ou manter a comercialização do produto em *commodity*.

Os objetivos específicos do trabalho são:

1. Desenvolver o fluxo do processo produtivo a ser efetuado na indústria;
2. Desenvolver um modelo de simulação de eventos discretos no *software* FlexSim que represente a operação da fábrica;
3. Estimar a capacidade produtiva da indústria, a partir do funcionamento das máquinas e do tempo disponível para a atividade.

## 1.3 Justificativas

O trabalho foi desenvolvido devido a necessidade de simular um sistema que ainda não existe, uma planta de produção de pimenta-do-reino, a fim de projetar sua operação e determinar a capacidade produtiva da planta com o intuito de apoiar a decisão de um grupo empresarial, acerca da possibilidade de realizar um investimento para a construção da planta industrial.

Foi utilizada a simulação de sistemas por ser uma ferramenta de custo relativamente baixo e com grande flexibilidade, que possibilita testar diferentes hipóteses e cenários sem a necessidade de implementá-los, permitindo, dessa forma, análises dinâmicas e flexíveis para a melhor tomada de decisão.

#### **1.4 Delimitação do trabalho**

O trabalho está delimitado em apresentar a capacidade produtiva de uma indústria de pimenta-do-reino moída, a partir dos recursos disponíveis e levantados para suprir a necessidade de produção do grupo. Ele não engloba análises de viabilidade e de mercado que são fundamentais para a tomada de decisão. Portanto, o trabalho aborda o fluxo de processos da indústria e os tempos de cada etapa, resultando no tempo total necessário para o processamento de toda a pimenta-do-reino. A partir dos resultados obtidos com a simulação são realizadas análises de oportunidades de melhorias para o processo.

#### **1.5 Estrutura do trabalho**

No primeiro capítulo, o trabalho apresenta, de forma geral seus objetivos, justificativas e escopo, introduzindo a metodologia de estudo que é desenvolvida; no segundo capítulo são abordados todos os conceitos base necessários para a elaboração do trabalho, nas áreas de simulação, capacidade produtiva, fluxo de processos e o cultivo da pimenta-do-reino; no capítulo seguinte são elencados todos os processos, técnicas e *softwares* utilizados para atingir os objetivos do trabalho; no quarto capítulo são analisados os dados produzidos na simulação para caracterizar a empresa e definir a capacidade produtiva da mesma; e no quinto capítulo são efetuadas as considerações finais sobre o uso da simulação de sistemas no apoio à tomada de decisão.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Simulação de Sistemas tem sua origem no séc. XVIII, com o experimento de Georges Louis LeClerc, que consistia em uma série de eventos aleatórios a fim de determinar o valor de  $\pi$ . Mais tarde, outras pessoas usaram ferramentas estatísticas e experimentos semelhantes para confirmar suas teorias (HARRISON, 2010).

### 2.1 Simulação computacional

Durante o Projeto *Manhattan*, a partir de analogias com problemas determinísticos, os cientistas buscavam soluções probabilísticas para os problemas nucleares, criando o método Monte Carlo. Onde as variáveis do sistema recebem valores randomicamente e o tempo não é um fator significativo para o resultado (SINGH, 2009).

Nas décadas de 1950 e 1960, a simulação computacional ainda era uma atividade muito complexa e muito dispendiosa, tornando-se uma atividade quase exclusiva de grandes corporações. Com o avanço da tecnologia computacional nas décadas de 1970 e 1980 e, conseqüentemente, a redução dos seus custos, a simulação começou a fazer parte do cotidiano das empresas de menor porte, inicialmente como modo de investigação para a resolução de problemas. Nessa mesma época, a simulação se tornou objeto de estudo da pesquisa operacional. No final da década de 1980, a simulação começou a deixar de ser uma ferramenta dedicada à resolução de problemas e tomou um papel mais ativo nas atividades produtivas, recebendo mais atenção e investimentos. No entanto, ainda não era muito presente nas pequenas empresas. Somente durante a década de 1990 que a simulação começou a se consolidar, principalmente pelo avanço e popularização da computação, permitindo uma melhor atividade visual e maior velocidade da simulação (KELTON; SADOWSKI; ZUPICK, 2015).

Atualmente, a simulação é cada vez mais popular e vem se relacionando com outros sistemas, colaborando na captura e análise de dados.

#### 2.1.1 Conceitos básicos

No contexto da manufatura a simulação surge como uma ferramenta que permite ao gestor avaliar cenários e testar hipóteses de maneira dinâmica sem consumir grande quantidade de tempo e recursos, fundamentando e garantindo a maior assertividade nas tomadas de decisões (COELHO; CURIONI; ANTONELLI, 2015). Dessa forma, a simulação de sistemas

torna-se uma ferramenta imprescindível para as organizações, visto a competitividade e o nível de concorrência do mercado atual.

De acordo com Bateman *et al.* (2013), simulação é o processo de avaliar hipóteses em um sistema real ou hipotético com o objetivo de validar estratégias e/ou compreender o comportamento do sistema frente às mudanças propostas. A simulação possibilita entender quais são as influências que determinados pressupostos impõe sobre o sistema, sem que ele sofra qualquer tipo de perturbação. Sendo assim, a simulação embasa a tomada de decisão e promove economia de tempo e de recursos financeiros (FREITAS FILHO, 2008).

Não é finalidade da simulação copiar o sistema em todos os seus aspectos, mas realizar experimentos através de um modelo computacional que carrega os atributos principais, a fim de compreender o comportamento que determinados fatores irão apresentar. Desenvolver um modelo com detalhes insignificantes acarreta elevados custos de modelagem, tempos maiores de respostas e rodadas mais lentas (BATEMAN *et al.*, 2013).

Forrester (1968) conceitua sistema como um grupo de componentes que operam de maneira sincronizada para atingir um resultado específico. Em uma organização alguns dos componentes que fazem parte do sistema são: pessoas, máquinas e equipamentos, informações, procedimentos, *softwares*, entre outros. Estudar e entender um sistema é mapear as interações de causa-efeito entre os elementos que o integram.

O estado do sistema é o seu retrato em um período específico, levando em consideração variáveis determinísticas e estocásticas. As variáveis determinísticas são caracterizadas por possuírem saídas predefinidas com relação aos valores de entrada, ou seja, para cada entrada existe uma única saída possível. Em contrapartida, as variáveis estocásticas variam seus resultados aleatoriamente de acordo com fatores comumente randômicos (SMITH, 1989).

Por serem muito complexos e despendem muito tempo para representar um sistema com todas as suas características, a simulação reflete os sistemas através de modelos computacionais, cujos quais conseguem captar os atributos principais e simular a performance dos sistemas quando expostos a determinadas conjunturas. O modelo é uma representação simplificada e objetiva do sistema a ser estudado. Por se tratar de uma simplificação, ele não considera todos os componentes e atributos. Dessa forma, é necessário que as variáveis do modelo sejam escolhidas acertadamente, para obter uma amostra que represente de fato o sistema e que gere resultados precisos, simulando o seu real comportamento. O modelo precisa ser desenvolvido a partir de ações estruturadas e sequenciadas para que cada estágio produza uma determinada operação, garantindo que as atividades ocorram no momento exato chegando ao resultado (RIBEIRO; LEITE; VIVAS, 2013).

Diferentemente de modelos de otimização, os quais têm como objetivo serem resolvidos, ou seja, buscam encontrar o resultado otimizado, os modelos de simulação não buscam uma solução ideal, eles são executados e são capazes de fornecer análises constantes sempre que novas dúvidas surjam ou que necessitem de novos testes no sistema (FREITAS FILHO, 2008). O principal objetivo da modelagem é encontrar o que de fato é fundamental para o propósito da simulação (CHWIF; MEDINA, 2015).

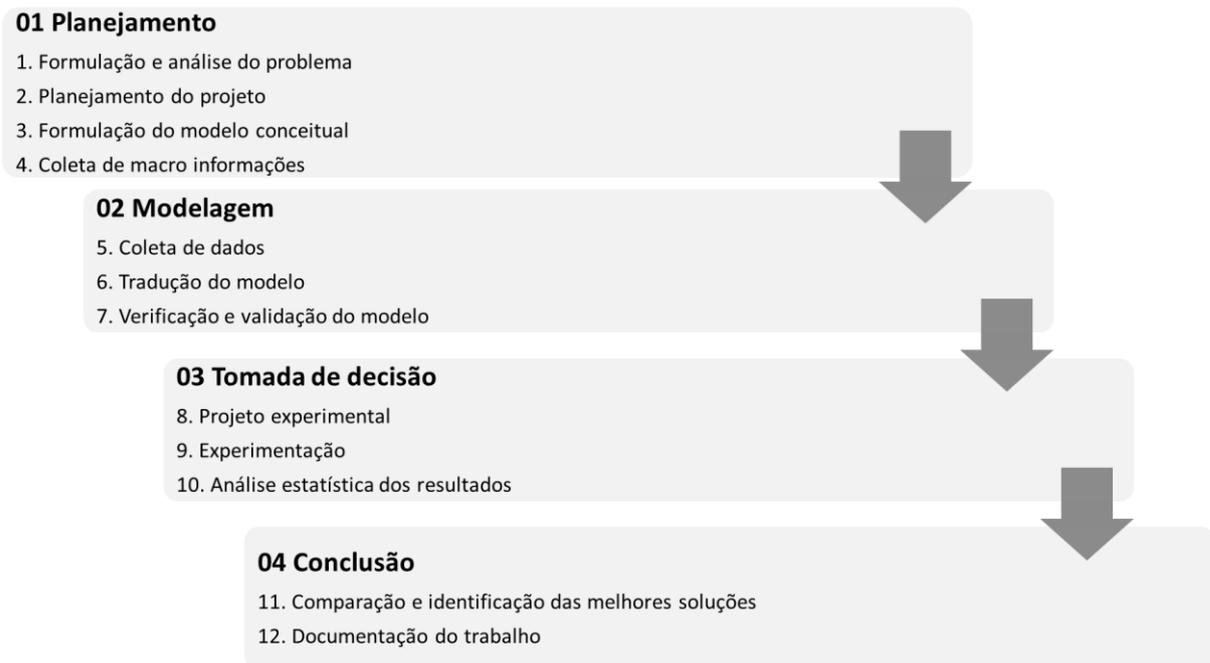
De acordo com Bateman *et al.* (2013), os modelos podem ser dinâmicos ou estáticos, a depender da relação que o modelo possui com o tempo. Um modelo é dito dinâmico quando apresenta mudanças com o tempo, o estado do sistema pode ser distinto em momentos diferentes. Um modelo é estático quando não apresenta mudanças com o passar do tempo, o estado do sistema não sofre alterações, ou seja, o tempo não é um fator que interfere no comportamento do sistema.

A simulação também é caracterizada por dois tipos de eventos, a simulação por eventos discretos e por eventos contínuos. A simulação por eventos discretos apresenta situações em que o sistema é alvo de ações instantâneas, onde cada evento é único e exclusivo ocorrendo em períodos específicos. Esses acontecimentos modificam o estado do sistema em pontos discretos. De acordo com Taha (2008), um bom exemplo para descrever a simulação por eventos discretos são as filas de espera, nas quais, os clientes chegam, esperam, caso seja necessário, e na sequência são atendidos. Dessa maneira, dois acontecimentos são fundamentais: as entradas e as saídas. Apenas quando ocorre alguma dessas situações que se faz necessário analisar o sistema, pois é nesse momento que ele sofre alterações em seu estado.

A simulação por eventos contínuos retrata situações em que o estado do sistema varia ininterruptamente com relação ao tempo, ou seja, a cada período o sistema apresenta uma configuração diferente (CHWIF; MEDINA, 2015).

### ***2.1.2 Estrutura da simulação de sistemas***

Banks *et al.* (2005), fundamenta-se em quatro etapas essenciais para a condução de um estudo que envolva modelagem e simulação de sistemas, essas etapas são apresentadas de acordo com a Figura 1 e descritas na sequência.

**Figura 1 - Etapas do Projeto de Simulação**

Fonte: Autores

### **Etapa 01: Planejamento**

A etapa de planejamento é subdividida em quatro partes, que auxiliam no entendimento do problema que será estudado e estruturam a forma como o trabalho será dirigido, sendo descritas nos tópicos 1, 2, 3 e 4.

#### **1. Formulação e análise do problema**

O projeto de simulação é iniciado a partir da formulação do problema a ser estudado. A partir da definição do problema e da compreensão dos pontos de interesse do estudo, os objetivos centrais podem ser definidos. Esses objetivos não dependem exclusivamente de um problema notório que precisa ser resolvido, o projeto pode ser conduzido a fim de verificar se no sistema existe algum problema que não é conhecido (BANKS *et al.*, 2005).

De acordo com Pedgen *et al.* (1995), nessa etapa são estabelecidos os principais objetivos do estudo em questão, determinando o motivo de estudar o problema e quais indagações serão respondidas. Encontrado e definido de forma clara o problema, os objetivos do estudo surgirão de forma espontânea, já que os experimentos serão realizados com o intuito de analisá-lo (BATEMAN *et al.*, 2013).

De acordo com Freitas Filho (2008), nessa fase do projeto é importante definir quais serão as restrições que nortearão o desenvolvimento do trabalho, a fim de evitar que se tenha mais prejuízos do que ganhos com o projeto de simulação. Limitações do projeto como orçamento, prazos, tempos e recursos devem ser estabelecidos.

## 2. Planejamento do projeto

Com a definição do problema e determinados os objetivos e as restrições do trabalho, a etapa de gerenciamento do projeto é iniciada. Nessa etapa é definido o cronograma das atividades a serem executadas e quais os recursos necessários para que cada atividade seja realizada. Além disso, certifica-se de que os recursos disponíveis, como pessoal, informações, orçamento, prazos, *hardware* e *software*, são suficientes para o desenvolvimento e para os resultados que o projeto espera alcançar (FREITAS FILHO, 2008).

## 3. Formulação do modelo conceitual

Segundo Law (2007), o desenvolvimento do modelo conceitual é o momento mais importante do projeto de simulação de sistemas. De acordo com Shannon (1975), a elaboração de um modelo conceitual apropriado simplifica o encontro de uma solução satisfatória e minimiza a complexidade do estudo de simulação.

Conforme Chwif e Medina (2015), antes de formular o modelo conceitual deve ser mentalizado o modelo abstrato. Ele tem a função de identificar o que de fato é relevante para o sistema, agregando o que influencia e está diretamente relacionado aos objetivos e resultados esperados. Contudo, o modelo abstrato deve ser preciso, nem demasiadamente simplista e tampouco extremamente complexo, ele deve representar e absorver o que de fato impacta nos resultados que se espera.

De acordo com Kelton *et al.* (1998), o modelo conceitual tem a função de demonstrar a essência do comportamento do sistema. Robinson (2008), define o modelo conceitual como uma apresentação não computacional e não minuciosa do sistema modelado. Ele representa as entradas, saídas, objetivos, pressupostos e simplificações do modelo.

Segundo van der Zee *et al.* (2010), a finalidade do desenvolvimento do modelo conceitual é nortear a programação do modelo no *software* de simulação, fazendo a tradução do sistema real em forma abstrata e simplificada. A realização de uma adequada modelagem conceitual simplifica o projeto de simulação por vincular o problema central do trabalho com a programação do modelo.

O desenvolvimento do modelo computacional é simplificado quando no desenvolvimento do projeto de simulação é utilizada alguma técnica de modelagem conceitual. Além disso, o uso da técnica aumenta a qualidade do modelo (RYAN; HEAVEY, 2006). Wang e Brooks (2007), destacam algumas técnicas de modelagem conceitual, sendo elas:

- a. Representação textual;
- b. Diagrama de fluxo de processos;
- c. Fluxograma;
- d. Diagrama de ciclo de atividades;
- e. Linguagem unificada de modelagem.

Ainda nesta etapa, o estabelecimento de todos os pressupostos, ainda que não extremamente detalhados, também deve tomar lugar, para que não haja interferência nos resultados da simulação (BATEMAN *et al.*, 2013).

#### 4. Coleta de macro informações

A última etapa dentro do planejamento do trabalho é a coleta de macro informações, durante essa fase deve ser realizado o levantamento de dados históricos como arquivos e registros, coleta de informações provenientes do pessoal envolvido no sistema e reunir informações provenientes de observações *in loco*, a fim de acumular dados estatísticos, informações e constatações para suprir o modelo de parâmetros (FREITAS FILHO, 2008).

Bateman *et al.* (2013), afirma que o foco principal dessa etapa é coletar fatos, informações e estatísticas, não é interessante buscar particularidades, o objetivo é encontrar os *inputs* do modelo e selecionar com rigor quais necessitarão de informações mais específicas.

### **Etapa 02: Modelagem**

A etapa de modelagem é subdividida em três partes que organizam e iniciam a etapa de execução, após o projeto ter sido planejado na etapa anterior ele começa a ser desenvolvido na etapa de modelagem, onde o modelo de simulação será desenvolvido e validado e será realizada a coleta de dados para o trabalho. As partes dessa etapa são apresentadas nos itens 5, 6 e 7, a seguir.

#### 5. Coleta de dados

Segundo Chwif e Medina (2015), o início da coleta de dados se dá com uma boa escolha das variáveis de entrada, para isso, é necessário saber diferenciar o que são dados de entrada e o que são dados de saída. O primeiro se refere às informações fornecidas ao modelo e o segundo

às informações coletadas do modelo. Os dados de entrada podem ser determinados de maneira aleatória ou determinística, a partir de cronometragem e observações *in loco* do sistema. Já os dados de saída são consequências da programação do modelo e de suas rodadas, dependendo das entradas e dos cenários testados (FRIEND, 2012).

A coleta de dados deve ser orientada aos objetivos do estudo, com ênfase nas informações que são relevantes para o sistema modelado. Durante essa etapa devem ser definidas as fontes de dados que irão suprir o modelo e verificar se eles estão na forma mais apropriada de modo a representar o funcionamento do sistema. Para auxiliar a coleta de dados é viável procurar relações de causa e efeito no sistema, buscar por fatores que tenham interferência clara no seu comportamento, ou seja, fatores chave e identificar variáveis de *input* e *output* (FREITAS FILHO, 2008).

Para Chwif e Medina (2015), é importante que após a amostragem seja realizado o tratamento dos dados e inferências através das análises. O objetivo do tratamento é analisar os dados de forma a compreender melhor o sistema, com uso da estatística descritiva, retirando as medidas de posição (média, mediana, moda etc.) e as medidas de dispersão (variância, coeficiente de variação etc.) da variável analisada. Além disso, o tratamento de dados possibilita identificar os *outliers* que surgem por eventuais erros na coleta ou eventos inesperados e incomuns. Após o tratamento dos dados, deve-se inferir sobre a amostra para identificar a distribuição de probabilidade que será inserida ao modelo.

## 6. Tradução do modelo

A partir do modelo conceitual e segundo Golendziner e Lemos (2020), o desenvolvimento do modelo computacional depende primeiramente da escolha do *software* onde será projetada a simulação de eventos discretos. A definição apropriada do *software* e *hardware* que serão utilizados têm grande influência no tempo total de simulação. Para desenvolver o modelo computacional pode ser utilizada uma linguagem de simulação, um simulador ou, também, alguma linguagem de programação de alto nível (CHWIF; MEDINA, 2015).

Para Freitas Filho (2008), deve-se estabelecer a forma de contato entre o programador responsável pela tradução do modelo e o gerente do projeto e, também, documentar de maneira apropriada as características e variáveis do sistema, a fim de garantir que outros analistas possam compreender o modelo desenvolvido.

A escolha do *software* para a modelagem computacional depende do objetivo e da aplicação do estudo, cada sistema possui suas vantagens e desvantagens. Dessa forma, para uma modelagem computacional bem elaborada é importante conhecer os princípios nos quais o *software* escolhido opera (CHWIF; MEDINA, 2015).

#### 7. Verificação e validação do modelo

Essa etapa é responsável por validar a consistência do modelo, ou seja, confirmar se o modelo está operando isento de erros de programação, ausência de erros de sintaxe e de lógica. Também verificar se o modelo construído representa o sistema real e se é possível coletar informações que sejam confiáveis e que satisfaçam os objetivos do estudo de simulação (CHWIF; MEDINA, 2015).

Segundo Freitas Filho (2008), a verificação pode ser realizada a partir de algumas técnicas, como a utilização de modelos determinísticos, onde os resultados obtidos no modelo são conhecidos; a variação dos dados de entrada, que devem provocar diferentes reações no modelo, de acordo com seus pressupostos; e a utilização de um depurador, para processar a simulação por partes.

Para efetuar a validação, podem ser usadas as técnicas de análise de sensibilidade, que testa os resultados a partir de mudanças em alguns parâmetros; comparações com outros modelos; observação da animação do modelo, a fim de validar o comportamento do mesmo quando comparado ao sistema real; e Teste de Turing, em que os resultados da simulação e dados coletados de um sistema real são apresentados, sem identificação, a um especialista e ele determina se o modelo corresponde à realidade (HARREL; GHOSH; DOWDEN, 2011).

### **Etapa 03 - Experimentação**

A etapa de experimentação é subdividida em três partes e essa etapa é iniciada após o desenvolvimento e validação do modelo, após o modelo estar pronto para ser executado, a etapa de experimentação é realizada, fazendo o planejamento dos experimentos e as análises dos resultados obtidos a partir do modelo de simulação. As atividades dessa etapa são descritas nos tópicos 8, 9 e 10, na sequência.

#### 8. Projeto experimental

O projeto experimental é um método estatístico que pode demonstrar como dados de entrada afetam as saídas em uma simulação. Estudos de simulação de sistemas abrangem

quantidades significativas de variáveis de entrada, dessa forma, é necessário a realização de diversos cenários no simulador com o objetivo de coletar o máximo de informações possíveis acerca do comportamento do sistema. No entanto, muitas das simulações realizadas e dos resultados obtidos são desprezados posteriormente por não impactarem ou agregarem valor no objetivo e metas do estudo (CHWIF; MEDINA, 2015).

Segundo Freitas Filho (2008), o projeto experimental surge com o objetivo de otimizar as experimentações que serão realizadas, fornecendo o maior número de informações com o menor número de testes, eliminando o processo de tentativa e erro e chegando a um número de cenários testados de forma racional. O mesmo autor descreve que existem uma série de estratégias que podem ser utilizadas para a execução de um bom projeto experimental, podendo ser citadas:

- a. Bom senso;
- b. Um fator por vez;
- c. Projeto fatorial completo;
- d. Projeto fatorial fracionário;
- e. Projeto fatorial com replicações.

Para o presente trabalho foi utilizada a estratégia de um fator por vez, que será abordada adiante. Além disso, alguns termos são frequentemente utilizados em projeto de experimentos, sendo eles (FREITAS FILHO, 2008):

- Variável de resposta - permite compreender o comportamento do sistema, resultados de um experimento;
- Fator - variável controlada pelo experimentador, afeta diretamente as variáveis de resposta;
- Nível - valor que um fator pode assumir;
- Replicação - repetição da simulação do modelo, com as mesmas configurações, porém com uma semente de números aleatórios diferentes;
- Rodada - execução do modelo de simulação;
- Projeto experimental - estratégia utilizada com o objetivo de definir o número de experimentos a serem realizados com o modelo de simulação.

A estratégia “um fator por vez” é uma técnica na qual o experimentador varia um fator por vez, mantendo os demais fixos. Dessa forma, a primeira rodada de simulação é iniciada com uma configuração padrão para todos os fatores e é retirada suas variáveis de resposta do

experimento realizado. Na sequência, um fator estabelecido assume outro nível, enquanto todos os outros permanecem com o mesmo valor. A variação do nível desse fator é realizada até que todas as possibilidades sejam testadas, quando isso ocorre, esse fator retorna ao valor da configuração padrão e um segundo fator passa a sofrer variações. Esse processo é seguido até que sejam realizados experimentos com todos os fatores do estudo sendo variados (FREITAS FILHO, 2008).

## 9. Experimentação

Definidos, a partir do projeto de experimentos, os números de rodadas e cenários que serão testados, o modelo de simulação passa a ser executado nas condições estabelecidas. O experimento é um teste ou uma série de testes que tem o objetivo de identificar e compreender os motivos das mudanças ocorridas nas saídas, quando alterações em fatores que compõem um determinado sistema, objeto de estudo, são realizadas (MONTGOMERY, 1997).

De acordo com Santos (2013), na etapa de experimentação o modelo de simulação é executado, a fim de obter dados e informações necessários para compreender o comportamento do sistema frente aos cenários e hipóteses propostas. Com base no projeto experimental realizado na etapa anterior, as simulações são executadas e análises *what if* são praticadas antes de qualquer processo de tomada de decisão ou antes de se realizar qualquer mudança.

## 10. Análise estatística dos resultados

A análise estatística dos resultados está baseada em Chwif e Medina (2015), segundo os autores a análise dos resultados obtidos com as rodadas do modelo depende do tipo de sistema de simulação. Os sistemas podem ser terminais, cujos quais possuem períodos definidos para encerrar a simulação ou podem ser não terminais (em regime), cujos quais não possuem um ponto exato no tempo para que seja encerrada a simulação.

- Sistemas terminais:

Para sistemas terminais dois valores precisam ser definidos: tempo total de simulação (determinada pelo tempo total de operação do sistema real) e número de replicações (a depender do grau de confiança que se espera). A análise dos resultados é dividida em sete etapas:

- a. Definir as medidas de desempenho;
- b. Definir a confiança estatística e a precisão desejada;
- c. Definir o tempo de simulação;

- d. Elaborar “amostra-piloto” e estimar o intervalo de confiança;
- e. Definir o número de replicações necessárias;
- f. Realizar as rodadas com o modelo;
- g. Calcular o intervalo de confiança.

- **Sistemas não terminais:**

Para esse tipo de sistema deve ser definido o tempo de execução de cada replicação e a coleta dos dados de saída deve ser realizada quando a simulação estiver em regime permanente, ou seja, quando as condições iniciais não estiverem afetando o desempenho do sistema. Existem três formas para a coleta de dados durante o regime permanente, são elas:

- a. Iniciar a simulação em um estado próximo das condições de regime permanente;
- b. Rodar o modelo por longo tempo;
- c. Retirar os valores produzidos durante o regime transitório.

#### **Etapa 04: Conclusão**

Como última etapa de um projeto de simulação de sistemas, tem-se a identificação da melhor solução encontrada para a problemática em estudo e a documentação do trabalho. Essas duas partes da conclusão são descritas nos tópicos 11 e 12.

##### **11. Comparação e identificação das melhores soluções**

Ao final da modelagem e simulação de um sistema, os resultados devem ser replicados, a fim de garantir uma maior confiabilidade do modelo. Esse modelo também deve ser comparado com outras versões do mesmo sistema, evidenciando as melhorias alcançadas (FREITAS FILHO, 2008).

##### **12. Documentação do trabalho**

Segundo Chwif e Medina (2015), a documentação de um projeto de simulação de sistemas é o registro de tudo o que foi feito durante o seu desenvolvimento. Sendo uma atividade obrigatória e que deve seguir durante toda a evolução do projeto. Existem alguns ganhos com uma documentação adequada do projeto, sendo eles:

- a. Facilitar a compreensão do projeto por parte do cliente, aumentando, dessa forma, a confiança em seus resultados;

- b. Ser uma fonte de informação valiosa para a verificação e validação do projeto por auditores externos;
- c. Possibilitar a continuidade do projeto por terceiros ou servir como embasamento em projetos semelhantes.

A documentação do projeto de simulação deve conter a especificação do projeto, as informações trocadas durante o seu desenvolvimento, o modelo conceitual desenvolvido, o modelo de entrada de dados, o modelo computacional, a verificação e validação realizadas, os cenários avaliados e os resultados obtidos e os relatórios parciais e final do projeto (CHWIF; MEDINA, 2015).

## **2.2 Capacidade produtiva**

Stevenson (2001), conceitua a capacidade de uma unidade de produção como o limite máximo de manufatura que ela pode aguentar. Conforme Corrêa e Corrêa (2007), a capacidade produtiva de uma indústria manufatureira é a quantidade máxima de produção que se pode alcançar, operando em situações padrão.

No entanto, essas definições de capacidade representam o volume total de produção em condições fixas das instalações, considerando uma medida estática, ou seja, não levando em conta a perspectiva dinâmica da unidade manufatureira. Dessa forma, é imprescindível que sejam acrescentadas à capacidade as suas características dinâmicas para auxiliar a gestão da produção e das operações e às tomadas de decisões. Portanto, é interessante dividir as definições de capacidade em exposições mais singulares, ou seja, mais exclusivas.

A capacidade instalada é o volume máximo que uma fábrica pode manufaturar se não houver nenhuma parada ou perda, ou seja, trabalhar sem interrupções, todos os dias do ano, 24 horas por dia. Essa definição é muito importante para o nível estratégico da organização, uma vez que a produção máxima da fábrica não poderá ser aumentada sem que sejam realizadas mudanças nas instalações da unidade (PEINADO; GRAEML, 2004).

De acordo com Slack *et al.* (2018), a capacidade projetada ou disponível é o volume de produção projetado para a fábrica durante o planejamento da unidade, trata-se de uma medida teórica, já que não são consideradas perdas durante a manufatura. A jornada de trabalho que a organização exerce define esse tipo de capacidade.

Capacidade efetiva de uma indústria manufatureira é estabelecida descontando da capacidade projetada as perdas planejadas da operação, portanto, a capacidade efetiva nunca

será maior do que a disponível. São exemplos de paradas planejadas na operação de uma fábrica: *setup* de máquinas, manutenções preventivas, tempo em troca de turno, horário de almoço, entre outras (PEINADO; GRAEML, 2007; SLACK *et al.*, (2018).

A capacidade real de uma indústria fabril é conhecida contabilizando as perdas não planejadas da operação da capacidade efetiva da instalação, da mesma forma que a capacidade efetiva não pode ser maior do que a disponível, a capacidade realizada não será maior do que a efetiva. Alguns exemplos de paradas não planejadas da operação podem ser: paradas para manutenção corretiva, absenteísmo de colaboradores, paradas por problemas de qualidade, indisponibilidade de recursos (matéria-prima, energia elétrica, água etc.), entre outras.

De acordo com Peinado e Graeml (2007), para mensurar a eficácia de uma unidade produtora, alguns parâmetros podem ser utilizados. Esses parâmetros são encontrados conforme as equações 1, 2 e 3.

$$\text{Grau de Disponibilidade} = \frac{\text{Capacidade Disponível}}{\text{Capacidade Instalada}} \times 100 \quad (1)$$

O grau de disponibilidade mensura o quanto uma unidade fabril está disponível, levando em consideração a capacidade disponível da indústria, que é a quantidade máxima que a unidade consegue produzir durante a jornada de trabalho sem considerar quaisquer perdas, e a capacidade instalada, que é a capacidade máxima que a unidade pode produzir sem considerar quaisquer perdas e trabalhando sem parar vinte e quatro horas por dia.

$$\text{Grau de Utilização} = \frac{\text{Capacidade Efetiva}}{\text{Capacidade Disponível}} \times 100 \quad (2)$$

O grau de utilização mensura percentualmente o quanto uma indústria está utilizando a sua capacidade disponível, levando em consideração a capacidade efetiva, que é a capacidade disponível da unidade eliminando as perdas planejadas, e a capacidade disponível.

$$\text{Índice Eficiência} = \frac{\text{Capacidade Realizada}}{\text{Capacidade Efetiva}} \times 100 \quad (3)$$

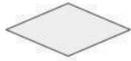
Mensura percentualmente o quanto a unidade fabril consegue alcançar a produção planejada, levando em consideração a capacidade realizada, ou seja, o que realmente foi produzido em determinado período e a capacidade efetiva.

### 2.3 Mapeamento de processos

Processo é a uma atividade, sequenciada ou não, que tem a capacidade de transformar entradas definidas em saídas com agregação de valor. O mapeamento de processos é uma tarefa que possibilita um bom conhecimento das atividades envolvidas na fabricação de produtos e na concessão de serviços. Com isso, é possível que a qualidade do processo determine a qualidade do produto/serviço (PALADINI *et al.*, 2012).

Slack *et al.* (2018), apresenta alguns símbolos regularmente utilizados para representar cada operação no mapeamento de processos, dispostos logicamente e sequencialmente, descritos na Figura 2:

**Figura 2** - Símbolos do mapeamento de processos

|   |  |
|---|--|
|  | <i>Início ou Fim do Processo;</i>  |
|  | <i>Atividade a ser executada;</i>  |
|  | <i>Tomada de Decisão. Se verdadeiro, o processo seguirá por um caminho; se Falso, por outro;</i> |
|  | <i>Direção do Fluxo entre os pontos;</i>   |
|  | <i>Documentos utilizados no processo;</i>  |
|  | <i>Espera;</i>   |
|  | <i>Continuação do Fluxograma em no círculo correspondente, de mesma letra ou número;</i>         |
|  | <i>Estoque;</i>  |
|  | <i>Transporte;</i>   |
|  | <i>Inspeção;</i>   |

Fonte: Adaptado de Peinado e Graeml (2007)

O mapeamento deve ser elaborado a partir de uma boa descrição das operações, normalmente a partir de entrevistas com os colaboradores responsáveis por cada uma delas. A fim de evitar qualquer tipo de erro, é necessário que seja claro e não omita nenhuma parte

fundamental da atividade. Em processos extensos, pode-se dividir o mapeamento em subprocessos (PEINADO; GRAEML, 2007).

Por permitir um bom conhecimento do processo, o mapeamento identifica atividades críticas, que demandam uma atenção especial, possibilidades de melhoria e oportunidades de tornar o processo mais enxuto (PALADINI *et al.*, 2012).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os métodos utilizados durante a execução do trabalho, caracterizando a pesquisa quanto a sua natureza, ao tipo de problema, quanto a seus objetivos e procedimentos.

#### 3.1 Caracterização da pesquisa

A classificação do trabalho, de forma geral e resumida, pode ser observada no Quadro 1:

**Quadro 1** – Classificação da pesquisa

| <b>Natureza</b> | <b>Problema</b> | <b>Objetivos</b> | <b>Procedimentos</b> |
|-----------------|-----------------|------------------|----------------------|
| Aplicada        | Quantitativa    | Exploratória     | Experimental         |

Fonte: Autores

A partir dos objetivos e das características da pesquisa foram definidos os procedimentos metodológicos do trabalho.

De acordo com Prodanov e Freitas (2013), uma pesquisa aplicada tem o objetivo de solucionar problemas a partir do conhecimento gerado com o desenvolvimento do trabalho. Dessa forma, o presente trabalho se enquadra nesta classificação por proporcionar conhecimentos e resultados que auxiliam a decisão do grupo investidor entre continuar no mercado de *commodity* ou ingressar no mercado de produtos industrializados, aumentando o valor agregado do produto, ou seja, o trabalho gera conhecimento para resolver o problema que o grupo possui.

Do ponto de vista da abordagem do problema, o trabalho se caracteriza como uma pesquisa quantitativa. Segundo Prodanov e Freitas (2013), trabalhos com essa abordagem traduzem em números, ou seja, de maneira quantitativa, pontos de vista e informações para uma análise de forma clara e precisa. A partir dos resultados da pesquisa, dados quantitativos foram fornecidos a fim de eliminar qualquer subjetividade nas análises, fornecendo informações da capacidade de pimenta-do-reino que a planta produtiva é capaz de processar.

Segundo Gil (2002), pesquisas exploratórias têm a função de fornecer maior conhecimento sobre o problema que está sendo estudado, tornando-o mais claro ou construindo hipóteses. A partir disso, o trabalho se encaixa nessa classificação por ter o objetivo de

aprofundar no problema proposto, testando cenários e fornecendo informações que ajudaram o grupo em suas indagações.

Os procedimentos utilizados para a elaboração do trabalho, o qualificam como experimental, uma vez que foram identificadas as variáveis do processo e realizadas alterações nas mesmas, observando as diferentes respostas do modelo para cada controle aplicado sobre ele (GIL, 2002).

### 3.2 Simulação utilizando o FlexSim

Um projeto de simulação, quando executado com a utilização do FlexSim, deve seguir uma série de etapas para ser bem construído e responder à realidade simulada. Essas etapas são descritas neste capítulo e devem seguir a sequência lógica do modelo conceitual.

Existem várias entidades disponíveis no *software* FlexSim, algumas entidades utilizadas para o modelo são *source*, *queue*, *processor*, *sink*, *basicFR* e *operator*, que são descritas com mais detalhes a seguir:

- *Source* – é a fonte do fluxo de itens a serem processados, obedecendo um comportamento previamente determinado;
- *Queue* – atua como uma fila, sendo responsável pela recepção, contenção e liberação dos itens em meio aos fluxos do modelo, obedecendo a fluxos previamente determinados, com formação ou não de lote;
- *Processor* – é utilizada para atuar como o processador da atividade, obedecendo um tempo de processamento determinado por uma curva de distribuição estatística ou outro parâmetro selecionado;
- *Sink* – representa possíveis saídas de itens do fluxo de processamento, utilizados como pontos de perda;
- *BasicFR* – desempenha a função de modelar estruturalmente o modelo, não interferindo no fluxo, mas evidenciando a realidade modelada;
- *Operator* – interpreta os agentes que atuam sobre o processo, a fim de manter o fluxo dos itens.

Essas entidades devem ser configuradas com parâmetros específicos na janela de propriedades. Esses parâmetros especificam a forma física da entidade na animação; a

quantidade e a disponibilidade de itens no fluxo inicial; a curva de distribuição de probabilidade associada aos tempos de processamento e *setup* das entidades; a razão do fluxo de saída de cada entidade e seus respectivos destinos; e o comportamento de cada fila do modelo.

A implementação do modelo é relativamente simples. Após selecionar o ritmo de apresentação dele, isto é, determinar a razão do tempo de simulação sobre o tempo real, o usuário é apresentado ao espaço virtual disponível para construir o modelo. Uma biblioteca de entidades é apresentada e o usuário deve selecionar e posicionar as mesmas conforme o modelo conceitual; em seguida, deve selecionar a entidade e configurar seu comportamento dentro do fluxo; operadores e veículos podem interferir no fluxo, conforme a realidade planejada.

Todas as entidades devem ser conectadas de acordo com o fluxo do modelo, definindo os destinos e as proporções de vazão dos itens. Finalizado o modelo, o usuário deve executar a simulação e realizar a validação e verificação dele. Ao fim de cada execução, é possível extrair informações do comportamento dos itens no fluxo do modelo, a fim de permitir que o usuário realize análises sobre a simulação.

### **3.3 Procedimentos metodológicos - etapas**

A seguir estão descritas as etapas que foram seguidas para o desenvolvimento do trabalho:

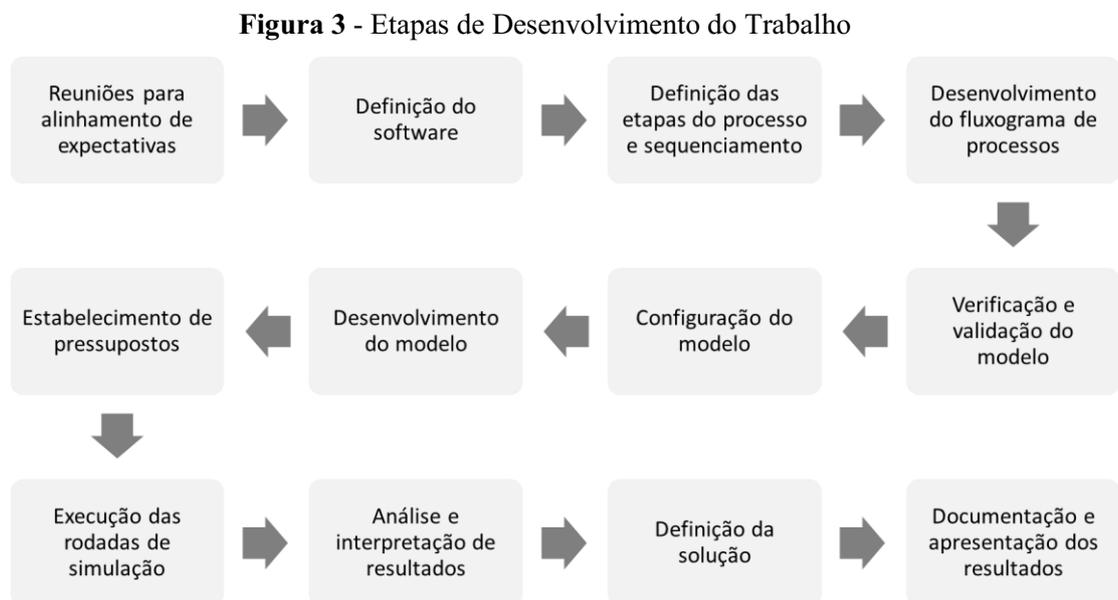
1. Alinhamento de expectativas junto ao grupo empresarial;
2. Definição das etapas do processo e o número de equipamentos;
3. Mapeamento de processos da indústria;
4. Definição dos pressupostos do modelo;
5. Elaboração e testes com o modelo de simulação no *software* FlexSim;
6. Execução de rodadas de simulação;
7. Análise dos resultados obtidos;
8. Conclusões do trabalho.

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com o processo de simulação de sistemas. No qual estão descritas as etapas de execução do trabalho, os pressupostos que foram utilizados no modelo, o sequenciamento de processos da indústria e a descrição da planta, também, são abordados os resultados dos cenários simulados e suas variações.

### 4.1 Etapas de desenvolvimento do trabalho

Na Figura 3 são apresentadas as etapas de desenvolvimento do trabalho.



Fonte: Autores

1. Inicialmente foram realizadas reuniões junto ao grupo empresarial para alinhamento das expectativas com a execução do trabalho. A partir disso, foi definido o problema central do trabalho, projetar uma indústria de processamento de pimenta-do-reino, a fim de estimar a sua capacidade produtiva utilizando a simulação de sistemas;
2. Alinhadas às expectativas e definido o problema central do trabalho, foi definido que o *software* a ser utilizado para a simulação do sistema seria o FlexSim (versão 22.1.2) por se tratar de uma ferramenta que os programadores possuem domínio, o que é extremamente importante para um projeto de simulação, e por possuir uma versão gratuita para fins acadêmicos.

3. Definido o *software* a ser utilizado, foram definidas as etapas do processo e seu sequenciamento, desde o debulhamento até o envase da pimenta-do-reino moída. As etapas do processo foram definidas pelo grupo empresarial, devido aos sócios terem conhecimento do processo por serem fornecedores de empresas que industrializam a pimenta-do-reino e por terem visitado as plantas dessas empresas;
4. Definidas as etapas e o sequenciamento do processo, foi realizado, no formato de um fluxograma, o sequenciamento das operações da indústria, com o propósito de visualizar de forma clara as etapas e suas interações, facilitando, dessa forma, a modelagem do sistema no *software*;
5. Realizado o fluxograma de processos, foram estabelecidos os pressupostos do estudo a serem utilizados no modelo, a fim de garantir que o modelo simulado correspondesse à realidade do sistema;
6. Com os pressupostos do modelo definidos foi realizada a criação do modelo no *software* FlexSim;
7. O modelo criado foi configurado a partir dos pressupostos definidos;
8. O modelo desenvolvido foi verificado por meio das próprias rodadas de simulação, através das alterações da quantidade de pimenta-do-reino disponível para o processamento nos diversos cenários e validado a partir da observação da animação;
9. Depois da verificação e validação do modelo foram executadas as rodadas de simulação. As execuções do modelo foram realizadas utilizando o método “um fator por vez”, sendo variados os fatores: entrada de pimenta-do-reino, perda na debulhadora e perda na estufa. Com o objetivo de coletar dados e informações necessárias para compreender o comportamento do sistema frente aos cenários e hipóteses propostas;
10. Com os dados e informações coletadas através da execução do modelo, foi realizada a análise e interpretação dos resultados obtidos;
11. Foi feita a discussão a partir dos resultados obtidos e definida a melhor solução encontrada para o problema proposto;
12. Definida a melhor solução, foi documentado o trabalho e apresentado o resultado do projeto para o grupo.

## 4.2 Pressupostos do modelo

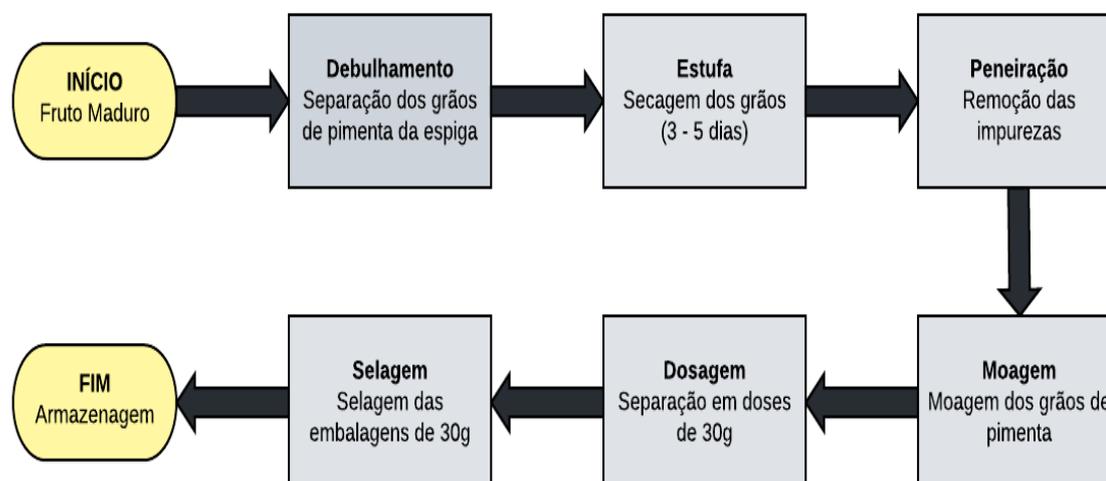
A partir do modelo conceitual e da coleta de informações sobre a disponibilidade e restrições que incidiram sobre o modelo, foram identificados e descritos nove pressupostos para o projeto, seguindo assim:

1. Cultivo em torno de 11,5 t de pimenta-do-reino por ano;
2. Toda a pimenta-do-reino colhida estará disponível para iniciar o processamento no instante  $t=0$ ;
3. O período máximo para a industrialização da pimenta-do-reino colhida é de quatro meses (agosto a novembro). De acordo com Duarte *et al.* (2006), o período de colheita dos frutos maduros é de julho a novembro. Considerando que os dois colaboradores atuarão na colheita e levarão no máximo um mês para colher toda a produção, restarão quatro meses para o processo de produção da pimenta-do-reino moída, uma vez que irão trabalhar na etapa de tratamentos culturais e plantio após o processamento da pimenta;
4. O tempo máximo disponível para o processamento da pimenta-do-reino é de 474,73 horas (descritos no item 4.5), considerando uma jornada de trabalho de 44 horas semanais, de segunda a sábado. Onde será realizada uma jornada de trabalho das 07h 00min até as 15h 20min, com uma hora de intervalo para almoço;
5. Um número fixo de dois colaboradores;
6. É necessária 1 hora por dia para o início da operação e para a finalização e limpeza da indústria e 2 horas por semana para manutenções programadas;
7. As instalações da indústria estão dispostas a partir dos prédios construídos na área destinada; sendo elas, uma estufa para o processo de secagem da pimenta; e uma estrutura de alvenaria que abriga os maquinários para o processamento da pimenta-do-reino após a secagem;
8. As curvas de distribuição das probabilidades dos tempos de processamento das máquinas foram definidas como uniformes, uma vez que não existem muitas informações sobre elas devido ao sistema ser hipotético e impossibilitar a coleta de dados, com isso, a única informação disponível é a capacidade nominal das máquinas (BATEMAN *et al.*, 2013). Os limites foram definidos a partir de uma variação de 2% para mais e para menos dessas capacidades;
9. O *range* utilizado para a variação dos fatores na simulação foi de 5%, entre -2,5% e 2,5%.

### 4.3 Sequenciamento de processos

As etapas e o sequenciamento dos processos da indústria foram realizados a partir das discussões realizadas com o grupo investidor. Por terem conhecimento do processo de moagem da pimenta-do-reino, os sócios propuseram o sequenciamento das etapas da fábrica e o número de maquinários utilizados em cada etapa. Como os sócios vendem a pimenta-do-reino como *commodity*, a empresa já possui a debulhadora e a estufa utilizada para a desidratação da pimenta-do-reino, dessa forma, a capacidade da máquina e da instalação foram utilizadas na simulação. Para as demais etapas foram realizadas pesquisas para encontrar os equipamentos utilizados em cada etapa e suas capacidades nominais. Caso o grupo opte por seguir o investimento para a criação da fábrica será necessário a realização de investimento para a aquisição da peneira vibratória, do moinho, da dosadora e da seladora. A partir das informações e das pesquisas foi realizado o fluxograma, representado na Figura 4, com as etapas e sequenciamento do processo de produção da pimenta-do-reino.

**Figura 4 - Sequenciamento da fábrica**



Fonte: Autores

O processamento da pimenta-do-reino é iniciado com o debulhamento da especiaria. Nesta etapa ocorre a separação dos grãos de pimenta-do-reino dos respectivos eixos de suas espigas. Para essa etapa é utilizada uma debulhadora automática, onde as espigas são depositadas e devido à alta vibração do equipamento ocorre a separação dos grãos e dos eixos.

A etapa de debulhamento da pimenta-do-reino ocorre dentro da estufa, onde é realizada a desidratação da pimenta-do-reino, eliminando, dessa forma, a necessidade de armazenamento e transporte dos grãos após serem debulhados, otimizando, dessa forma, o processo, com a redução de uma etapa que não agrega valor ao produto.

Com a pimenta-do-reino debulhada ocorre a etapa de secagem dos grãos, na qual eles permanecem em uma estufa de três a cinco dias, até que a pimenta tenha uma umidade menor do que 13%. A etapa de desidratação da pimenta-do-reino é responsável por uma perda de massa que pode chegar a até 65% da massa do fruto colhido (DUARTE *et al.*, 2006).

Após a completa secagem dos grãos, a pimenta-do-reino é removida da estufa e destinada de forma manual para uma peneira vibratória, a fim de separar os grãos secos de impurezas. Os grãos limpos são depositados em sacos de aniagem de 25 kg e armazenados na instalação de processamento.

Após isso a pimenta-do-reino é destinada para a moagem, onde os grãos ensacados são depositados, manualmente, no moinho, depois da pimenta estar moída ela é colocada em caixas plásticas de 20 kg.

Com a pimenta-do-reino moída, de forma manual, ela é destinada para uma dosadora que dispensa a pimenta na gramatura definida de 30 g, em seguida, é realizada a selagem das embalagens com uma seladora automática. Por fim as embalagens são armazenadas em caixas e depositadas no estoque da fábrica.

#### **4.4 Descrição da planta**

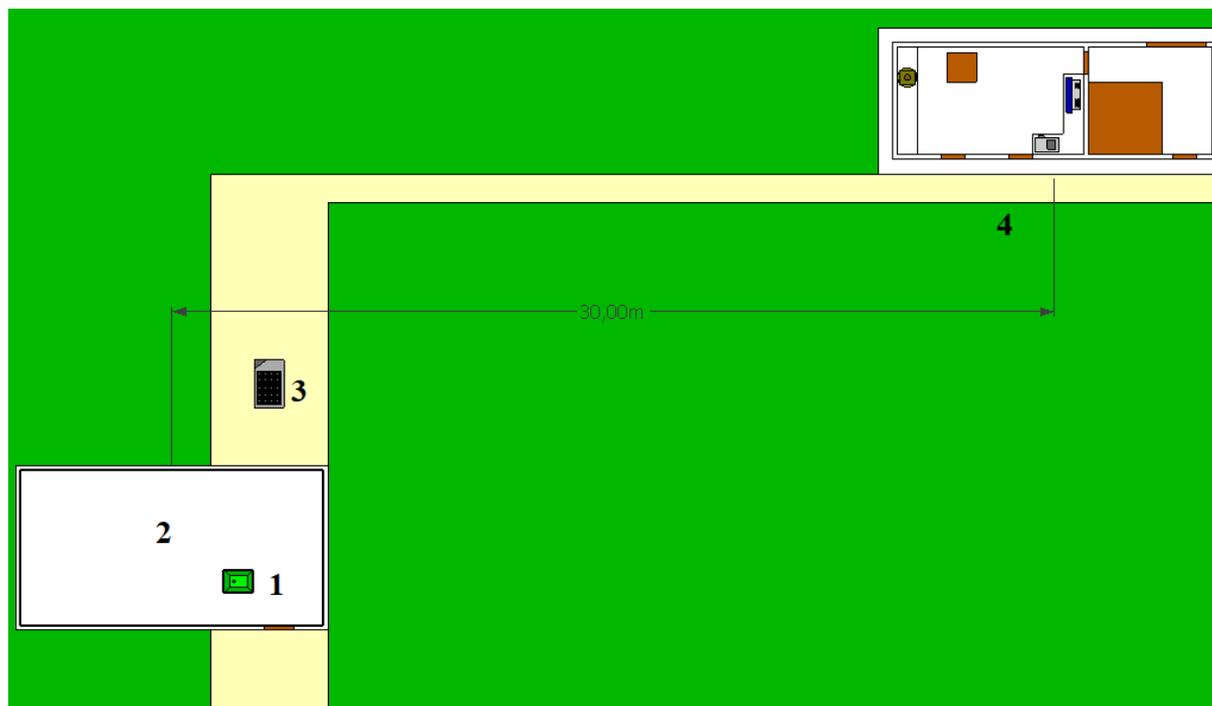
A planta da indústria é constituída por uma estufa de dimensões 10,6 m de comprimento x 5,6 m de largura x 3,45 m de altura. Nessa edificação ocorrem as etapas de debulhamento da pimenta-do-reino e a secagem dos grãos. E uma instalação de 12,0 m de comprimento x 5,0 m de largura x 3,09 m de altura. Nessa instalação ocorre o processamento da pimenta-do-reino e estão dispostos os seguintes equipamentos: moinho, dosadora e seladora das embalagens.

Foi definido que a etapa de debulhamento das espigas ocorreria dentro da estufa, a fim de eliminar as necessidades de armazenamento e transporte dos grãos. A etapa de peneiração, na qual são retiradas as impurezas da pimenta-do-reino, ocorre próximo à estufa. Depois de peneirada, a pimenta é depositada em sacos de aniagem de 25 kg. Após a pimenta-do-reino estar isenta de impurezas e depositada nos sacos, ela é transportada até a instalação de processamento para armazenagem, a distância percorrida é de 30 m. O transporte até a

instalação ocorre manualmente carregando um saco de pimenta por vez com o auxílio de um carrinho de mão.

A planta baixa da indústria pode ser observada na Figura 5.

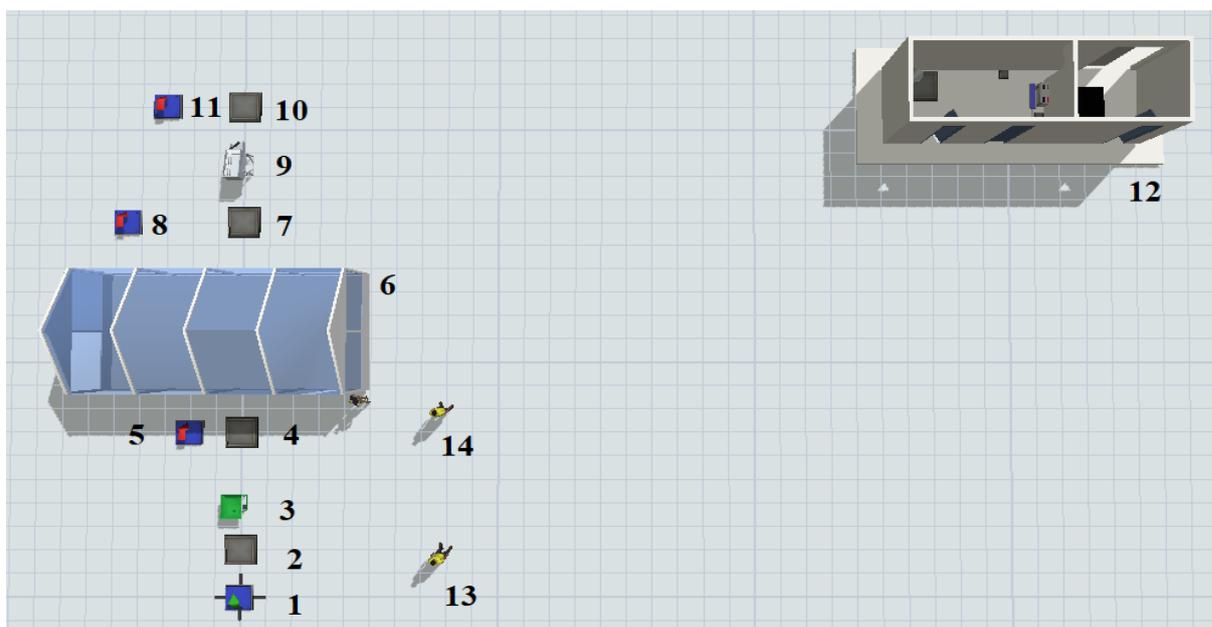
**Figura 5 - Planta baixa**



Fonte: Autores

Na Figura 5, que representa a planta baixa da indústria, são identificados equipamentos e instalações. São eles: debulhadora (1); estufa (2); peneira vibratória (3); e instalação de processamento (4). Na Figura 6 é observada a planta baixa da indústria desenvolvida no *software* FlexSim.

**Figura 6** – Planta no *software* FlexSim



Fonte: Autores

Na Figura 6 estão representados alguns elementos do processo. São eles: entrada de pimenta-do-reino (1); fila da debulhadora (2); debulhadora (3); fila da estufa (4); saídas da debulhadora (5); estufa (6); fila da peneira vibratória (7); saída da estufa (8); peneira vibratória (9); fila dos sacos de aniagem (10); saída da peneira vibratória (11); instalação de processamento (12); colaborador 1 (13); e colaborador 2 (14).

Apesar de, na realidade, a debulhadora estar posicionada no interior da estufa, é impossível essa representação no *software* FlexSim, uma vez que são dois processadores distintos. A fim de aproximar o modelo da realidade, a debulhadora foi posicionada próxima à estufa e o tempo utilizado para transportar a pimenta-do-reino da máquina até a fila representa o tempo utilizado para acomodar a especiaria no interior da instalação.

Os equipamentos utilizados na simulação foram definidos pelos sócios, a partir disso, foram realizadas pesquisas que tiveram o objetivo de encontrar maquinários que tivessem condições de processar a pimenta-do-reino disponível, também, foram utilizados alguns equipamentos que o grupo possui.

A debulhadora é um equipamento que o grupo já possui, com uma capacidade de debulhamento de 600 kg/h de pimenta-do-reino, é uma máquina de motor elétrico com uma potência de 890 W. A partir de sua elevada vibração separa os grãos de pimenta de suas espigas. Ela é suprida de forma manual, na qual os colaboradores depositam as espigas que estão em sacos, de 25 kg, no equipamento. Em média, a debulhadora leva 2,5 min para debulhar cada

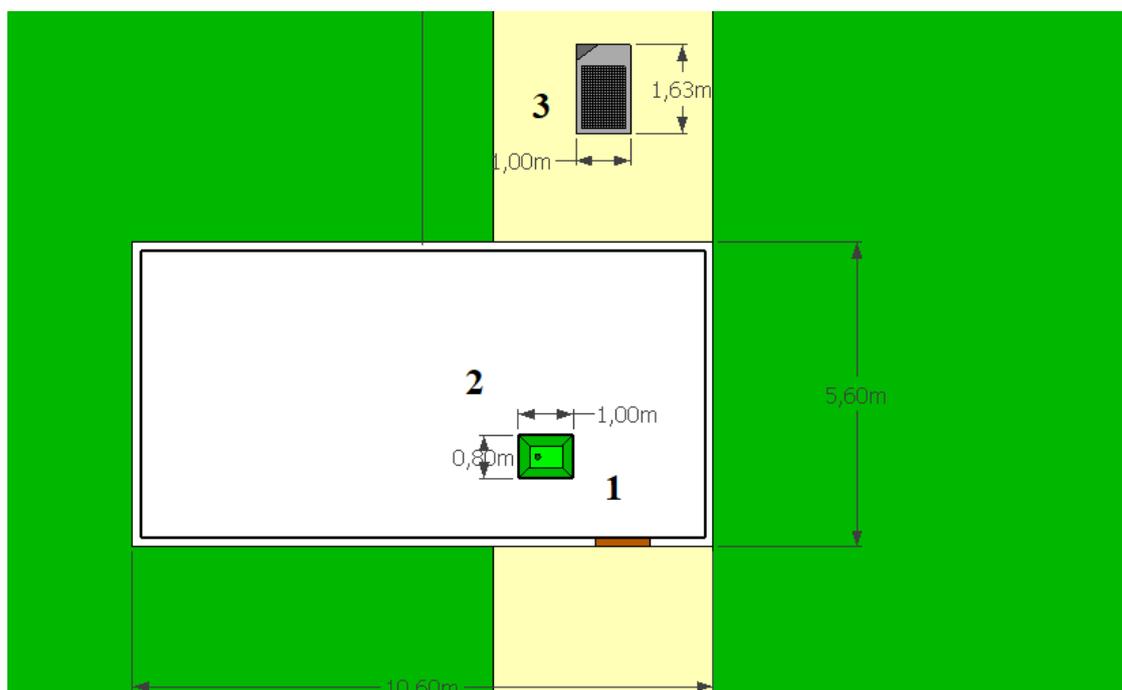
saco de pimenta-do-reino. As dimensões da debulhadora são 1,0 m de comprimento x 0,8 m de largura x 0,69 m de altura.

A estufa é uma edificação que o grupo também possui, pois já é utilizado na secagem da pimenta-do-reino para a venda da especiaria como *commodity*. Ela tem capacidade de comportar aproximadamente 15 t de pimenta-do-reino, ou seja, mais do que a pimenta disponível do grupo. O tempo de secagem varia de três a cinco dias dependendo das condições climáticas (DUARTE *et al.*, 2006).

Para a peneiração da pimenta-do-reino foi escolhida e utilizada no modelo a peneira vibratória modelo dois decks. Esse equipamento tem uma capacidade de processamento de 200 kg/h, possuindo uma potência de 740 W. A peneira vibratória tem 1,63 m de comprimento x 1,0 m de largura x 0,98 m de altura.

Nas Figuras 7 e 8, destacam-se a estufa e os equipamentos próximos a ela, debulhadora e peneira vibratória.

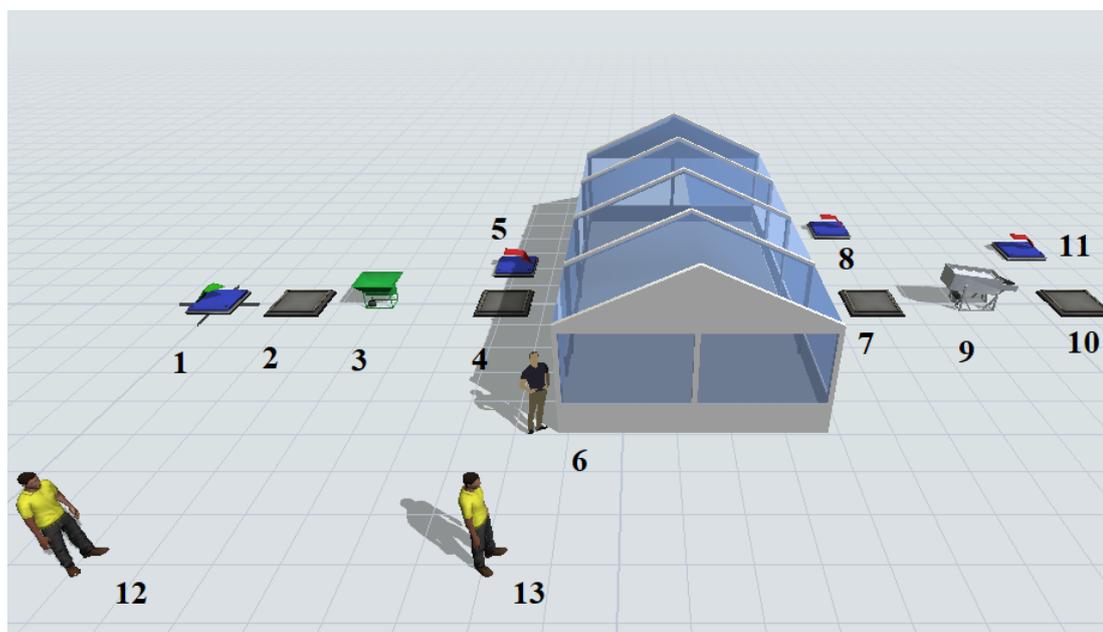
**Figura 7** - Planta baixa das instalações da estufa e maquinários próximos



Fonte: Autores

Os equipamentos representados na Figura 7 são: debulhadora (1); estufa (2); e peneira vibratória (3).

**Figura 8** – Planta da estufa e maquinários próximos no *software* FlexSim



Fonte: Autores

Na Figura 8 está representada a planta baixa no *software* FlexSim da estufa e dos equipamentos próximos a ela, as entidades estão representadas por: entrada de pimenta-do-reino (1); fila da debulhadora (2); debulhadora (3); fila da estufa (4); saída da debulhadora (5); estufa (6); fila da peneira vibratória (7); saída da estufa (8); peneira vibratória (9); fila dos sacos de aniagem (10); saída da peneira vibratória (11); colaborador 1 (12); e colaborador 2 (13).

A etapa de processamento da pimenta-do-reino é iniciada com a moagem dos grãos de pimenta, para essa etapa foi selecionado e utilizado no modelo o moinho tipo RA 25. O equipamento tem uma capacidade de moagem de 80 kg/h, tendo um consumo médio de 1472 W/h. Trata-se de um equipamento bivolt, ou seja, trabalhando com tensão de 127-220 V. A máquina tem um peso de 43 kg e as dimensões do moinho são de 0,94 m de comprimento x 0,43 m de largura X 0,90 m de altura.

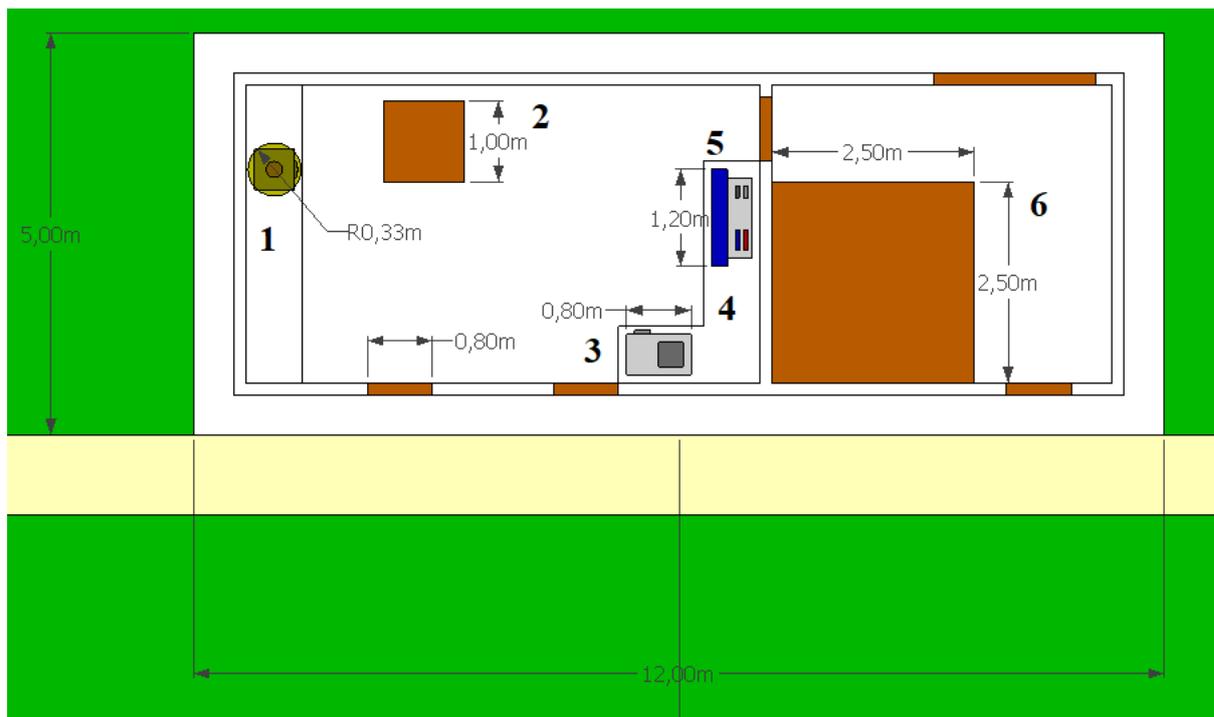
Após a pimenta-do-reino estar moída a próxima etapa é a dosagem em frações de 30 g. A dosadora utilizada possui uma capacidade mínima de dosagem de 14,4 kg/h com uma faixa de trabalho que varia de 10-1000 g. A máquina trabalha com uma tensão de 220 V e possui uma potência de 220 W. As dimensões da máquina são de 0,44 m de comprimento x 0,73 m de largura x 1,07 m de altura, o peso da dosadora é de 60 kg.

A última etapa é a selagem dos pacotes fracionados de pimenta-do-reino moída. A seladora utilizada possui uma capacidade equivalente a dosadora, 14,4 kg/h. A máquina trabalha com uma tensão de 220 V e possui uma potência de 500 W. As dimensões da máquina

são de 0,40 m de comprimento x 0,82 m de largura x 0,38 m de altura, o peso da seladora é de 30 kg. O equipamento sela plásticos de até 80 micras de espessura.

A planta baixa da instalação, com os equipamentos que fazem parte da etapa de processamento da pimenta-do-reino, pode ser visualizada nas Figuras 9 e 10.

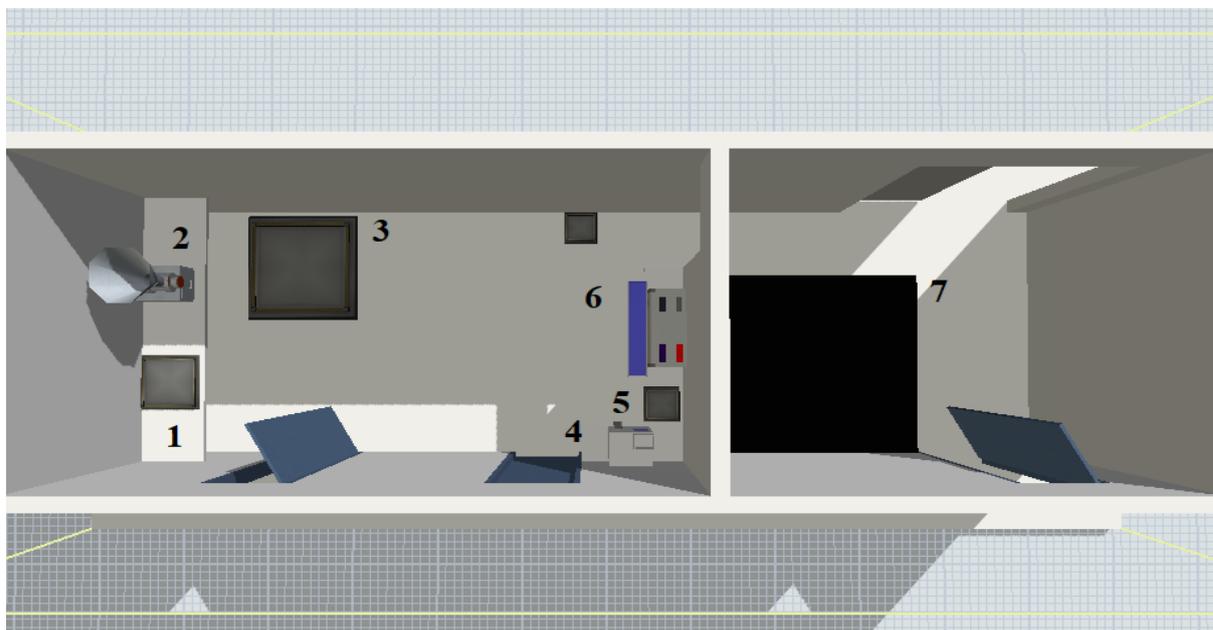
**Figura 9** - Planta baixa do local de processamento da pimenta-do-reino



Fonte: Autores

Na Figura 9, que representa a planta baixa da instalação de processamento da pimenta-do-reino, são identificados os equipamentos: moinho (1); fila da dosadora (2); dosadora (3); fila da seladora (4); seladora (5); estoque final (6).

**Figura 10** – Planta do local de processamento da pimenta-do-reino no *software* FlexSim



Fonte: Autores

Na Figura 10, que representa a planta baixa da instalação de processamento no *software* FlexSim, são identificadas as entidades: fila do moinho (1); moinho (2); fila da dosadora (3); dosadora (4); fila da seladora (5); seladora (6); estoque final (7).

#### 4.5 Capacidade efetiva da planta industrial

Tomando como ponto de partida a menor capacidade nominal dos equipamentos, isto é, a capacidade da dosadora e da seladora; temos que a capacidade instalada da planta industrial é de 126.144 kg de pimenta-do-reino processada durante um ano (365 dias, operando 24 horas por dia), conforme a equação 4.

$$14,4\text{kg/h} * 24\text{h} * 365 \text{ dias} = 126.144 \text{ kg} \quad (4)$$

Por sua vez, a capacidade disponível da mesma é de 8.971,92 kg de pimenta-do-reino processada durante o período de produção (oitenta e cinco dias, com um período de trabalho de 7,33 horas diárias), de acordo com a equação 5.

$$14,4 \text{ kg/h} * 7,33 \text{ h} * 85 \text{ dias} = 8.971,92 \text{ kg} \quad (5)$$

A capacidade efetiva da planta industrial é de 6.836,112 kg de pimenta-do-reino processada durante o período de produção. Calculado a partir da capacidade disponível, considerando quatro feriados nacionais (quatro dias de 7,33 horas), o tempo destinado para organização e limpeza da unidade fabril (uma hora por dia, durante oitenta e cinco dias), duas horas semanais para a realização de manutenções (0,4 horas por dia) e a capacidade produtiva limitante da operação; como demonstrado na equação 6.

$$\text{Capacidade Disponível} - [(7,33\text{h} \cdot 4) - (85 \cdot 1\text{h}) - (85 \cdot 0,4\text{h})] \cdot 14,4\text{kg/h} = 6.836,112 \quad (6)$$

kg

Para a conversão da capacidade efetiva em horas, efetuamos a divisão da mesma pela menor capacidade nominal do processo, como na equação 7.

$$\frac{\text{Capacidade Disponível (kg)}}{14,4 \text{ kg/h}} = 474,73 \text{ h} \quad (7)$$

#### 4.6 Verificação e validação

A verificação do modelo foi realizada por meio das próprias rodadas de simulação, através das alterações da quantidade de pimenta-do-reino disponível para o processamento nos diversos cenários. A validação do modelo se deu pela observação da animação da simulação. Essas etapas foram realizadas a fim de confirmar que o modelo está isento de erros de programação, sem erros de sintaxe e lógica e se está representando o sistema real.

#### 4.7 Planejamento e execuções do modelo

Realizadas a verificação e validação do modelo foi feito o planejamento de experimentos a fim de definir o número de cenários testados, foi levado em consideração que a versão utilizada do *software* FlexSim não altera a semente de geração de números pseudoaleatórios, impossibilitando a replicação dos cenários para a realização de análises estatísticas. Para o planejamento dos experimentos foi utilizada a técnica descrita por Freitas Filho (2008) “um fator por vez”, onde foram variados três fatores do projeto, entrada de pimenta-do-reino, perda de pimenta-do-reino na debulhadora e perda de pimenta-do-reino na

estufa. Diante disso, foi assumido que esses fatores poderiam oscilar entre -2,5% e 2,5% do valor padrão. Sendo assim, a partir da técnica utilizada, foram definidos um número de 7 experimentos com o modelo. Os parâmetros iniciais estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1 - Parâmetros iniciais**

| <b>Equipamento</b> | <b>Capacidade (kg/h)</b> | <b>Perda (%)</b> | <b>Distribuição</b> |
|--------------------|--------------------------|------------------|---------------------|
| <b>Debulhadora</b> | 588 - 612                | 12               | Uniforme            |
| <b>Estufa</b>      | -                        | 60               | Uniforme            |
| <b>Peneira</b>     | 196 - 204                | 1,5              | Uniforme            |
| <b>Moinho</b>      | 78 - 82                  | -                | Uniforme            |
| <b>Dosadora</b>    | 14,11 - 14,69            | -                | Uniforme            |
| <b>Seladora</b>    | 14,11 - 14,69            | -                | Uniforme            |

Fonte: Autores

Além da Tabela 1, tem-se como parâmetro inicial uma entrada de pimenta-do-reino de 11.500 kg. A distribuição estatística dos equipamentos foi assumida como uniforme devido ao sistema simulado ser hipotético, o que não permite a coleta de dados para definir qual a distribuição mais adequada a ser utilizada.

A partir dos parâmetros iniciais foram definidos para o trabalho um número de sete cenários de simulação, variando fatores como a quantidade de pimenta-do-reino disponível na entrada, a perda de pimenta-do-reino na debulhadora e a perda de pimenta-do-reino na etapa de desidratação. Por se tratar de um sistema hipotético não foram realizadas análises de formas distintas de produção, os cenários testados foram limitados às possibilidades de variações das entradas dos processos, a fim de compreender quais seriam os impactos na produção final e se com os recursos e o tempo disponível é possível o processamento de toda a pimenta-do-reino. Diante disso, os cenários das rodadas de simulação estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Fatores iniciais**

| <b>Cenário</b> | <b>Entrada de Pimenta<br/>(kg)</b> | <b>Perda debulhadora<br/>(%)</b> | <b>Perda Estufa (%)</b> |
|----------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| <b>1</b>       | 11.500                             | 12                               | 60                      |
| <b>2</b>       | 11.212                             | 12                               | 60                      |
| <b>3</b>       | 11.787                             | 12                               | 60                      |
| <b>4</b>       | 11.500                             | 9,5                              | 60                      |
| <b>5</b>       | 11.500                             | 14,5                             | 60                      |
| <b>6</b>       | 11.500                             | 12                               | 57,5                    |
| <b>7</b>       | 11.500                             | 12                               | 62,5                    |

Fonte: Autores

#### 4.8 Resultados obtidos

A partir das rodadas de simulação nos cenários descritos acima, os resultados obtidos estão na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultados**

| <b>Rodada</b> | <b>Quantidade de pimenta-do-reino moída (kg)</b> | <b>Tempo de processamento (h)</b> | <b>Perda (kg)</b> | <b>Tempo médio na fila do moinho (h)</b> | <b>Tempo máximo na fila do moinho (h)</b> | <b>Tempo médio na fila da dosadora (h)</b> | <b>Tempo máximo na fila da dosadora (h)</b> |
|---------------|--|-----------------------------------|-------------------|--|---|--|---|
| <b>1</b>      | 3.925  | 451,99                            | 7.575             | 27,74                                    | 53,96                                     | 116,03                                     | 231,96                                      |
| <b>2</b>      | 3.850  | 443,16                            | 7.362             | 27,11                                    | 52,85                                     | 113,48                                     | 226,69                                      |
| <b>3</b>      | 4.075  | 462,74                            | 7.712             | 28,70                                    | 55,96                                     | 120,02                                     | 239,81                                      |
| <b>4</b>      | 4.075  | 462,45                            | 7.425             | 25,68                                    | 55,94                                     | 119,9                                      | 239,55                                      |
| <b>5</b>      | 3.875  | 441,10                            | 7.625             | 26,87                                    | 52,30                                     | 112,45                                     | 224,76                                      |
| <b>6</b>      | 4.175  | 468,65                            | 7.325             | 29,51                                    | 57,41                                     | 123,40                                     | 246,64                                      |
| <b>7</b>      | 3.700  | 432,84                            | 7.800             | 26,08                                    | 50,83                                     | 109,08                                     | 217,94                                      |

Fonte: Autores

#### 4.9 Análise dos resultados

A partir dos resultados obtidos com as rodadas de simulação foi constatado que o tempo disponível, 474,73 horas, é suficiente para processar toda a pimenta-do-reino disponível pelo grupo, em todos os cenários simulados. Sendo o cenário com maior tempo de processamento o cenário 6, consumindo um tempo total de 468,65 horas.

Como o sistema simulado é do tipo não terminal, ou seja, não possui um momento exato no tempo para o término da simulação, as rodadas com os modelos foram executadas por um

longo período, até que toda a pimenta-do-reino tivesse sido processada. Dessa forma, os tempos de processamento foram longos e para o cenário de melhor produtividade, cenário 6, que houve um tempo total de 468,65 horas, serão necessários, aproximadamente, 66 dias para a produção de toda a pimenta-do-reino disponível.

O cenário que possui a melhor produtividade é o cenário 6, no qual foi variado o percentual de perda no processo de desidratação da pimenta-do-reino, sendo simulado com o menor valor assumido, 57,5% de perda e obtendo uma produtividade de 4.175 kg de pimenta-do-reino moída, o que corresponde a 139,16 mil embalagens de 30 g de pimenta-do-reino. O cenário que possui a pior produtividade é o cenário 7, no qual foi considerado o maior percentual de perda, 62,5%, na etapa de desidratação da pimenta-do-reino, com uma produção de 3.700 kg, correspondente a 123,33 mil embalagens de 30 g de pimenta-do-reino moída.

Apesar do alto percentual de perda na etapa da estufa, essa perda é inerente ao processo, ou seja, não há a possibilidade de reduzir esses valores por se tratar de uma etapa de desidratação da pimenta-do-reino, vital para a possibilidade do consumo do produto. No entanto, essa etapa foi considerada no modelo, pois uma pequena variação no percentual de perda tem extrema significância no resultado do processamento.

O fator de perda na etapa de peneiração da pimenta-do-reino não foi variado nas rodadas do modelo, pois o delta de variação considerado é maior do que a média de perda desta etapa. As perdas nas etapas de moagem, dosagem e selagem não foram consideradas por se tratar de valores ínfimos, que não alterariam significativamente o resultado do processamento.

A partir dos cenários de simulação testados, foi identificado que os maiores gargalos do processo estão nas etapas de moagem e de dosagem da pimenta-do-reino. O gargalo encontrado na etapa de moagem da pimenta-do-reino ocorre devido ao limitado número de colaboradores que trabalham na indústria, dessa forma, a moagem só é iniciada após a peneiração de toda a pimenta-do-reino por falta de pessoas para seguimento das etapas simultaneamente, fazendo com que se tenha uma grande fila nesse processo. Já o gargalo encontrado na etapa de dosagem da pimenta-do-reino ocorre devido a grande diferença na capacidade de processamento da dosadora e do moinho, etapa anterior a dosagem, a dosadora possui uma capacidade média de processamento de 14,4 kg/h de pimenta-do-reino, enquanto o moinho possui uma capacidade média de processamento de 80 kg/h, dessa forma, há uma grande disparidade entre as produções dessas etapas gerando fila na etapa de dosagem.

No melhor cenário encontrado, cenário 6, houve um tempo médio de fila no moinho de 29,51 horas por quilo de pimenta-do-reino e um tempo médio de fila de 123,40 horas por quilo de pimenta-do-reino na dosadora. Já no pior cenário, cenário 7, houve um tempo médio de fila

no moinho de 26,08 horas por quilo de pimenta-do-reino e um tempo médio de 109,08 horas por quilo de pimenta-do-reino na dosadora.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões do trabalho

Com a interação entre universidade e empresa foi possível desenvolver um modelo de simulação que representasse uma indústria de pimenta-do-reino, foi desenvolvido também o fluxograma de processos da fábrica que permitiu visualizar de forma mais assertiva o processo de fabricação. Além disso, com a execução do modelo de simulação foi possível analisar os tempos de cada etapa do processo e identificar quais os maiores gargalos e ofensores para um sistema otimizado de produção.

A partir do desenvolvimento do trabalho e com os resultados obtidos foi constatado que os objetivos da pesquisa foram atingidos. Possibilitando, com a realização de um pequeno aporte financeiro em maquinários e a utilização da mão-de-obra existente, o processamento de toda a pimenta-do-reino que o grupo possui. No entanto, foram verificados gargalos no processo que podem ser melhorados caso o grupo opte por seguir com a criação da indústria e tenha o interesse de ser mais competitivo no mercado, tornando o sistema de produção mais enxuto, ou seja, eliminando atividades que não agregam valor ao produto e melhorando os tempos de processos.

Caso o grupo tenha interesse em expandir o negócio, otimizando o sistema de produção e aumentando a quantidade de pimenta-do-reino produzida, a partir dos resultados obtidos com o processo de simulação, foi possível identificar que a fábrica possui tempo ocioso, permitindo que seja produzido mais pimenta-do-reino do que a disponível pelo grupo, dessa forma, os sócios podem seguir a estratégia da compra de matéria-prima para aumentar a produção.

Diante disso, o trabalho serviu como uma ferramenta para apoiar a tomada de decisão do grupo, sanando as dúvidas referentes a capacidade de produção que a possível indústria teria e tornando visual o comportamento e a operação do sistema.

Para contribuir e agregar na tomada de decisão é interessante que o grupo realize uma análise de viabilidade econômica, a fim de verificar se o investimento é viável economicamente, ou seja, a partir de uma análise de viabilidade identificar qual é o *payback* do investimento, definir qual será a taxa mínima de atratividade do projeto e estimar a taxa interna de retorno dele. Além disso, é extremamente importante realizar uma análise de mercado antes de realizar qualquer investimento, a fim de verificar se o produto terá aceitabilidade e mercado para ser comercializado.

## 5.2 Limitações do estudo

O trabalho foi limitado devido ao *software* FlexSim, na versão utilizada, não permitir o uso de sementes de números pseudoaleatórios diferentes para as rodadas de simulação, impossibilitando as replicações dos cenários para realização de análises estatísticas. Dessa forma, cada cenário foi rodado uma única vez e foram realizadas as análises através da comparação entre os resultados obtidos com os cenários simulados.

Além disso, outra limitação é que o grupo a princípio não almeja aumentar o quadro de funcionários, caso os investidores tivessem a possibilidade do aumento de colaboradores, a simulação poderia ter sido realizada com o processo fluindo continuamente, diminuindo os tempos de espera e de *work in process*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANKS, J., Carson, J., Nelson, B., and Nicol, M. **Discrete-Event System Simulation**. Prentice hall Englewood Cliffs, NJ, USA, 4 edition, 2005.

BATEMAN, Robert E. *et al.* **Simulação de Sistemas**: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAPUCHO, Vanessa. **Pimenta-do-reino é tema de projeto aprovado pela Fapes**. 2016. Disponível em: <https://www.es.gov.br/Not%C3%ADcia/pimenta-do-reino-e-tema-de-projeto-aprovado-pela-fapes#:~:text=A%20pimenteira-do-reino%20%28Piper%20nigrum%20L.%29%20%20%20C3%A9%20o%20condimento,farmac%C3%AAutica%2C%20sendo%20muito%20popular%20na%20tradicional%20medicina%20indiana> Acesso em: 21 ago. 2022.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2015.

COELHO, André Vicentini; CURIONI, Gabriel Augusto; ANTONELLI, Gilberto Clóvis. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS PRODUTIVOS: UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO FLEXSIM PARA DESENVOLVIMENTO DE NOVOS CENÁRIOS EM UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA. **Produção Industrial & Serviços**, Maringá, v. 02, n. 01, p. 58-72, maio 2015. Disponível em: [https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev\\_prod/article/view/52328/pdf](https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev_prod/article/view/52328/pdf). Acesso em: 11 set. 2022.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA Carlos A. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Editora Atlas, 2007.

DUARTE, Maria de Lourdes Reis *et al.* **A cultura da pimenta-do-reino**. 2. ed. rev. e aum. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 82 p. ISBN 85-7383-380-7.

FORRESTER, Jay W. **Principles of systems**. Cambridge: Wright-Allen Press Inc., 1968.

FREITAS FILHO, Paulo José de. **Introdução À Modelagem e Simulação de Sistemas**. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

FRIEND, Jonathan Daniel. APLICAÇÃO DE UMA ABORDAGEM DE AQUISIÇÃO E ARMAZENAMENTO DO CONHECIMENTO EM PROJETOS DE SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS. Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr. 2012. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, [S. l.], 2012. Disponível em: [https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1224/dissertacao\\_friend\\_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/1224/dissertacao_friend_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 25 set. 2022.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLENDZINER, Alan; LEMOS, Fernando. **Aplicação da simulação computacional no balanceamento de uma linha de montagem do setor automotivo**. Foz do Iguaçu, 2020.

HARRELL, Charles R.; GHOSH, Biman K.; DOWDEN, Royce O.. **Simulation Using Promodel**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2011.

HARRISON, Robert L.. Introduction to Monte Carlo Simulation. **Aip Conference Proceedings**, Seattle, v. 1, n. 1204, p. 17-21, jan. 2010.

KELTON, W. David; SADOWSKI, Randall P.; ZUPICK, Nancy B.. **Simulation with Arena**. 6. ed. New York: Mc Graw Hill Education, 2015.

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

MAXIMIANO, Antonio. **Introdução à Administração**. 5. ed. SÃO PAULO: ATLAS, 2000. ISBN 85-224-2164-1.

Montgomery, D.C. (1997) Response Surface Methods and Other Approaches to Process Optimization. In: Montgomery, D.C., Ed., Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, New York, 427-510.

PEGDEN, C. D., SHANNON, R. E.; SADOWSKI, R. P. **Introduction to simulation using SIMAN 2**. ed. New York: McGraw-Hill, 1995.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

RIBEIRO, J. F., LEITE, G. S., & VIVAS, R. d. (2013). Modelagem e Simulação: Estudo de caso para carregamento de caminhões em um armazém portuário. Acesso em 11 de Setembro de 2022, disponível em Academia.edu:[https://www.academia.edu/9439657/Modelagem\\_e\\_simula%C3%A7%C3%A3o\\_Estudo\\_de\\_caso\\_para\\_carregamento\\_de\\_caminh%C3%B5es\\_em\\_um\\_armaz%C3%A9m\\_pordu%C3%A1rio](https://www.academia.edu/9439657/Modelagem_e_simula%C3%A7%C3%A3o_Estudo_de_caso_para_carregamento_de_caminh%C3%B5es_em_um_armaz%C3%A9m_pordu%C3%A1rio).

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part II: A framework for conceptual modelling. *Journal of the Operational Research Society*. v. 59, p. 291-304. 2008b.

RYAN, J.; HEAVEY, C. Requirements gathering for simulation. In: Operational Research Society Simulation Workshop, Proceedings... Warwickshire, England, 2006.

SANTOS, Fabrício Guermandi dos. **Uso da corrente crítica por meio da simulação para o auxílio no processo de planejamento da capacidade em uma fundição**. 2013. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SHANNON, R.E. **System simulation: the art and science**. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1975.

SINGH, V.P.. **System Modeling And Simulation**. New Delhi: New Age International, 2009.

SLACK, Nigel; et al. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Atlas. 2018

SMITH, Graham. **A Language for Teaching Discrete-Event Simulation**. 9. ed. New South Wales: Palgrave Macmillan Journals, 1989. 10 p. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2583057>. Acesso em: 13 set. 2022.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

van der ZEE, D.K.; KOTIADIS, K.; TAKO, A.A.; PIDD, M.; BALCI, O.; TOLK, A.; ELDER, M. Panel discussion: Education on conceptual modeling for simulation – Challenging the Art. In: Winter Simulation Conference, Proceedings... Baltimore, MD, USA, 2010.

VETTORE, Rebecca. **Brasil é o segundo maior fornecedor de pimenta-do-reino do mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.sucessonocampo.com.br/brasil-e-o-segundo-maior-fornecedor-de-pimenta-do-reino-do-mundo/>. Acesso em: 13 ago. 2022.

WANG, W.; BROOKS, R.J. Empirical investigations of conceptual modeling and the modeling process. In: Winter Simulation Conference, Proceedings... Washington, DC, USA. 2007.