



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Programa de Pós-graduação em Engenharia de
Alimentos



LORRANA MAGALHÃES MELO

**ANÁLISE, MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE
MASSA DE LINGUIÇA FRESCAL**

PATOS DE MINAS – MG

2024

LORRANA MAGALHÃES MELO

**ANÁLISE, MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO PRODUTIVO DE
MASSA DE LINGUIÇA FRESCAL**

Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia – Campus de Patos de Minas para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, da Faculdade de Engenharia Química, área de concentração de Desenvolvimento de Processos e Produtos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vivian Consuelo
Reolon Schmidt

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima

PATOS DE MINAS - MG

2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M528
2024 Melo, Lorrana Magalhães, 1998-
 ANÁLISE, MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO
 PRODUTIVO DE MASSA DE LINGUIÇA FRESCAL [recurso
 eletrônico] / Lorrana Magalhães Melo. - 2024.

Orientador: Vivian Consuelo Reolon Schmidt.

Coorientador: Marieli Lima.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia de Alimentos.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.32>

Inclui bibliografia.

1. Alimentos - Indústria. I. Schmidt, Vivian Consuelo
Reolon, 1980-, (Orient.). II. Lima, Marieli, 1985-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDU: 664

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos - Patos de Minas

Rua Vereador Chico Filgueira, 33, 3º andar, Sala 21 - Bairro Caiçaras, Patos de Minas-MG, CEP 38702-178
Telefone: (34) 3823-3714 - www.ppgea.feq.ufu.br - coordppgea@feq.ufu.br

**ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO**

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia de Alimentos				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico n. 1/2024 - PPGEA				
Data:	Quinze de janeiro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	15:40
Matrícula do Discente:	42122EAL008				
Nome do Discente:	Lorrana Magalhães Melo				
Título do Trabalho:	Análise, modelagem e simulação de um processo produtivo de massa de linguiça frescal				
Área de concentração:	Engenharia de Alimentos				
Linha de pesquisa:	Desenvolvimento de Processos e Produtos				

Reúne-se por webconferência (RNP) a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, assim composta: Vivian Consuelo Reolon Schmidt (Presidente - Orientadora), Danylo de Oliveira Silva (Membro UFU) e William Rodrigues dos Santos (Membro Externo).

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a discente, agradeceu a participação do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da mesma se deu em conformidade às normas do Programa.

A seguir, a senhora presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir a discente. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos legais, a Banca Examinadora, em sessão reservada, atribuiu o conceito final, considerando a discente:

Aprovada.

Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico integra os requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme será assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vivian Consuelo Reolon Schmidt, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/01/2024, às 15:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **William Rodrigues dos Santos, Usuário Externo**, em 15/01/2024, às 15:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Danylo de Oliveira Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/01/2024, às 15:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5099489** e o código CRC **B7B4FEB8**.

Referência: Processo nº 23117.002791/2024-86

SEI nº 5099489

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de certa forma para a realização deste estudo.

Primeiramente agradeço a Deus pela força durante todo o percurso na pós-graduação, por me permitir superar os desafios e alcançar meu objetivo.

À minha família, expresso minha gratidão pelo apoio incondicional. Aos meus amigos, agradeço o compartilhamento de momentos de alegria e apoio.

Agradeço especialmente à minha orientadora, Vivian, pela orientação, paciência, estímulo e confiança. Seu conhecimento e comprometimento foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientadora, Marieli, agradeço a contribuição e ideias valiosas, além da parceria e sugestões para enriquecer este trabalho.

Não posso deixar de expressar minha gratidão ao frigorífico do caso, que gentilmente permitiu que eu utilizasse seu espaço para desenvolver esse estudo. Agradeço o suporte e oportunidade.

Que este trabalho possa contribuir de forma positiva para o avanço do conhecimento em nossa área e inspire outros pesquisadores em suas jornadas acadêmicas.

Muito obrigada!

RESUMO

Os *softwares* de simulação computacional são ferramentas com potencial de auxiliar diretamente na linha produtiva de uma empresa. Podem ser aplicados para redução de gastos, melhoria constante e maximização de produção. O ponto positivo da simulação é modelar um processo produtivo mantendo um ambiente controlável, testando modificações e analisando resultados sem alterar a estrutura real do processo e o *software* ARENA se mostra uma boa ferramenta aliada. Neste trabalho, buscou-se identificar, simular e analisar os resultados de um processo produtivo de massa de linguiça frescal em um frigorífico de Minas Gerais. A identificação das variáveis do processo deu-se através de visitas *in loco* e a análise de tempo de ocupação de cada maquinário com o uso de cronômetro. Realizou-se a análise estatística com teste de qui-quadrado e a simulação do processo através da versão estudante do *software* ARENA. Com estas simulações foi possível definir cenários por meio dos gargalos. Na avaliação dos resultados, foi possível identificar que o maior gargalo existente na planta é o equipamento denominado misturador e que houve dois cenários que se adequaram à planta fabril, o primeiro contendo dois misturadores e o segundo contendo dois moedores, duas equipes de salmoura e dois misturadores. Esses cenários se adequaram melhor devido à potencial diminuição do tempo de espera das filas formadas nos equipamentos (de 30 minutos para 9 e 2 minutos, respectivamente) além de permitirem um tempo de operação mais leve para o equipamento e colaboradores (de 98,2% de ocupação para 59,3%). Assim, a utilização do *software* para simulação do processo foi de grande valia, identificando os gargalos industriais e simulando cenários com a produção mais alinhada.

Palavras-chave: ARENA, gargalos, dados, embutidos, frigorífico, *software*.

ABSTRACT

Computer simulation softwares are tools with the potential to directly assist a company's production line. They can be applied to reduce costs, constant improvement and maximize production. The positive point of simulation is modeling a production process while maintaining a controllable environment, testing modifications and analyzing results without changing the real structure of the process. In this work, we sought to identify, simulate and analyze the results of a production process for fresh sausage dough in a slaughterhouse in Minas Gerais. The identification of process variables took place through on-site visits and analysis of the occupation time of each piece of machinery using a stopwatch. Statistical analysis was carried out with the chi-square test and simulation of the process using the student version of the ARENA software; with the simulations, it was possible to define scenarios through the identified bottlenecks, working with a scenario with more equipment, for example. It was possible to identify that the biggest bottleneck in the plant is the equipment called mixer and that there were two scenarios that suited the manufacturing plant, the first containing two mixers and the second containing two grinders, two brine teams and two mixers. These scenarios were better suited due to the potential reduction in waiting time for queues formed at the equipment (from 30 minutes to 9 and 2 minutes, respectively) and guarantee a lighter operating time for the equipment and employees (98.2% of occupancy to 59.3%). Therefore, the use of software to simulate the process was of great value, identifying industrial bottlenecks and simulating scenarios with more aligned production.

Keywords: ARENA, bottlenecks, data, sausages, slaughterhouse, software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abate de suínos por trimestre 2017 a 2022.	14
Figura 2 - Processo produtivo de linguiça frescal.	17
Figura 3 - Passo a passo para aplicação de <i>software</i>	22
Figura 4 - Componentes de um sistema de simulação.	25
Figura 5 - Área de trabalho do <i>software</i> Arena.	26
Figura 6 - Processo produtivo interno da Massa de linguiça frescal.	31
Figura 7 - Representação esquemática da área de preparo de massas.	35
Figura 8 - Inserção de dados bloco process do quebra-blocos.	40
Figura 9 - Monitoramento da simulação em andamento	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de paradas primeiro turno.	37
Tabela 2 - Distribuições da análise estatística.	43
Tabela 3 - Simulação do processo existente e dos diferentes cenários estudados.	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Mercado da carne suína	13
3.2 Produtos embutidos.....	15
3.3 Processamento da linguiça frescal	16
3.3.1 Ingredientes.....	17
3.3.2 Agentes de Cura	18
3.3.3 Envoltórios.....	19
3.4 Gargalos industriais	20
3.5 Softwares.....	22
3.5.1 Modelagem.....	23
3.5.2 Simulação.....	23
3.5.3 Otimização	25
3.6 Software Arena	26
3.7 Distribuição estatística.....	27
3.8 Modelagem e simulação na Indústria de Alimentos utilizando o <i>software</i> Arena.....	28
4 METODOLOGIA.....	30
4.1 Descrição do local do experimento	30
4.2 Descrição do processo produtivo.....	30
4.3 Análise do problema	33
4.4 Coleta de dados.....	33
4.4.1 <i>Layout</i> dos equipamentos e maquinários	34
4.4.2 Disposição de colaboradores	36
4.4.3 Tempo de trabalho e paradas	37
4.4.4 Tempo de utilização de equipamentos	38
4.5 Tratamento e análise de dados	38
4.6 Simulação	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Simulação e avaliação das condições de processo existente da linguiça frescal na indústria.....	44
5.2 Cenário 1 – Simulação retirando um moedor da planta.....	47
5.3 Cenário 2 – Simulação com dois misturadores.....	48
5.4 Cenário 3 – Simulação com dois misturadores e duas equipes de salmoura.....	49
5.5 Cenário 4 – Simulação com menor tempo de entrada da Salmoura.	49
5.6 Cenário 5 – Simulação conta com dois moedores, dois misturadores e duas equipes de salmoura.	50
5.7 Discussão com a literatura .	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53

REFERÊNCIAS	55
APÊNDICE A – TEMPO DE UTILIZAÇÃO DOS MAQUINÁRIOS	64

1 INTRODUÇÃO

A carne é um alimento de grande importância na dieta humana. Além de rica fonte em proteínas, vitaminas e minerais, o seu consumo é essencial para o desenvolvimento humano. A carne é mundialmente consumida, além de atualmente, ser um alimento básico na mesa do ser humano. Desde os primórdios há indícios do consumo da carne pelos humanos, sendo esse um costume que se expandiu (HÖTZEL; VANDRESEN, 2022).

Na antiguidade, a carne era conservada através da salga, defumação, secagem ao ar livre ou apenas na gordura do próprio animal. A produção da carne era basicamente familiar e sua compra era dada através de barganhas. Com o passar do tempo é evidenciada a necessidade de maiores centros de vendas e de regras para abate (BERTOL, 2019).

Com isso, criaram-se os açougues e, com o aumento da demanda, tornou-se necessário o melhoramento da produção em aspectos como: tempo de produção, qualidade do produto, melhor armazenamento e segurança de alimentos. Assim, surgem os mercados abatedouros/frigoríficos certificados. A partir de então, a inovação tecnológica e a preservação do alimento são fontes de estudos para melhoramento progressivo (FERREIRA; FONTGALLAND, 2021).

Um dos benefícios dos avanços tecnológicos é a produção dos derivados cárneos. Esses produtos são obtidos a partir da carne fresca que sofre um ou mais tipos de processo. Nesse sentido, os produtos derivados mais comuns são: embutidos, cozidos, defumados e salgados. Esse processamento na carne *in natura* visa a redução da perecibilidade, melhor armazenamento e transporte, aumento de vida de prateleira além da elaboração de novos produtos (EMBRAPA, 2022).

O processamento de derivados cárneos é destacado pela agregação de aditivos químicos que contribuem para a conservação e atribuem características sensoriais como cor, sabor e aroma ao alimento. Dos derivados cárneos, os embutidos são os mais populares, e nessa classe destaca-se a linguiça frescal que é de sabor marcante, grande praticidade no preparo e adaptabilidade nas refeições (TABANELLI *et al.*, 2022).

Para a indústria, a linguiça frescal também é uma ótima fonte de consumo de matérias-primas, utilizando os cortes cárneos secundários (que não são destinados a venda direta). O processamento da linguiça é simples, baseado em moagem e homogeneização dos ingredientes usados, que são: carne, gordura e aditivos químicos (VALIATTI *et al.*, 2021).

Segundo Reniers; Herdewel; Wybo (2013) planejar um fluxo e estabelecê-lo é essencial para uma produção equilibrada. Dentro de uma área composta por inúmeros procedimentos dependentes um do outro, é imprescindível avaliar e melhorar o fluxo de processos para que não haja desperdícios, desvios e perda de matéria-prima e/ou produto.

Diante a ampliação das opções digitais e necessidade de estudo de fluxos, houve um aumento considerável no uso de *softwares* como ferramentas de modelagem e simulação. Esses *softwares* destacam-se devido a sua alta confiabilidade e podem ser usados em domínios industriais diversificados (VUKOVIC; COLLISCHON; FRANKE, 2021).

Com essas ferramentas de modelagem e simulação é possível identificar problemas, eliminar gargalos industriais, prever fluxos e rotas alternativas, fazer controle de estoque e paradas, auxiliar na melhor disposição de *layout*, mão-de-obra, quantidade de maquinário e tempo utilizado (VILLANI *et al.*, 2019). Além disso, esses modelos são utilizados para compreender melhor os processos produtivos, ou seja, é uma forma para adequar uma linha de baixa produtividade sendo estudada através de dados com fluxo análogo ao da linha real “*in loco*” (ANGIZEH *et al.*, 2020).

Segundo Gonçalves (2014), existe uma vasta variedade de *softwares* utilizados como ferramentas para modelagem e simulação de eventos discretos, cada um podendo variar em recursos e ferramentas disponíveis.

Dentre esses *softwares* tem-se o FlexSim, que segundo Orozco (2018), permite a avaliação da produção fabril, monitorando tempo de ocupação, inatividade e distâncias percorridas. Outro *software* que pode atender às indústrias é o Arena, segundo Nobrega (2018), pois possui um ambiente gráfico podendo criar corretamente o fluxo de processos, além de contar com uma interface de distribuição estatística e análise de ocupação dos equipamentos.

Nota-se que a literatura sobre aplicabilidade do *software* Arena como ferramenta de processo em indústria cárnea é escassa. Diante disso, esse trabalho

visa utilizar a ferramenta para estudo, modelagem, simulação e possível melhoria de processo produtivo de linguiças frescas aplicado em um frigorífico na região do Alto Paranaíba.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a produtividade do processo de preparação de massa da linguiça frescal, utilizando-se assim de análise de dados como tempo, arranjo de colaboradores e *layout* de equipamentos de um frigorífico em Minas Gerais utilizando o *software* ARENA para modelagem e simulação.

2.2 Objetivos específicos

- Explorar os recursos de análise estatística por meio do teste de qui-quadrado e de resultados do *software* Arena e utilizá-lo no estudo para simulação da área de preparação da massa de linguiça frescal.
- Mapear e identificar gargalos na linha de produção de massa para linguiça frescal na empresa em estudo.
- Propor melhorias no processo produtivo de massa para linguiça frescal na empresa em estudo, a partir dos resultados obtidos diante das simulações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mercado da carne suína

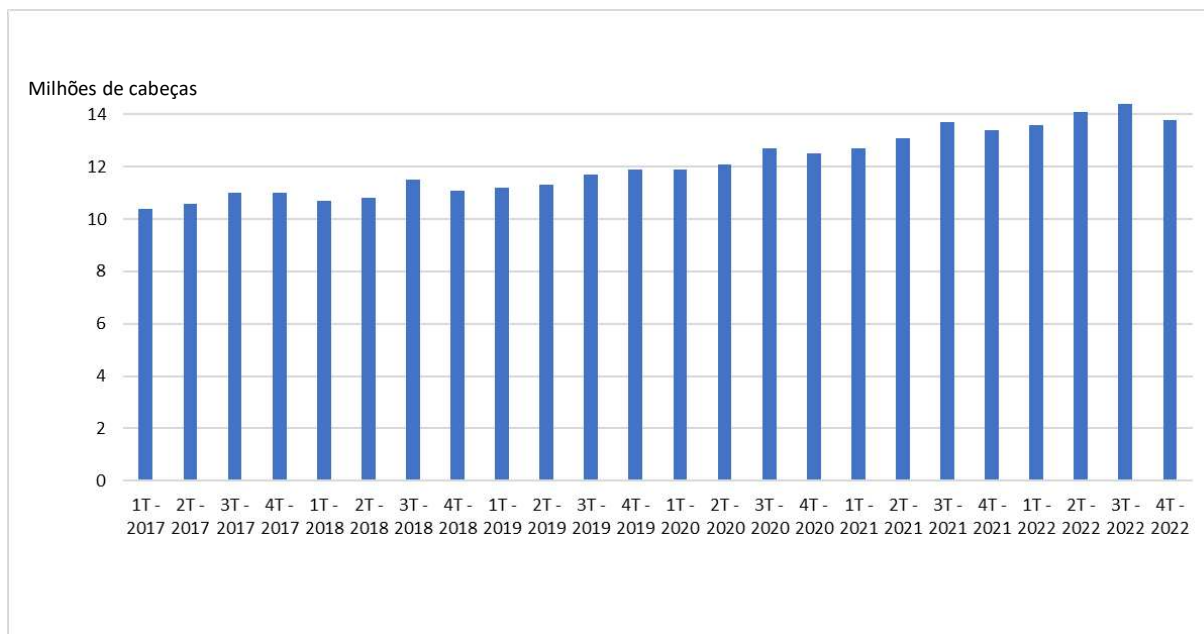
A carne suína é diversificada em nutrientes como: proteínas, vitaminas, principalmente do complexo B e minerais (fósforo, potássio, selênio e ferro). Sua composição química pode variar de acordo com espécie, raça, sexo, idade e estado nutricional do animal abatido, e a composição biológica é de cerca de 72% de água, 20% de proteína, 7% de gordura e 1% de minerais, sendo então considerada uma ótima fonte para consumo e desenvolvimento humano (SANCHEZ *et al.*, 2022).

Apesar da carne suína não agradar a todos os paladares devido ao seu sabor marcante, ela é considerada uma das mais consumidas mundialmente. O consumo de carne suína pode sofrer alterações em suas características de acordo com a cultura de cada local (país/região), por exemplo, em alguns países a grande preferência são os miúdos suínos, tem-se também países que utilizam mais a carne gorda, ainda assim, existem países cuja predominância de consumo são os subprodutos da carne suína, por exemplo, produtos embutidos (ALVES, 2019).

A produção de carne suína para consumo no Brasil pode ser marcada por duas fases: a primeira (até meados dos anos 70), em que o animal era criado em pequenas propriedades rurais, com sistemas tradicionais ao ar livre e dieta composta por produtos disponíveis localmente, sem muitos avanços genéticos, o suíno era produzido artesanalmente para banha. No panorama atual, a produção é em larga escala e com alta tecnologia, os suínos são criados em instalações fechadas com todas as normas de bem-estar animal, se alimentam de rações e têm sua dieta balanceada de acordo com as necessidades nutricionais. Além disso, a tecnologia aplicada à genética contribuiu para que características específicas fossem melhoradas, como qualidade da carne, taxa de crescimento e resistência a doenças, uma vez que a produção atual visa o consumo e industrialização da carne (DE AMORIM, 2021).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2022 obteve-se recorde em abate de suínos, como mostrado na Figura 1. Foram abatidas mais 14 milhões de cabeças de suínos, 7,2% a mais que o mesmo período do ano de 2021.

Figura 1 - Abate de suínos por trimestre 2017 a 2022.



Fonte: Adaptado de IBGE (2022).

A indústria da carne suína no Brasil é de grande importância para o setor econômico. Com uma produção de cerca de 4,3 milhões de toneladas, o Brasil, se torna o quarto maior país produtor desse alimento. Os estados que mais abatem suínos são: Santa Catarina (32,3%), Rio Grande do Sul (20,4%), Paraná (19,2%), Minas Gerais (9,4%) e Mato Grosso (6,3%). Dessa produção total, 77,5% são destinados para mercado interno e 22,5% para exportações (ABPA, 2022).

O consumo interno *per capita* de carne suína é em média 18,0 Kg, sendo assim, o Brasil é o quarto país mais consumidor desse alimento. Enquanto em exportação, o país é um dos principais exportadores de carne suína, com cerca de 1,3 milhões de toneladas enviadas ao exterior, principalmente para: China, Hong Kong, Filipinas, Argentina e Cingapura. A carne suína brasileira é exportada em forma de: cortes (91,5%), miúdos (6,8%), industrializados (0,6%), carcaças (0,4%) e o restante em tripas, cerdas e gorduras (ABPA, 2022).

Atualmente, a industrialização da carne suína é uma alternativa para quem procura produtos de fácil preparo e com vida de prateleira longa. Os produtos conhecidos como industrializados são aqueles que sofreram um ou mais tipos de processamento em sua fabricação, como: cozimento, defumação, salga, adição de condimentos, entre outros (EMBRAPA, 2022).

A industrialização visa a elaboração de novos produtos, a redução da perecibilidade e a utilização do suíno como um todo, ou seja, a utilização de cortes que não são interessantes para consumo *in natura*. A industrialização é realizada mudando e atribuindo características sensoriais como: cor, sabor e aroma, assim, agregando valor ao produto. Produtos industrializados constituem 70% da forma de consumo da carne suína, dentre essas, a principal é a linguiça frescal, um produto embutido (COLOMBO; BACHINI; SILVA, 2016).

3.2 Produtos embutidos

Os embutidos foram trazidos para o Brasil por imigrantes italianos e alemães no final do século XIX, com a proposta de produtos com maior tempo de conservação e sabores diferentes, uma vez que temperos diversos são associados à carne. Com o passar dos anos e com a busca pela praticidade devido ao estilo de vida cada vez mais acelerado, as pessoas passam a consumir alimentos embutidos devido a seu fácil preparo (VALIATTI *et al.*, 2021).

O artigo 288 do decreto nº 9.013 de 29 de março de 2017 do RIISPOA (Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal) traz que:

“embutidos são os produtos cárneos elaborados com carne ou com órgãos comestíveis, curados ou não, condimentados, cozidos ou não, defumados e dessecados ou não, tendo como envoltório a tripa, a bexiga ou outra membrana animal”, em seu primeiro parágrafo está descrito que: as tripas e as membranas animais empregadas como envoltórios devem estar rigorosamente limpas e sofrer outra lavagem sendo obrigatório o uso de envoltórios limpos e sendo permitido o uso de envoltórios artificiais” (BRASIL, 2017).

Segundo (BENEVIDES; NASSU, 2021) existem diversos tipos de embutidos, com diferentes teores de umidade variando de secos aos frescos. Eles podem ser curados, fermentados, cozidos e emulsionados, com característico sabor, aroma e entre outros atributos. Produtos frescos são de rápido consumo, obtidos a partir da carne crua. Outros embutidos são crus e secos, como os salames. Salsichas e mortadelas são produtos emulsionados e cozidos, ou seja, sofrem tratamento térmico e têm sua estabilidade aumentada.

Além da fabricação de produtos cárneos embutidos ocupar parte importante na economia da indústria alimentícia, o processamento é uma transformação do alimento, capaz de oferecer uma ampla diversidade de alimentos e sabores aos consumidores. Devido a isso, estes produtos são fiscalizados e regularizados através de inspeções para garantir a qualidade e formulação correta do produto para consumo humano (MIRANDA *et al.*, 2022).

3.3 Processamento da linguiça frescal

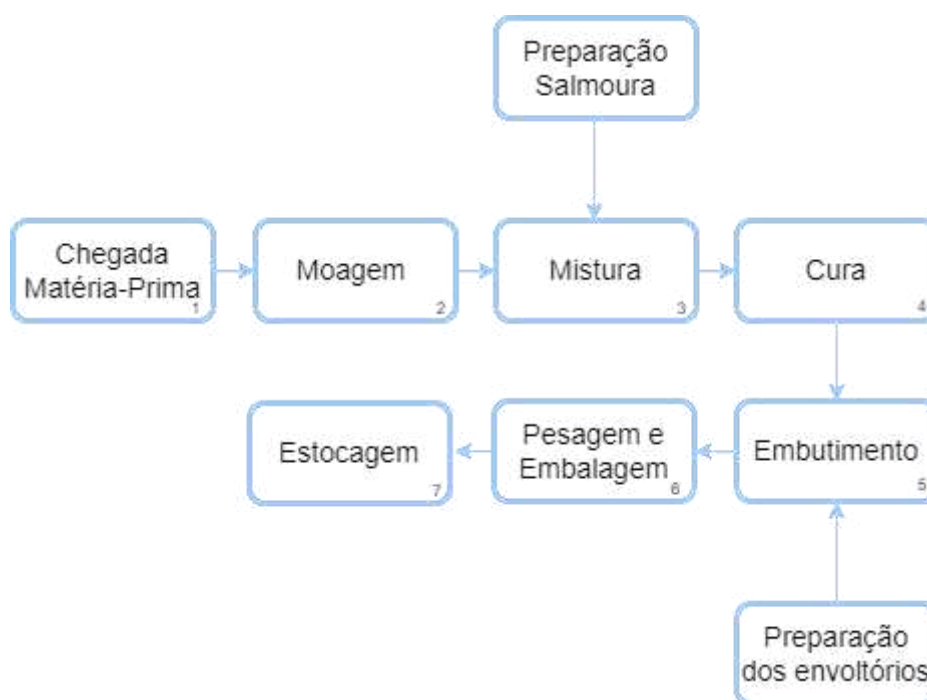
A produção de linguiças tem destaque nas indústrias, pois elas apresentam grande aceitação pelos consumidores. Isso se deve ao seu valor, que geralmente é mais baixo que outros cortes, e sua praticidade. Além disso, é uma opção de reaproveitamento para as empresas, pois utilizam de cortes que não são diretamente vendidos, como, peças mais gordurosas, como o toucinho (VALIATTI *et al.*, 2021).

O Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade da Linguiça – RTIQ nº4 de 31/03/2000, em seu Anexo III, define linguiça, como:

“produto cárneo industrializado, obtido de carnes de animais de açougue, adicionados ou não de tecidos adiposos, ingredientes, embutido em envoltório natural ou artificial, e submetido ao processo tecnológico adequado”, é classificada de acordo com o nível de tecnologia de fabricação e pode ser tratada como: produto fresco; produto seco, curado e/ou maturado; produto cozido e outros (BRASIL, 2000).”

Segundo o estudo de Šojic *et al.* (2019) o termo frescal é devido à adição de agentes de cura e por não receber nenhum tratamento térmico. A linguiça pode ser produzida de forma artesanal ou industrial e sua produção é relativamente simples, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da produção de linguiça.



Fonte: Adaptado de Lopes *et al.* (2022).

O início do processo produtivo da linguiça frescal é a chegada de matéria-prima (carnes e gordura) ao setor de produção. Logo, inicia-se a moagem dessa matéria-prima. Após a moagem, ocorre a mistura e nessa etapa são adicionados também a salmoura com condimentos e temperos; o resultado dessa etapa já é a massa da linguiça, que segue para a cura. Ocorre então o embutimento, que consiste em introduzir a massa dentro do envoltório, sendo natural (tripa) ou artificial. Posterior ao embutimento é realizada a pesagem do produto e seu processo de embalagem. Após toda embalagem estar pronta, o produto segue para estocagem e posterior comercialização (FRAQUEZA *et al.*, 2019; LOPES *et al.*, 2022).

3.3.1 Ingredientes

A seleção dos ingredientes é um dos passos mais importantes, visto que interfere-se diretamente na qualidade do produto. De acordo com o RTIQ nº 4 (BRASIL, 2023), o produto tem como ingrediente obrigatório a carne e o sal; e de ingredientes opcionais, têm-se: gordura, água, proteína vegetal e/ou animal,

açúcares, plasma, aromas, especiarias e condimentos. Permite-se ainda a adição de proteínas não-cárnea, no teor máximo de 2,5% como agregada.

Para conferir melhor sabor e maciez pode-se misturar tipos de carnes, por exemplo, recortes magros (o qual deve conter 80% de carne e 20% de gordura) e/ou gordos (o qual é separado em gordura firme que é proveniente do toucinho da paleta, lombo e pernil; e gordura mole, proveniente do refile de outros cortes), respeitando o limite máximo de 30% de gordura, e 12% no mínimo de proteína (BRASIL, 2000).

Segundo Marcinkowska-Lesiak *et al.* (2022) a carne recém abatida não é utilizada devido à quantidade de água ainda presente, por isso, deve-se realizar o resfriamento da matéria-prima.

Já as especiarias podem ser adicionadas a fim de dar alguma característica particular ao produto, seja paladar ou aroma, por exemplo: ervas, pimentas, extratos ou pastas com sabor. Essas especiarias podem ser encontradas frescas, secas, inteiras ou esmagadas, pasta ou extrato (SIQUEIRA, 2020).

3.3.2 Agentes de Cura

A cura é uma etapa que tem como objetivo deixar a massa descansar para ativação dos agentes de cura inseridos na massa e melhor retenção de água, conferindo as qualidades sensoriais necessárias e dando mais firmeza ao produto (SANTOS, 2022).

Os agentes de cura têm papel fundamental na fabricação de linguiças, eles são compostos químicos adicionados durante o processo de fabricação afim de prologar a vida útil do produto, aprimorar características sensoriais e melhorar segurança de alimentos (RAGHIANTE *et al.*, 2016).

Um dos agentes de cura mais utilizado é o sal, que auxilia na capacidade de ligações químicas entre a água e a emulsão das proteínas da carne. Além disso, tem como característica melhorar o sabor e preservar o produto de ações microbianas (SIQUEIRA, 2020).

O açúcar é utilizado para neutralização do sabor amargo que o sal pode deixar, além disso, também influencia na redução do pH, pois é fermentado e convertido em ácido láctico por bactérias presentes no produto. As fontes de açúcar

podem ser diversas, como: sacarose, açúcar mascavo, dextrose ou xarope de milho (MARTINS, 2021).

Os agentes redutores, como o ácido ascórbico, reagem com o nitrito para que o processo de cura ocorra mais rapidamente. Os antioxidantes como BHT (hidroxitolueno butilado) protegem o sabor e evitam a rancificação. A água e o gelo, são adicionados para ajudar a distribuir os ingredientes não-cárneos e aumentar o rendimento de produção, com esse papel também pode ser adicionada a proteína de soja (CORREIA, 2020). Além disso, o gelo tem como objetivo dissolver os ingredientes não cárneos, permitir que a massa fique em temperaturas baixas e contribui para o embutimento (CORREIA, 2020).

Os nitritos e nitratos são também conhecidos como sais de cura. Esses são utilizados para preservar, ou seja, reduzir o desenvolvimento microbiano e ainda são responsáveis pelo processo de cura da carne. A cura tem o papel de estabilizar a cor, de desenvolvimento do aroma, da textura e sabor característico, de inibir o crescimento de bactérias, principalmente *C. botulinum* e de retardar a rancificação (FURLAN *et al.*, 2020). Segundo a Instrução Normativa nº211 de 01 de março de 2023, os sais de cura têm limites máximos de uso devido ao seu potencial carcinogênico, que são: para Nitrito de sódio (0,015g/100g de produto) e para Nitrato de sódio (0,03g/100g de produto) (BRASIL, 2023).

Entretanto, os agentes de cura também possuem desvantagens, por exemplo, o excesso de nitritos e nitratos vinculado ao aquecimento, podem formar compostos nitrosaminos que têm alto potencial cancerígeno. Além disso, o consumo excessivo pode acarretar dependência e doenças como hipertensão (SERÔDIO, 2022).

3.3.3 Envoltórios

Envoltório é o material que envolve o enchimento de produtos embutidos, como a linguiça, ele pode ser natural ou artificial. O envoltório natural pode interferir diretamente na padronização do produto, uma vez que nem todos os envoltórios são do mesmo calibre; seu manuseio é mais delicado e pode ser um potencial fonte de contaminação microbiana, por outro lado, pode proporcionar aparência melhor, textura mais macia e sabor mais tradicional, além disso, os envoltórios podem ser preparados pelo próprio frigorífico (GUNN *et al.*, 2022).

Já o envoltório artificial pode garantir uma maior padronização e ter uma maior facilidade no uso, porém, a aparência e textura ficam também artificiais, pode modificar o sabor devido à permeabilidade de ar e em algumas vezes, terem textura plástica, além disso, os envoltórios sintéticos possuem um valor mais agregado (SUURS; BARBUT, 2020).

O processamento da linguiça frescal é considerado simples, porém sempre pode ser aprimorado. Assim, novos fluxos e tempos de paradas podem ser testados para aumentar ainda mais o rendimento dentro da fábrica. Além disso, novas formulações vêm sendo testadas no Brasil e no mundo com a perspectiva de usar menos aditivos químicos nas formulações de linguiça frescal (BENEDICTI; SANTOS; DROVAL, 2018).

3.4 Gargalos industriais

Um gargalo industrial pode ser definido por: recurso, máquina, equipamento ou centro de trabalho mais sobrecarregado ou responsável por uma etapa lenta no processo produtivo. Os gargalos também podem ser chamados de pontos de estrangulamento ou limitações (WANG *et al.*, 2016).

Os gargalos podem ter várias motivações, sendo, as mais comuns apresentadas na sequência.

- Capacidade de produção: ocorre quando a demanda excede a capacidade de fabricação. É um dos gargalos mais comuns e é resolvido com expansão de instalações e aumento de linha de produção.
- Logística: ocorre com a entrega de insumos em atraso, pode ser por logística ou uma má gestão de estoque. Para resolução é necessário gestão de cadeia de suprimentos desde a compra até a entrega.
- Falhas espontâneas: falhas ocorrem inevitavelmente em qualquer processo produtivo maquinado, sendo elas dos mais diversos tipos (por exemplo, quebra de peças, ou insuficiência energética) e ocorrendo, para-se a linha produtiva para repor o mais rápido possível tal maquinário.

Quanto mais influência o gargalo tem sobre o sistema, mais significativo ele é, pois pode acarretar problemas nas linhas subsequentes, como: limitações de

produção, paradas indesejadas, velocidade de produção, entre outros. Muitas vezes os gargalos são rotineiros, sendo discretos e dinâmicos, ou seja, são pequenos, porém ocasionam um atraso no maquinário ou linha posterior, porém são persistentes no processo e ao longo da escala produtiva podem restringir a produtividade (LAI *et al.*, 2021).

Os gargalos podem ser classificados em três tipos: estruturais, de planejamento ou de execução. Os gargalos estruturais são, por exemplo, uma máquina que impede o desempenho do sistema, é um gargalo estável e de fácil detecção; os gargalos de planejamento estão ligados principalmente à capacidade e podem mudar com demandas e períodos; já o gargalo de execução é específico do cronograma e representa uma máquina que desempenha o papel mais importante no sistema, esse tipo de gargalo é o mais preciso e mais difícil de eliminar (WANG *et al.*, 2016).

Para a eliminação desses gargalos com sucesso, os profissionais precisam analisá-los repetidas vezes, em diferentes prazos para planejar e executar alguma ação. Em se tratando de chão de fábrica, isso continua prejudicando a produtividade. Existem alguns métodos para analisar esses gargalos, por exemplo: analisar entrada de matéria e saída de produto, mapeamento de processo e identificar problemas e suas causas. Os *softwares* surgem de forma simples e rápida realizar todos esses passos, ou seja, realizar a simulação do processo real, sem impactar a linha produtiva (SUBRAMANIYAN *et al.*, 2021).

A identificação antecipada e eficaz de gargalos fornece uma tomada de decisão essencial para alocação e resolução dos problemas, ou seja, a detecção é a chave para redução de danos pelo gargalo. Essa detecção pode ocorrer através de observações diretas ou indiretas e de consultorias. Gerentes, supervisores, líderes e os próprios colaboradores são responsáveis por alinhar e demonstrar esses gargalos (ROSER; LORENTZEN; DEUSE, 2014).

Na indústria de alimentos os maiores gargalos relatados por (SARKAR *et al.*, 2022) são: restrição ao processo, ou seja, a não linearidade e processos descontínuos; o transporte e distribuição, seja de matéria-prima, produtos de estoque ou do produto acabado e a segurança dos alimentos e qualidade por depender de fatores externos, como boas práticas de fabricação.

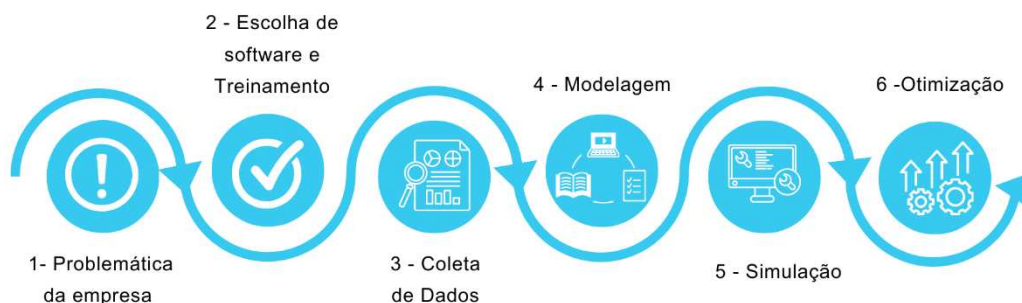
3.5 Softwares

A ciência e a engenharia seguem em constante evolução, ligadas diretamente a indústria, que afirma a importância da utilização da tecnologia a favor da indústria. A interação homem e máquina nas indústrias é uma realidade; devido ao acesso à tecnologia e crescente melhoria, com isso, crescem as exigências de mercado como: segurança, qualidade de produto, colaboração com meio ambiente; e exigências internas como processos mais rápidos e maior volume de produção (PERNO; HVAM; HAUG, 2022).

Nesse contexto destaca-se o uso de *softwares* para modelagens do processo interno, simulação e uma posterior e otimização. Os *softwares* podem ser utilizados para controlar custos, estoque, consumo de energia, produtividade e muito mais (MADOUMIER *et al.*, 2019).

Para que um *software* tenha sucesso em sua aplicação, tem-se alguns passos a serem seguidos como é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Passo a passo para aplicação de *software*.



Fonte: Adaptado de Beltério (2020).

Analisando o passo a passo da figura anterior, tem-se o seguinte panorama: o primeiro passo é a problematização da empresa, ou seja, identificar quais são os problemas e gargalos do ciclo que interferem na linha produtiva. O segundo passo é a busca e contratação de um *software*, que deve atender a todos os requisitos propostos na problematização que a empresa tem, ou seja, contratar o *software* de acordo com a realidade e assim aplicar treinamentos para a área estratégica e gerências. O terceiro passo é a coleta de dados, que pode ser uma das partes mais delicadas e demoradas de um estudo, pois requer avaliações minuciosas das

variáveis utilizadas no ciclo de produção. O quarto passo, já trabalhando de forma computacional, é a modelagem, em que se recria todo o ambiente produtivo na área de trabalho do *software*, alimentando-o com os dados coletados *in loco*. Após a modelagem, segue-se para a simulação, em que o *software* desempenha o papel de rodar horas de trabalho e criar ações de falhas e paradas do dia a dia. Nessa etapa, o operador do *software* pode fazer alterações para avaliar como a linha produtiva comporta-se frente a cada situação. Essa etapa pode ser repetida quantas vezes forem necessárias até chegar a uma resposta ótima para os problemas existentes. A otimização é a última etapa de todo esse processo, e consiste no resultado de tudo que foi feito anteriormente, ou seja, os dados encontrados na simulação (se for opção da empresa) são executados no chão de fábrica, implementando no sistema real (BELTÉRIO, 2020).

Como apresentado anteriormente, as etapas mais importantes de um processo que envolvem os *softwares* são: a modelagem, a simulação e a otimização.

3.5.1 Modelagem

A modelagem é um método utilizado para auxiliar na visualização de processos e fluxos de trabalho, *layout* da planta fabril, tempos de trabalho, custos, ciclos, responsabilidades. De certa forma, a modelagem de processos, juntamente com uma base sólida de dados, permite representar de uma forma visual o que ocorre dentro do chão de fábrica permitindo que ocorram simulações e alterações sem interferir na planta (ERDOGDU, 2023).

3.5.2 Simulação

A simulação consiste na reprodução do comportamento de processos reais realizado através da modelagem, assim, resultando nas melhores saídas de possíveis problemas, gargalos ou estrangulamentos do processo. A simulação possibilita a obtenção de previsões sobre o comportamento do sistema diante de cada mudança realizada dentro do escopo da simulação, ou seja, fazendo qualquer

pequena mudança pode-se chegar em um diferente resultado. Além disso, na simulação é possível visualizar vários cenários (NOBREGA, 2018).

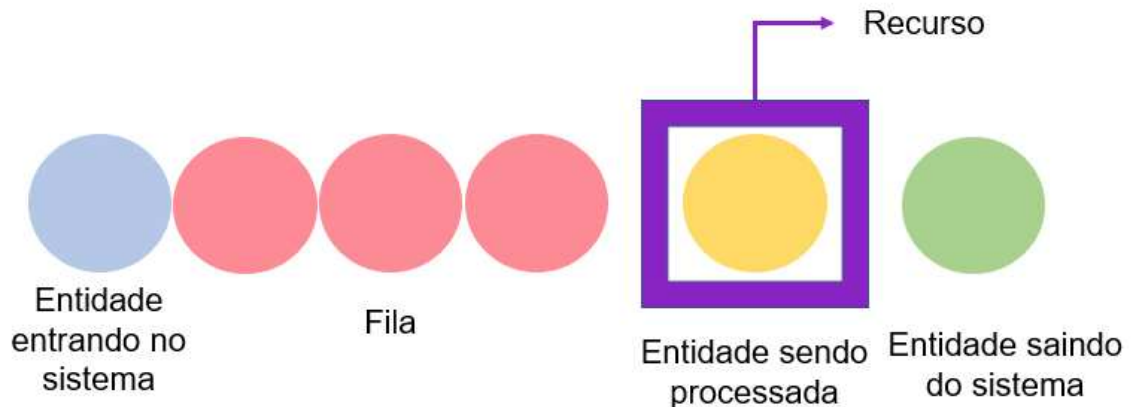
A simulação pode ser contínua, quando se utiliza equações diferenciais para mudanças ao longo do tempo nas variáveis ou, podem ser de eventos discretos, quando é utilizada a fim de modelar sistemas que mudam seu estado em pontos discretos de tempo, a partir de fatores dos eventos (CHWIF; MEDINA, 2006).

Um modelo de simulação contém três componentes principais: entidades, filas e recursos. Além disso, conta-se com as variáveis de estado, atributos, tempo de simulação e eventos. Segundo Quintão *et al.* (2021), esses componentes podem ser entendidos conforme as características apresentadas na sequência.

- Entidades: representam o objeto que entra no sistema para ser processado pelo recurso. Ex.: pessoas, carros, matéria-prima.
- Recurso: é considerado o fornecedor de serviço ou quem vai processar a entidade. Ex.: caixa de supermercado, equipe de limpeza, operador de máquina, equipamento.
- Filas: quando um recurso está ocupado (em processamento) ocorre o surgimento de filas de entidades para aguardar o atendimento.
- Variáveis de estado: fornecem as informações do que está acontecendo no sistema. Ex.: quantidade de pessoas que entram em um supermercado em uma hora.
- Atributos: caracterizam as entidades. Ex.: Uma máquina com capacidade de 200 Kg.
- Tempo de simulação: refere-se ao tempo admitido no sistema. Posso simular os turnos reais ou por horas seguidas.
- Eventos: são acontecimentos (programados ou não) que provocam alteração no sistema. Ex.: falhas de maquinário, paradas e intervalos.

Na Figura 4 representam-se as entidades entrando no sistema, aguardando na fila, ocupando o recurso e saindo do mesmo.

Figura 4 - Componentes de um sistema de simulação.



Fonte: Adaptado de Figueirêdo (2021).

O círculo azul representa a entidade entrando no sistema, que está livre e pode percorrer o sistema todo assim, geralmente isso ocorre com as primeiras entidades do sistema. O círculo vermelho representa as entidades em fila, ou seja, é quando elas entram no sistema, porém o processo está ocupado, então forma-se a fila para aguardar a liberação do recurso e realizar o processamento. Representando o recurso foi colocado o quadrado roxo; o recurso é o operador responsável por realizar o processo e o círculo amarelo dentro do recurso representa a entidade em processamento. O círculo verde representa a entidade após o processamento, sendo liberada do sistema (FIGUEIRÊDO, 2021).

3.5.3 Otimização

Otimizar significa melhorar, aperfeiçoar, e tem como objetivo criar condições favoráveis para determinado processo, ou seja, aumentar a eficiência produtiva por meio de intervenção em alguma etapa (RAMOS DA SILVA *et al.*, 2019).

A otimização é o resultado de um estudo de caso contendo modelagem e simulação do processo produtivo, os maiores benefícios, são: melhoria na segurança do processo, redução de custos, redução de falhas, maior produtividade, ajuste de fluxos e menor desperdício (ARAUJO, 2019).

A otimização pode ser uma etapa delicada pois geralmente necessita de maiores investimentos (com compra de novos maquinários, por exemplo), cabendo

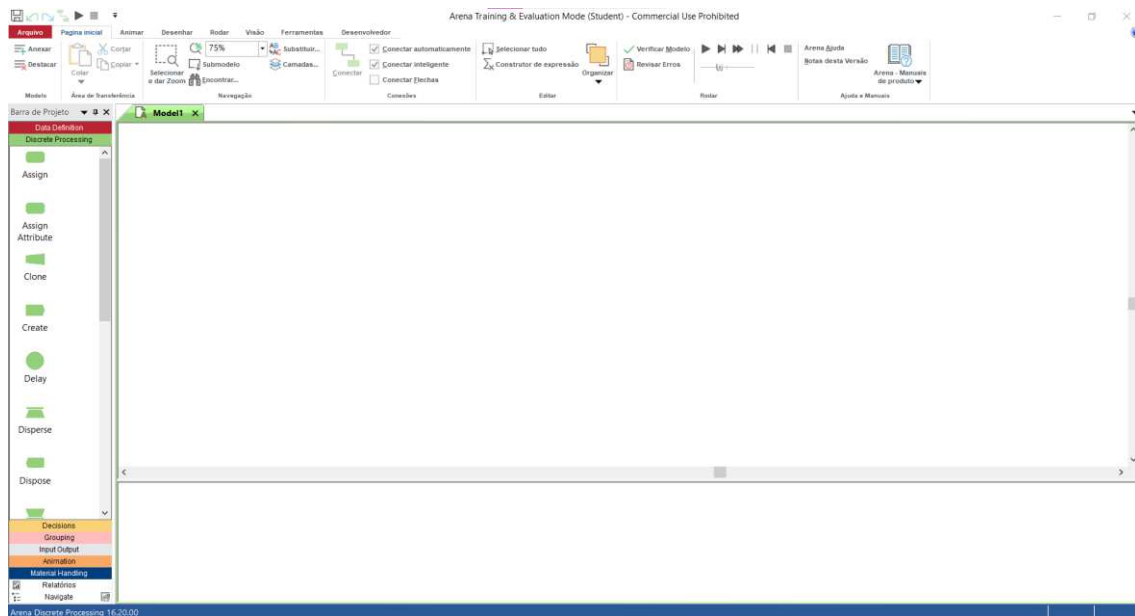
assim à empresa fazer as decisões observando os prós e contras que a otimização traz (VILLANI *et al.*, 2019).

3.6 Software Arena

O Arena é um *software* de simulação com linguagem simples, que pode ser utilizado para testar modelos e apresentar resultados através de recursos gráficos e de animação (ALVES; HERCULANI, 2018).

O *software* Arena combina a facilidade com a flexibilidade das linguagens de simulação, fornecendo recursos para modelagem. Ele conta com uma área de trabalho (Figura 5) composta por um sistema de análise de variância e análise estatística (*Input analyzer*), *template* de modelagem, simulação gráfica, animação dinâmica e análise dos resultados de processos em geral (VIEIRA; MENDES; ANDRADE, 2020).

Figura 5 - Área de trabalho do *software* Arena.



Fonte: A autora, 2024.

O *software* Arena é dotado de ferramentas estatísticas, fornecendo uma interface completa para realizar as análises de dados e análises de resultados. Para isso o operador do *software* conta com o *Input analyzer* (BELTÉRIO, 2020).

O *Input analyzer* é um esquema probabilístico que utiliza de testes de distribuição estatística como aderência de Qui-quadrado e Kolmogorov-Smirnov. Além disso, permite o cálculo do erro quadrado, com objetivo de verificar se os dados aderem a algum tipo de curva probabilística, são elas: Normal, Exponencial, Triangular, Beta, Lognormal (FIGUEIRÊDO, 2021).

Quando se tem um esquema muito grande de amostras de um certo dado (para entidades ou recurso) e elas não são tratadas como constante, é possível utilizar o *Input analyzer* e verificar em qual tipo de curva aquelas amostras mais se identificam e depois utilizá-las dentro dos blocos corretos. Essa ferramenta é utilizada como tratamento de dados gerando um histograma com a curva mais adequada (BELTÉRIO, 2020).

3.7 Distribuição estatística

O livro de Azevedo (2016) traz que a distribuição estatística mostra como os dados se comportam diante um certo campo, ou seja, ela mostra quais dados são comuns ou não.

Existem inúmeros tipos de distribuição estatística utilizadas para descrever diferentes tipos de fenômenos em estatística e probabilidade, como aquelas citadas na sequência.

- Distribuição Uniforme: caracterizada por atribuir a mesma probabilidade para todas as variáveis dentro de um intervalo.
- Distribuição Normal: caracterizada por uma curva tipo sino, essa curva é descrita pela média e desvio padrão. Se tornando simétrica em torno da média.
- Distribuição de *Poisson*: caracterizada por modelar o número de eventos que ocorrem em um intervalo de tempo específico.
- Distribuição Exponencial: é uma distribuição contínua que descreve o tempo dos eventos de uma distribuição Poisson. Geralmente utilizada para determinar tempos de espera.

- Distribuição Triangular: caracterizada por ser definida mediante três parâmetros (a,b e c; em que a é o valor mínimo, b é o valor máximo e c é o valor mais provável).
- Distribuição tipo Beta: caracterizada por ser contínua e definida no intervalo entre 0 e 1.
- Distribuição Lognormal: caracterizada pelo cálculo do logaritmo natural das variáveis seguindo uma distribuição normal, é utilizada para modelar dados positivos e assimétricos, utilizando a média e desvio padrão após a transformação logarítmica.

3.8 Modelagem e simulação na Indústria de Alimentos utilizando o *software* Arena

O *software* Arena pode ser empregado em várias áreas de pesquisa, incluindo a área alimentícia, apesar disso, não é comum sua utilização nesses casos. Alguns estudos encontrados são apontados a seguir.

Nascimento *et al.* (2019) avaliaram o processo produtivo de bisnaguinhas, quanto à capacidade produtiva, falhas e possíveis melhorias. Utilizaram-se da ferramenta *Input Analyzer* do *software* Arena para avaliação de dados e criação de expressões matemáticas para a simulação. Essa análise possibilitou a visão de que um dos equipamentos estava sendo o gargalo da empresa; adotando então um outro maquinário que estaria parado foi possível melhorar esse gargalo e aumentar a produtividade na fábrica.

Carvalho Junior (2022) avaliou a linha de produção de *snacks* de milho e constatou uma assertividade de 96,44% do *software* para sua planta original. Assim, ele replicou o teste diariamente e semanalmente, trabalhando com diferentes vazões e falhas na linha. Os resultados obtidos foram positivos para a empresa, obtendo-se um gargalo no extrusor que poderia melhorar em 13% apenas com a mudança de vazão, sem atrapalhar a qualidade do produto. Ainda, o projeto conseguiu uma continuidade de linha e diminuição de 23% de efetivo que seriam remanejados para outros locais de trabalho.

Souza *et al.* (2017) conseguiram, através de modelagem e simulação de uma linha produtiva de biscoitos, a diminuição de 1 hora e 46 minutos na produção.

Quando simulado, observaram que o estrangulamento estava no processo de forno, onde aguardavam completar tabuleiros para que se fizesse a fornada. Então, optaram por tabuleiros menores, que se completavam e assavam com maior rapidez, sendo assim possível realizar uma diminuição de tempo na linha com a mesma quantidade de produção.

Beltério (2020) realizou 27 replicações no *software* Arena para simular e otimizar uma linha produtiva de geleias em que os potes estariam com sobrepeso. A simulação apresentou a eliminação dos sobrepesos, aumentando 528 frascos na linha produtiva e reduzindo R\$ 730,00 de insumos.

Por fim, Souza; Zumba; Eberson (2020) aplicaram o *software* Arena em uma cadeia de suprimentos de indústria alimentícia. Com a simulação foi possível detectar o atraso no desembarque de matéria-prima e embarque de produto devido à falta de mão-de-obra, já que um funcionário estava fazendo mais de uma ação. A empresa realizou as contratações para otimização do processo.

Nesse viés, é possível observar que o *software* Arena é muito adaptável e quase não é explorado em indústrias alimentícias, principalmente em indústria cárnea, sendo assim, necessário o uso da ferramenta para simulação, uma vez que, com essa ferramenta é possível antecipar cenários futuros, antes do investimento em recursos, sendo substancial para reduzir os riscos do investimento.

4 METODOLOGIA

4.1 Descrição do local do experimento

Os dados foram coletados e o trabalho conduzido em um frigorífico em Minas Gerais, que tem capacidade de abate de até 2300 suínos por dia. O frigorífico conta com setores de abate, triparia, miúdos, desossa, industrializados e expedição. Para toda essa demanda são realizadas operações em 3 turnos de trabalho; o primeiro turno contempla toda a extensão do frigorífico; no segundo turno trabalha-se apenas no setor de industrializados e expedição; já o terceiro turno é usual da higienização pós-operacional e expedição.

A empresa é produtora de diversos produtos provenientes da carne suína e o produto com maior produção e venda é a linguiça frescal.

4.2 Descrição do processo produtivo

A produção da linguiça frescal no frigorífico é ampla, contemplando em média 60 toneladas/dia. O processo é realizado em bateladas, sendo realizadas cerca de 130 bateladas contendo 450,8 kg/batelada de acordo com a necessidade e demanda. Atualmente, todos os processos são maquinados (tem-se uma máquina específica para o trabalho e seu operador), exceto a preparação salmoura.

O fluxo que ocorre atualmente no frigorífico é ilustrado na Figura 6 e atende às legislações vigentes da Instrução Normativa nº 4 de 2000.

Figura 6 - Processo produtivo interno da Massa de linguiça fresca.



Fonte: A autora, 2024.

Para que a produção siga sem interrupções por fornecimento de matéria-prima, é realizada toda logística de FIFO (*first in - first out*) nas câmaras de resfriamento. Os caixotes contenedores de matéria são levados para setor de produção sempre que necessário, numa temperatura $\leq 7^{\circ}\text{C}$.

A primeira etapa da produção é a quebra dos blocos de banha ou toucinho, no equipamento denominado quebrador de blocos. Ocorre nessa etapa, a trituração dos blocos congelados (40Kg) de produto; são necessários dois blocos para realizar uma batelada.

Após essa etapa ocorre a adição do recorte magro. O equipamento denominado tombador de matéria-prima é carregado com o recorte magro (198Kg) e abastece os carrinhos transportadores. Essa etapa é realizada no carrinho que já contém a banha.

Após esse processo é realizada a pesagem, que tem como objetivo validar o peso do recorte magro (se necessário adiciona-se ou retira-se matéria até alcançar o

peso correto). Ainda na parte da pesagem é adicionado também o recorte gordo (50,0Kg), no mesmo carrinho transportador.

Esse carrinho transportador é deslocado para a área de moagem. No equipamento denominado moedor, toda a matéria cárnea é triturada em pequenos pedaços. São utilizados discos moedores de 12mm que garantem uniformidade e granulometria adequadas ao produto.

Simultaneamente ao processo de moagem, outra equipe, é responsável pela elaboração da salmoura. Os aditivos e condimentos (corante, sais de cura, proteína em pó, entre outros) são previamente pesados e identificados (22,8Kg), restando então ao operador pesar a água e o gelo (100Kg), além de abrir os condimentos e fazer sua diluição.

Com a matéria-prima pesada corretamente e a moagem realizada e a salmoura preparada, tem-se uma batelada fechada no peso de 450,8 Kg e inicia-se o procedimento de mistura. Esse processo é realizado em um equipamento denominado misturador, que conta com um sistema de levantamento do carrinho e pás giratórias. É necessário um tempo de 2 a 5 minutos para homogeneização total da massa.

O embutimento pode ocorrer com ou sem o descanso da massa, ou cura. Se houver o tempo de descanso, essa massa é levada para câmara fria (0°C) por até 24 horas, essa prática visa um melhor embutimento, e/ou, a melhor reação dos sais com a matéria-cárnea. Porém, atualmente, na empresa em questão, a produção fica estrangulada quando se ocorre esse descanso, conseqüentemente, diminuindo a quantidade de embutimento. Logo, optam por realizarem o processo direto, ou seja, logo após a saída da massa do misturador, já ocorre o embutimento.

Na etapa de embutimento, primeiramente se faz necessário a preparação dos envoltórios. A linguiça frescal em estudo é processada apenas com envoltórios naturais de calibre 30 a 32 mm, sendo eles limpos, hidratados, colocados em tubetes (equipamento com encaixe na máquina de embutir) e levados para área de embutimento.

Dando continuidade, a massa é inserida nas embutideiras semiautomáticas, as quais liberam a massa dentro do envoltório. Os operadores ao longo da mesa embutidora, após a massa já estar dentro do envoltório, são responsáveis por conferir esteticamente os gomos, colocar os lacres no início e final do produto e

cortar as pontas. Já os colaboradores ao final das mesas de produção são os responsáveis pela pesagem e embalagem do produto.

O frigorífico em questão conta com quatro tipos de fracionamento para a linguiça frescal, sendo eles: 1 Kg, 2 Kg, 5 Kg e 15 Kg. Determinando qual peso será da determinada linha de produção, o produto é pesado e embalado. As embalagens de pequeno porte são embaladas em seladoras manuais, enquanto a embalagem de 15 Kg é realizada em uma seladora a vácuo automatizada. Logo após a embalagem primária (embalagem plástica) ser fechada, os produtos seguem para a embalagem secundária em esteiras, onde são alocados em caixas de papelão e seguem para o túnel de congelamento.

No túnel de congelamento, as caixas com produtos são submetidas a temperaturas baixas (-18°C a -22°C), visando seu congelamento, para seguir até a expedição, onde são guardadas em câmaras de congelamento até a sua saída.

4.3 Análise do problema

Analizando cotidianamente a produção da massa, observou-se uma grande variação quanto ao número de bateladas diárias; observou-se uma discrepância entre 100 e 140 bateladas produzidas. Além disso, o frigorífico em questão não consegue produzir o total de massa para deixá-la no repouso necessário e abastecer a câmara de armazenamento. Diversas vezes a massa sai do misturador e já passa a ser embutida, ou seja, o processo de embutimento está mais acelerado que sua etapa inicial, a produção da massa.

Nesse contexto, o *software* Arena foi uma ferramenta que auxiliou a encontrar o problema, seja em fluxo de processos, *layout* ou disposição de equipamentos e maquinários, tempos de processo ou quantidade de colaboradores.

4.4 Coleta de dados

Durante o planejamento da coleta de dados, foi necessário determinar as variáveis detalhadas na sequência.

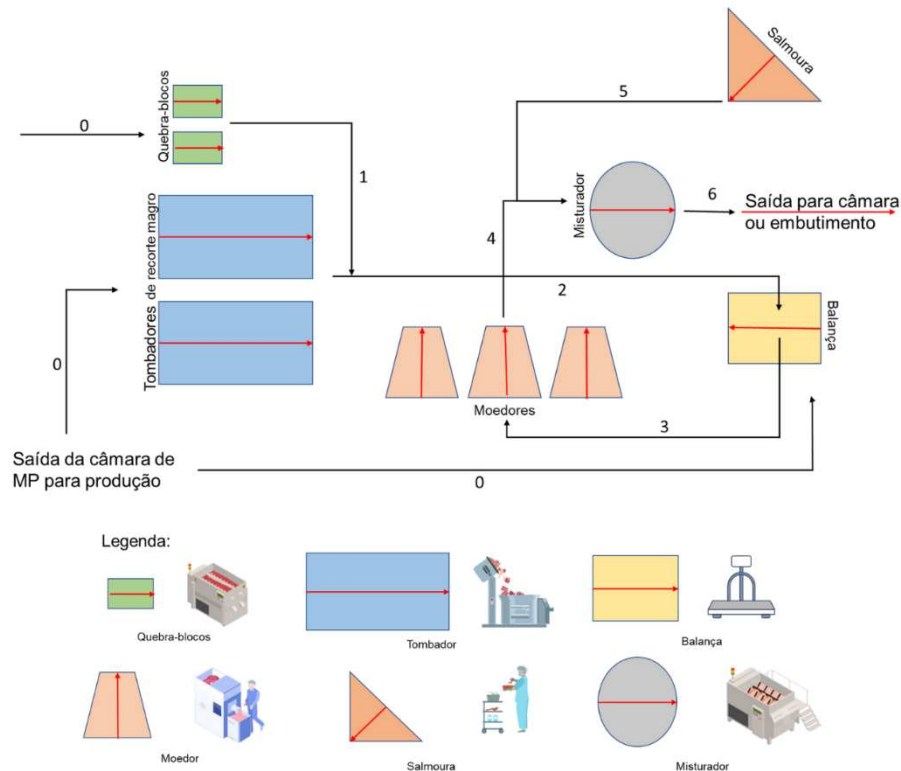
- *Layout* dos equipamentos e maquinários: levando em consideração o espaço físico, seus fluxos e disponibilidade na planta.
- Disposição de colaboradores e operadores: contabilizar a quantidade de colaboradores que são responsáveis pelo transporte dos carrinhos e operadores que são responsáveis pela operação dos maquinários.
- Tempo de paradas e intervalos: é necessário contabilizar tempos de *warm-up* (aquecimento), intervalos, paradas e falhas de maquinário.
- Tempo de utilização de cada equipamento: a fim de contabilizar o tempo gasto em cada equipamento, pois há uma sequência prevista na linha de produção.
- Quantidade de produção: contabilizar a quantidade de bateladas que são realizadas no dia e estabelecer critérios para eventuais discrepâncias de um dia para outro.

De todos os dados, os mais importantes e que foram mais utilizados na simulação foram a disponibilização dos colaboradores e o tempo de utilização de cada equipamento pois com esses dados corretos, é possível simular exatamente o chão de fábrica. A coleta de dados foi realizada via análise de ambiente através de uma visita ao chão de fábrica, histórico de produção e conversas com gerente e supervisor industrial.

4.4.1 *Layout* dos equipamentos e maquinários

Através da visita à Unidade Fabril, relatada na seção de metodologia, foi identificado o *layout* apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Representação esquemática da área de preparo de massas.



Fonte: A autora, 2024.

Na imagem é possível observar os fluxos que os carrinhos transportadores realizam. O fluxo 0 é a saída das câmaras de matéria-prima para os equipamentos necessários, ou seja, saída da banha para o quebra-blocos; saída do recorte magro para os tombadores e saída do recorte gordo para balança. O fluxo 1 representa o carrinho transportador saindo do quebra-blocos e indo para o tombador de recorte magro. O fluxo 2 representa o mesmo carrinho saindo do tombador e indo para balança pesar o recorte gordo. O fluxo 3 representa todas as matérias cárneas dentro do carrinho para serem trituradas no moedor. O fluxo 4 representa a saída do moedor e entrada no misturador, e simultaneamente ocorre o fluxo 5, que é a saída da salmoura para o misturador. Após a massa ser homogeneizada ocorre o fluxo 6, que é a saída da massa pronta para a câmara de armazenamento ou para o embutimento diretamente.

A planta conta com dois maquinários tipo quebra-blocos e tipo tombador de matéria-prima, porém, para o processo são utilizados apenas um de cada. Todavia, eles são dispostos no *layout* para retratar o espaço total da área de massa de linguiça frescal.

4.4.2 Disposição de colaboradores

A quantidade de colaboradores total que opera no sistema é 14, sendo distribuídos como a sequência.

- 2 colaboradores nas paleteiras, fazendo transporte da matéria-prima para os equipamentos;
- 1 colaborador no tombador de recorte magro, realizando a operação da máquina;
- 1 colaborador no quebra-blocos, sendo ele responsável por realizar o corte das embalagens, o abastecimento e a operação da máquina, bem como o transporte do carrinho até o próximo maquinário;
- 2 colaboradores na balança, realizando a pesagem de recorte magro e deslocando o carrinho de transporte;
- 3 colaboradores nos moedores, sendo um em cada realizando o abastecimento e operação do maquinário;
- 2 colaboradores na preparação da salmoura, sendo um fazendo o transporte do carrinho, pesando a água e o gelo e outro preparando a salmoura e transportando o carrinho até o misturador;
- 2 colaboradores para o misturador, sendo um para abastecimento da máquina e dois para operação e descarga do produto;
- 1 colaborador para realizar o transporte dos carrinhos com a massa pronta para a câmara de armazenamento (silo) ou para o embutimento.

Esse fluxo de colaboradores é rotativo durante a semana, ou seja, o operador que ficou em um maquinário hoje, amanhã estará em outro. Isso pode implicar na questão de tempos e movimentos diferentes, pois um colaborador pode realizar um trabalho de forma melhor e mais eficiente em determinada máquina. Além disso, o fluxo de colaboradores pode ser alterado diante da demanda da fábrica, faltas, férias, atestados, entre outros.

4.4.3 Tempo de trabalho e paradas

A produção de linguiça frescal foi analisada durante o primeiro turno, pois apenas neste turno se encontram as melhores condições de análise do grupo amostral. Em outros turnos a produção da linguiça frescal acontece juntamente com a produção de outros produtos e com capacidade de mão de obra reduzida, o que pode alterar a análise da produção e de dados, motivo pelo qual o primeiro turno foi escolhido. Os dados obtidos nas observações de paradas foram compilados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de paradas primeiro turno (horas).

Tipo de parada	Início (h)	Final (h)	Total Pausas (h)
<i>Warm-up</i>	06:00	06:20	00:20
Intervalo 1	08:00	08:30	00:30
Almoço	10:30	11:30	01:00
Intervalo 2	14:00	14:30	00:30
			02:20

Fonte: A autora, 2024.

O horário de trabalho do primeiro turno industrial inicia-se às 06:00 e finaliza às 15:48, nesse tempo temos as paradas programadas. O *warm-up* é a primeira parada, que ocorre logo com a entrada dos colaboradores. Também conhecido como tempo de aquecimento, o *warm-up* é o tempo utilizado para montagem das máquinas e paramentação dos colaboradores (colocação de luvas, aventais e demais utensílios utilizados). Às 08:00 ocorre o primeiro intervalo, de 30 minutos, que é considerado um tempo de espera, ou seja, todo o sistema de rodagem é finalizado para que seja liberado para o intervalo, exemplificando: se uma massa estiver ocupando o misturador, esse processo de mistura é finalizado, a massa segue para a câmara de armazenamento e o sistema é parado para seguir o intervalo. O outro intervalo é o horário de almoço que ocorre às 10:30, o seu tempo total é de 1 hora e da mesma forma, essa parada segue o tipo espera. O terceiro e último intervalo, ocorre nas mesmas condições do primeiro, equivalente a 30 minutos, das 14:00 às 14:30. Nota-se que o tempo parado é de 02:20h e o tempo de trabalho é de 07:28h.

O levantamento de paradas foi realizado analisando as paradas cotidianas, ou seja, eventuais paradas por defeito de maquinário não estão aqui representadas e não foram consideradas para as simulações.

4.4.4 Tempo de utilização de equipamentos

Os dados de tempo de utilização dos equipamentos na planta fabril, foram coletados *in loco* através de observações e cronometragem dos processos.

4.5 Tratamento e análise de dados

O *software* Arena utilizado segue a versão estudante 16.2 de 64 bit, compatível com o pacote Office; o computador utilizado é um notebook portador de um sistema de processador Intel Core i5, sistema operacional Windows 10 com armazenamento interno de 512GB e memória RAM tipo DDR de 8GB.

A versão estudante desse *software* sofre com uma limitação de entidades criadas e que entram no sistema simulado, assim, impactando diretamente na simulação, uma vez que para simular o tempo total de trabalho criam-se mais entidades do que é permitido. A solução viável é limitar a quantidade de horas de serviço analisadas.

Após a coleta de dados, foram realizadas as análises estatísticas preliminares através da ferramenta *Input Analyzer* no *software* Arena. A finalidade desse teste é a harmonização e melhor distribuição de probabilidades e ajustes dos dados.

O teste probabilístico realizado pela ferramenta é o teste de qui-quadrado, que é utilizado para verificar a frequência de um determinado acontecimento através da comparação de proporções e dos desvios da amostra.

4.6 Simulação

Após a coleta dos dados relevantes para o sistema (estudo realizado) e da realização da distribuição estatística com a ferramenta *Input analyzer* para encontrar as curvas estatísticas de tempo de operação é possível criar a simulação.

Para a simulação foram utilizados inicialmente quatro tipos de blocos de dados, detalhados na sequência.

- *Create*: foram utilizados dois blocos, um para criação dos carrinhos transportadores que entram no sistema com a matéria-prima e outro para a entrada da salmoura.
- *Process*: utilizou-se cinco blocos de processamento: um para o quebra-blocos, um para o tombador de matéria-prima, um para o moedor, um para a realização da salmoura e um para o misturador.
- *Batch*: esse bloco foi utilizado para realizar a junção de dois carrinhos cárnicos, uma vez que para a batelada, são utilizados dois carrinhos de carne.
- *Match*: esse bloco foi utilizado para realizar a junção da matéria-prima cárnea com a salmoura. Sempre que chegar à junção anterior, adiciona um carrinho salmoura, formando a batelada completa.
- *Dispose*: foram utilizados dois blocos *dispose*, um para saída do carrinho vazio de salmoura e um para a saída dos carrinhos com a massa de linguiça frescal pronta.

Para a simulação é necessário que os dados sejam inseridos dentro do bloco, pois com esses dados o sistema entenderá o processo e seus tempos, realizando a simulação real do processo. Assim, os dados obtidos na etapa anterior, foram inseridos em cada bloco como exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Inserção de dados bloco *process* do quebra-blocos.

The screenshot shows a 'Process' dialog box with the following details:

- Name:** Quebra blocos
- Type:** Standard
- Logic:**
 - Action:** Seize Delay Release
 - Priority:** Medium(2)
 - Resources:** Resource, Quebrador de Blocos, 1
- Delay Type:** Expression
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Expression:** NORM(46.7, 6.88)
- Report Statistics:** ☒
- Comment:** (empty text box)

Fonte - A autora, 2024.

Pode-se observar que na inserção de dados criou-se um nome para o bloco de processamento (no exemplo: Quebra-blocos), e inseriu-se o tipo de processamento (no exemplo: *standard* - padrão) e assim iniciou-se a operação com a lógica.

Para a lógica, deve-se selecionar um tipo de ação, no caso do Quebra-blocos foi selecionado uma ação tipo *Seize*, *Delay*, *Release*; ou seja, segurar, ocupar e liberar. Exemplificando: *Seize* é a entrada da matéria para o processamento na máquina, *delay* é a ocupação e operação da máquina e *release* é a liberação da máquina.

Para a criação dos recursos é necessário avaliar o que se tem de operacional para realizar a ação desejada. Na simulação em questão, para os maquinários foi utilizado apenas o próprio maquinário, uma vez que a ocupação da equipe será a mesma, ou seja, quando o maquinário está ocupado, a equipe também está; já para a Salmoura foi utilizado o recurso de equipe de pessoas, pois se trata de um processo manual. Podem ser inseridos quantos recursos forem necessários para a operação.

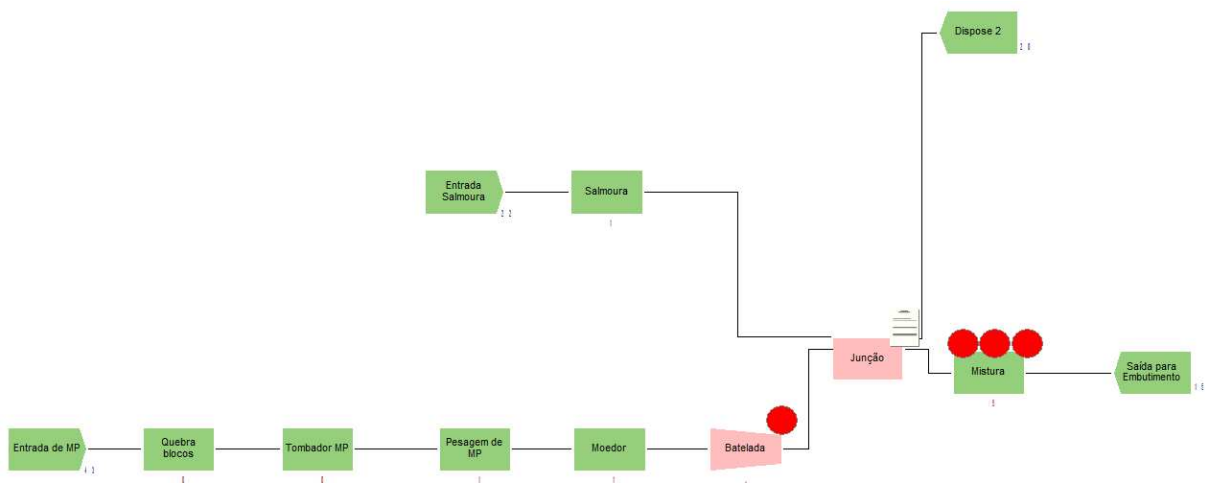
Para configurar o tempo de processamento ou o tempo de ocupação da máquina utilizaram-se as expressões encontradas no *Input analyzer*.

Depois de todos os blocos serem configurados é necessário configurar a rodada de simulação. Para tal ação é necessário informar a quantidade de replicações que se deseja e o período de duração de cada rodada.

A simulação realizada foi configurada em apenas uma rodada inicial para teste e com apenas sete horas de duração devido ao *software* ser de versão estudante e ter limitações de criação de entidades (carrinho transportador), sendo possível criar apenas 150 entidades. Porém, essas sete horas se assemelham ao tempo de trabalho no frigorífico, gerando assim uma simulação bem próximo ao horário trabalhado.

Após todos os dados inseridos, configurados e conferidos é possível iniciar a rodagem de simulação, que, quando iniciada, visualiza-se a tela do *software* como apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Monitoramento da simulação em andamento.



Fonte: A autora, 2024.

Na simulação, tem-se duas entradas (bloco *create* – “Entrada de MP” e “Entrada Salmoura”) que são onde as entidades são criadas, e as entidades correspondem aos carrinhos transportadores que entram no sistema. Já os blocos de processamento (bloco *process* – “Salmoura”, “Quebra-blocos”, “Tombador MP”, “Pesagem de MP”, “Moedor” e “Mistura”) são onde ocorrem as ações que existem no processamento real, aqueles cujos dados foram levantados e existe também o bloco de saída (bloco *dispose* – “Saída para embutimento”). Todas as entidades

(carrinhos) que são totalmente processados saem do sistema e são contabilizados, e esta contagem representa a produção naquele espaço de tempo estabelecido. Os blocos em vermelho (bloco *batch e match*) têm a ação de aglomerar os carrinhos, criando “lotes”. O primeiro bloco (batelada) é responsável por aglomerar dois carrinhos de carne, que vão ao misturador devido a sua capacidade; o segundo bloco (junção) é responsável por aglomerar os carrinhos de matéria-prima e salmoura que são levados para o misturador.

Os números apresentados abaixo dos blocos são uma contagem automática de quantas entidades entraram no sistema, quantas estão em processamento em cada bloco e o total contabilizado de entidades que deixaram o sistema. É possível ainda observar a formação de filas nos equipamentos e/ou processos com as animações em branco e em vermelho que ficam acima dos blocos, que seriam as entidades (carrinhos) ao longo do processo.

Após a finalização da rodagem de simulação, os resultados podem ser expressos em forma de planilha ou bloco de notas. Nos resultados são apresentados os dados de fila, ocupação, entradas e saídas do sistema e a partir disso, surgem as avaliações e otimizações do processo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do teste estatístico mencionado na seção 4.5, foi possível identificar qual o melhor tipo de distribuição, as expressões que mais se adequaram aos dados, o p -Valor e o erro quadrático para cada processo, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Distribuições da análise estatística.

Recurso	Distribuição	Expressão	p -Valor	Erro Quadrático
Quebra-blocos	Normal	NORM (46.7, 6.88)	0,311	0,016451
Tombador de matéria	Triangular	TRIA (16.5, 26, 46.5)	0,259	0,010611
Pesagem	Beta	18.5 + 31 * BETA (1.43, 1.62)	0,275	0,01364
Moedor	Gama	102 + GAMM (17.4, 2.25)	0,338	0,015445
Salmoura	Normal	NORM (116, 14.9)	0,142	0,019133
Misturador	Normal	NORM (215, 22.8)	0,209	0,006796

Fonte: A autora, 2024.

Para ter maior confiabilidade na distribuição indicada pela ferramenta, foram analisados os valores de p -valor e do erro quadrático. O p -valor dispõe sobre o nível de significância, ou seja, sobre o risco de se rejeitar uma hipótese verdadeira geralmente adota-se 5%, isto é, $p > 0,05$. Já o erro quadrático é um indicador que traz a diferença média entre os valores definidos cujo valor seria zero em um modelo perfeito (AZEVEDO, 2016).

Beltério (2020) aconselha que valores de p menores que 0,05 não são confiáveis para o ajuste e que o erro quadrático deve se aproximar do valor de zero. Assim, observa-se que os dados se mostram satisfatórios para a simulação, uma vez que os valores de p foram consistentes, aproximados e maiores que 0,05 e que os valores de erro quadrático foram baixos, sendo o maior deles o erro da salmoura, isso se deve ao processo ser um processo mais manual.

Para maior confiabilidade na modelagem e simulação realizadas, optou-se por efetuar 10 (dez) replicações totais para comparação dos resultados. Diante disso, foi possível observar que a modelagem é válida, uma vez que os parâmetros se adequam ao fluxo existente na fábrica, e que a simulação é confiável, pois, mesmo com mais replicações o erro quadrático encontrado foi de 0,000751 e o valor de p foi de 0,4661. Sendo assim, a simulação apresenta confiabilidade e se adequa aos parâmetros exigidos para uma boa simulação.

5.1 Simulação e avaliação das condições de processo existente da linguiça frescal na indústria

Neste capítulo serão abordadas as respostas do *software* Arena em relação aos parâmetros de processo para a linguiça frescal. Para isso, é necessário analisar o cenário existente na fábrica.

A simulação do processo existente na planta fabril foi realizada em um ciclo completo, com tempos e pausas previamente definidos na seção 4.4.3. O *software* emite uma guia de resultados (Tabela 3), possibilitando a observação detalhada do processo, demonstrando assim a utilização dos equipamentos, os possíveis gargalos e pontos de melhoria. Ressalta-se que os diferentes cenários apresentados na Tabela 3 serão detalhados posteriormente.

A simulação esclarece o tempo de utilização de cada equipamento apenas para o processamento da linguiça frescal, ou seja, para os equipamentos que são utilizados em outras linhas de produção, é contabilizada apenas a ocupação com a massa de linguiça frescal. Por exemplo, a balança é utilizada para pesagem de outros carrinhos, porém, nesse levantamento é utilizado apenas o tempo que passa pesando os recortes cárneos.

Tabela 3 - Simulação do processo existente e dos diferentes cenários estudados.

Dados Analisados	Processo 'existente'	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
Alteração Realizada na Simulação	3 moedores 1 salmoura 1 misturador	Retirar 1 moedor	2 misturadores	2 misturadores 2 salmouras	Tempo entrada Salmoura	2 moedores 2 misturadores e 2 salmouras
Tempo de Observação (h)	7	7	7	7	7	7
Bateladas que entram no sistema	140	140	140	140	140	140
Bateladas que saem do sistema	114	113	137	137	137	137
Bateladas ainda no sistema	26	27	3	3	3	3
Tempo médio de espera no processo (min)	30'	32'	9'	1'53''	1'33''	2'
Ocupação Quebra-blocos (%)*	51,1	51,1	51,1	51,1	51,1	51,1
Ocupação Tombador (%)*	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
Ocupação Balança (%)*	36,7	36,7	36,7	37,2	37,2	37,2
Ocupação Moedor (%)**	51,0	77,2	51,9	51,9	77,6	77,6
Ocupação Salmoura (%)**	76,4	77,1	78,4	39,2	48,0	39,2
Ocupação Misturador (%)**	98,2	98,2	59,3	59,3	59,3	59,3

* Equipamentos que pertencem a mais de uma linha de produção.

** Equipamentos exclusivos para a linha de produção da linguiça frescal.

Fonte: A autora, 2024.

Observa-se que a simulação teve uma operação total de 7 (sete) horas, que é o tempo médio de um turno na fábrica. Nessa rodagem é possível observar que foram iniciadas 140 bateladas, porém apenas 114 saíram do processo para a câmara de descanso, esse fluxo se aproxima muito do existente na planta fabril de acordo com apontamentos realizados pela empresa.

Observa-se ainda que 26 bateladas estão em operação, ou seja, elas estão em fila, aguardando que o equipamento seja liberado. No processo real todas as bateladas são encerradas no mesmo dia, porém é necessário que algumas pessoas fiquem após o horário, o que não é considerado nesse estudo.

Com base nos dados coletados, tratando de tempos médios de operação, o tempo de realização de uma batelada de massa de linguiça frescal, seria cerca de 10 minutos; isso sem contabilizar qualquer atraso na linha de produção.

Porém, diante do processo produtivo, cria-se uma fila de espera devido aos diferentes tempos de funcionamento dos equipamentos; por exemplo, o processo de quebrar os blocos de gordura e a pesagem de recorte magro e recorte gordo, são mais rápidos cerca de 95 segundos e 108 segundos respectivamente, que a moagem, sendo possível realizar uma maior quantidade de operações nesses equipamentos em determinado tempo, gerando então, uma fila nos processos mais longos. Quando se formam filas, o processo pode atrasar em até 30 minutos. Sendo assim, tem-se alguns equipamentos que são gargalos de produção, ou seja, devido a sua ocupação eles podem parar ou dificultar a eficiência do processo.

Com esses valores de ocupação é possível observar que o principal gargalo do sistema ocorre no equipamento denominado misturador, que realiza a homogeneização da massa. Isso ocorre devido ao seu processamento ser o mais longo de todo o processo (cerca de 215 segundos), além do fato de a planta fabril contar com apenas um equipamento com capacidade de 450,0 kg para realizar esse processo. O gargalo surge quando ele é o equipamento mais ocupado contemplando sua capacidade máxima e há formação de filas para esse processo, o que pode atrasar e limitar a produção.

Um problema existente na planta fabril é detectado através das visitas técnicas, como dito anteriormente, é que esses equipamentos nem sempre são utilizados apenas para o fluxo da massa de linguiça frescal; a balança, por exemplo, é utilizada em vários outros processos. Ou seja, ela está ocupada pelo processo de

linguiça apenas esse tempo, porém, ela está em constante uso e as vezes o próprio processo tenha que esperar.

Outro ponto importante e extremamente delicado para a linha de produção é a questão de pausas para manutenção. As manutenções preventivas são realizadas nesses equipamentos aos finais de semana, porém, se ocorre qualquer falha mecânica é necessário parar o equipamento e inabilitá-lo para que ocorra a manutenção corretiva. Ou seja, se o misturador (equipamento de utilização única), apresentar uma falha inesperada, todo o processo estagna até uma solução, ou se utiliza outro tipo de misturados, interrompendo assim outros processos produtivos.

Na planta fabril o processo da linguiça é o mais importante, uma vez que se trata do produto com maior venda da empresa. Porém, o cenário ideal é que cada processo ocorra em seu tempo correto, sem interromper outras linhas de produção.

Para a melhoria desses cenários se fez necessário a criação de outras simulações do chão fabril, alinhando e melhorando os pontos de gargalo existentes na linha atual e observando as alterações na produção.

5.2 Cenário 1 – Simulação retirando um moedor da planta.

Esse cenário tem a proposta através de análises da visita *in loco* durante a verificação de utensílios com pouco uso.

O cenário conta com a mesma quantidade de maquinários da simulação real, porém observou-se que a necessidade de três equipamentos moedores é prescindível, uma vez que a ocupação de cada um deles é apenas 51,0% no sistema atual, ficando assim muito tempo em desuso.

Optou-se então por realizar a simulação com um equipamento a menos, com o intuito de liberação de um equipamento e de um operador para outro processo produtivo.

É possível observar que com a retirada de um moedor o sistema fica com um tempo de espera de 32 minutos e conta com 27 bateladas não-finalizadas.

Isso ocorre devido ao tempo de moagem que, com um equipamento a menos, pode atrasar todo o processamento de moagem e ainda criaria fila no misturador único.

Essa simulação seria válida para um dia de baixa produção nessa linha, trabalhando assim com menos equipamentos e poupando gastos com energia. Na atual situação de demanda essa simulação não atende ao esperado.

5.3 Cenário 2 – Simulação com dois misturadores.

Esse cenário é simulado com foco no principal ponto de gargalo apresentado no cenário existente, o misturador.

Nessa simulação optou-se por usar dois equipamentos tipo misturador para realização da última etapa do processo produtivo, sem alteração na linha anterior. Esse método visa acelerar o processo de mistura, conseguindo assim, fazer mais misturas no mesmo tempo, e consequentemente evitar filas durante a produção.

É possível observar que a quantidade de bateladas que são realizadas aumenta (137 bateladas realizadas), logo, diminuindo a quantidade de bateladas que ficam paradas no sistema e diminuindo diretamente o tempo médio de espera de processamento, que cai para 9 minutos. Nascimento *et al.* (2019) avaliaram o processo produtivo de bisnaguinhas, quanto à capacidade produtiva, falhas e possíveis melhorias. Essa análise possibilitou a visão de que um dos equipamentos estava sendo o gargalo da empresa; adotando então um outro maquinário que estaria parado foi possível melhorar esse gargalo e aumentar a produtividade na fábrica.

Em relação à ocupação dos equipamentos, é observado que inicialmente a utilização continua a mesma, uma vez que não foi alterado nenhum tempo de processamento. Tem-se então a alteração na utilização do misturador, já que nessa simulação conta-se com uma capacidade maior (2 equipamentos disponíveis), a ocupação fica em 59,3% em cada um deles. Entretanto, com o aumento da mistura, aumenta-se a utilização da equipe de salmoura para 78,4%, ou seja, com a aceleração da mistura, necessitaria da aceleração da realização da salmoura. Isso se torna um ponto preocupante pois a salmoura é realizada manualmente e possui apenas uma equipe para isso, que fica responsável pela condução dos carrinhos e fabricação da salmoura, ou seja, a equipe poderia ficar sobrecarregada na realização desses transportes.

Diante dessa simulação optou-se por trabalhar um outro cenário, o qual contemplaria dois misturadores e duas equipes de salmoura a fim de que ocorra o fluxo corretamente sem sobrecarga.

5.4 Cenário 3 – Simulação com dois misturadores e duas equipes de salmoura.

Após a realização do cenário contemplando dois misturadores foi possível observar que a equipe da salmoura fica mais sobrecarregada. Pensando em um melhor fluxo de trabalho, o processo poderia ser otimizado com o auxílio de duas equipes para a salmoura. Souza; Zumba; Eberson (2020) aplicaram o *software* Arena em uma cadeia de suprimentos de indústria alimentícia em que a solução encontrada foi o aumento do quadro de funcionários para otimização do processo.

Nota-se que ao final das 7 horas de observação, a fila contempla apenas 3 bateladas no sistema e o tempo médio de espera no processo é de apenas 1 minuto e 53 segundos. Com a capacidade de dois misturadores (450 Kg cada) se resolve a ocupação máxima desse equipamento no cenário fabril atual e com uma nova equipe de salmoura é possível reduzir a ocupação, uma vez que eles são manualmente responsáveis por buscar os carrinhos e realizar toda a salmoura (abrir todos os pacotes de especiarias, pesagem e homogeneização).

A partir desse cenário com uma ocupação de 59,3% no misturador e 39,2% das equipes de salmoura é possível pensar em um cenário cuja entrada das matérias-primas da salmoura seja menos espaçada, assim, aumentando o número de bateladas que entram no sistema.

5.5 Cenário 4 – Simulação com menor tempo de entrada da Salmoura.

Para esse cenário a proposta é a redução do tempo de entrada no processo “Salmoura” com o intuito de acelerá-lo e, por consequência, realizar mais bateladas e massa de linguiça frescal. Nas simulações anteriores, a entrada acontece com cerca de 2 minutos, para essa proposta foi simulado a entrada com apenas um minuto e meio.

Nota-se que, com a entrada de salmoura um pouco menor, diminui-se cerca de 20 segundos (1 minuto e 33 segundos) o tempo de espera que na simulação anterior era de um minuto e cinquenta segundos. Porém, as bateladas mantêm a quantidade de realização e as equipes ficam mais ocupadas. Souza *et al.* (2017) conseguiram através de modelagem e simulação de uma linha produtiva de biscoitos a diminuição de 1 hora e 46 minutos na produção.

Diante disso, esse cenário não é o mais indicado, uma vez que o tempo reduzido se torna insignificante perante a quantidade de produção diária final. Esse tempo reduzido se torna obsoleto pois, dentro da planta fabril, os colaboradores têm um tempo de deslocamento para pegar os equipamentos móveis, como o carrinho de transporte, ou seja, depende-se de mão de obra humana, não é um processo todo automatizado e contínuo sem interferências.

5.6 Cenário 5 – Simulação conta com dois moedores, dois misturadores e duas equipes de salmoura.

Com o intuito de melhorar as filas na etapa final do processo e poupar gastos em outras etapas, simulou-se o cenário 5, que conta com apenas dois equipamentos moedores (diminuindo um equipamento e o seu operador), dois misturadores e duas equipes de salmoura.

Nessa simulação é possível observar que o tempo de espera é aproximadamente 2 minutos e que apenas três bateladas ficam no processo para serem finalizadas ao final desse período.

Por outro lado, em se tratando da utilização dos equipamentos, é possível observar que os dois moedores ficam ocupados 77,6% do tempo, ou seja, é possível realizar o processo produtivo com apenas dois destes equipamentos enquanto o sobressalente poderia ser utilizado em uma outra linha produtiva dentro da planta. Já as equipes da salmoura ficam ocupadas 39,2% do tempo, sendo totalmente possível as equipes realizarem o trânsito e organização de todos os carrinhos com produto. O misturador, que é o maior formador de filas no processo atual fica com utilização de 59,3% quando utilizados dois equipamentos para este fim. O mais interessante nessa planta é a questão de adaptabilidade caso haja algum problema

nos equipamentos com manutenções e/ou com operadores, uma vez que há mais de uma equipe.

Carvalho Junior (2022) avaliou a linha de produção de *snacks* de milho e constatou uma assertividade de 96,44% do *software* para sua planta original. Assim, ele replicou o teste diariamente e semanalmente, trabalhando com diferentes vazões e falhas na linha. Os resultados obtidos foram positivos para a empresa, obtendo-se um gargalo no extrusor que poderia melhorar em 13% apenas com a mudança de vazão, sem atrapalhar a qualidade do produto. Ainda, o projeto conseguiu uma continuidade de linha e diminuição de 23% de efetivo que seriam remanejados para outros locais de trabalho.

5.7 Discussão com a literatura

Diante dos escassos estudos na área de simulação e otimização de processos cárneos através de *softwares*, Bicudo (2023) pontua que conhecer e compreender o processo produtivo e as filas que se formam é de suma importância, pois ajuda a identificar os pontos críticos e gargalos, além de ajudar a dimensionar e resolvê-los adequadamente. Ainda assim, pela teoria das filas, qualquer cenário pode ser viável, estudando suas limitações.

Uma outra ferramenta muito utilizada na indústria é o controle estatístico de processos (CEP), que monitora o processo através de análise de dados e técnicas estatísticas, garantindo assim, uma melhor solução para os problemas na planta fabril através da consistência e qualidade dos dados.

Em uma linha produtiva de alimentos é essencial a padronização dos processos para uma melhor produção e qualidade, assim, unificando o sistema da teoria das filas, controle estatístico, modelagem e simulação do processo. Ademais, estudando pontos específicos que podem travar a produção, é possível chegar em um cenário viável para a empresa adotar; ajudando assim a melhorar e intensificar sua produção sem que os equipamentos e funcionários fiquem sobrecarregados (SANTOS *et al.*, 2023).

Nesse estudo, é possível identificar o cenário 3 e o cenário 5 como cenários viáveis, identificando assim uma diminuição na fila de espera das bateladas, ou seja, uma produção em melhor tempo hábil e uma melhor utilização dos equipamentos,

sendo possível realizar paradas técnicas para manutenção sem que o sistema pare a operacionalização.

Lim *et al.* (2015) elucidam que a primeira fase para a otimização de processos após um estudo de simulação dentro da planta fabril é a conscientização, cujo principal objetivo é educar e comunicar as razões pelas quais as mudanças são necessárias. A segunda fase é a preparação, que estabelece a direção da implementação, sendo necessário criar uma visão e direção a curto e longo prazo para essas mudanças. A terceira fase é a iniciação, em que são realizados o projeto piloto e testes dentro da fábrica; por fim, é realizada a implementação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se ao longo deste estudo que a utilização de *softwares* de simulação de processos desempenha um papel crucial no que diz ao aprimoramento das operações e garantia da qualidade dos produtos. A complexidade inerente aos processos de produção de alimentos exige uma abordagem cuidadosa e eficiente e a simulação surge como uma ferramenta indispensável.

A simulação de processos na indústria alimentícia cárnea ainda é bem escassa, porém, com o andamento desse trabalho foi possível observar que os *softwares* possuem uma visão abrangente de todo o ciclo produtivo, quando acompanhado de bons dados, permitindo a identificação de possíveis falhas e gargalos industriais. Assim, otimizando o desempenho operacional da linha de produção como um todo.

Dentre as propostas do trabalho conclui-se que para uma boa simulação, a coleta de dados é imprescindível, devendo ser precisa e abrangente, pois fornece a base para modelagem. Dados de qualidade garantem a validade e confiabilidade dos resultados simulados, permitindo uma análise confiável e melhores tomadas de decisões.

Avaliando os resultados foi possível visualizar que os cenários propostos podem ser válidos para melhorar a ocupação dos maquinários e de seus operadores, além de melhorar o fluxo quando ocorrer alguma falha ou parada na linha de produção. Sendo assim, o cenário 3 (com 2 misturadores e 2 equipes de salmoura) e o cenário 5 (retirando um moedor, restando 2; 2 misturadores e 2 equipes de salmoura) se destacaram e têm potencial de mudança dentro da planta fabril devido à diminuição de filas que se formam no processo, logo, sendo possível gerar uma melhor produção.

Além disso, foi possível observar que nem todos os maquinários e colaboradores são bem utilizados, podendo ocorrer remanejamento e aproveitar a mão de obra. Para que as simulações se tornem de fato otimizações, necessitam-se estudos mais aprofundados, como análise financeira e disposição de novos fluxos.

Ademais, a utilização dos *softwares* de processo na indústria é uma crescente e impulsiona a eficiência operacional além de se adequar a desafios impostos pelo

mercado. Citando o *software* utilizado nesse estudo, o Arena, foi possível realizar análises complexas (análise estatística) de forma rápida e com bom tratamento de dados, bem como uma simulação do processo real e de outros cenários através de dados reais, com resultados claros e objetivos, podendo assim, influenciar diretamente na tomada de decisões e eficiência operacional.

Como continuidade desse trabalho, sugere-se que seja realizada uma melhor representação esquemática com dados concisos no *software* para estudo de um *layout* adequado, para que ocorra um ciclo mais curto dentro do próprio processo. Além disso, é possível trabalhar com valores para redução de gastos na linha de produção.

REFERÊNCIAS

ABPA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. 2022 RELATÓRIO ANUAL. 2022. Accessed on: 3 Dec. 2022.

ALVES, AYALA VITAL. AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE CARNE SUINA REFRIGERADA.<
<https://dspace.uniceplac.edu.br/handle/123456789/631>> 2019. Accessed on: 29 Nov. 2022.

ALVES, Leonardo Fernandes; HERCULANI, Rhadler. SIMULAÇÃO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE SALGADOS. Revista Interface Tecnológica, vol. 15, no. 2, p. 138–149, 30 Dec. 2018. DOI 10.31510/infa.v15i2.383. Available at: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/383>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

ANGIZEH, Farhad; MONTERO, Hector; VEDPATHAK, Abhinay; PARVANIA, Masood. Optimal production scheduling for smart manufacturers with application to food production planning. Computers & Electrical Engineering, vol. 84, p. 106609, 1 Jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.COMPELECENG.2020.106609>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

ARAUJO, Jefferson David Coutinho de. Simulação e Otimização de uma unidade de produção de benzeno: Processo de hidrodealquilação do Tolueno (HDA) (Software : Prosim Plus). 20 Aug. 2019. Available at: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/38930>. DOI 2014026817 Accessed on: 13 Dec. 2022.

AZEVEDO, Paulo Roberto Medeiros de. Introdução a Estatística. 3a Edição. Natal, RN: 2016, 2016. vol. Volume 1.

BELTÉRIO, Matheus Henrique Póvoa. Aplicação da simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão em um sistema de produção de geleia em uma indústria alimentícia utilizando o software Arena. 4 Dec. 2020. Available at:

<https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1345>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

BENEDICTI, Carolina Magalhães; SANTOS, Larissa da Rocha dos; DROVAL, Adriana Aparecida. Utilização de aipo em pó (*aipium graveolens*) no processamento de linguiça toscana. *Brazilian Journal of Food Research*, vol. 9, no. 1, p. 25–40, 1 Jan. 2018. DOI: 10.3895/rebrapa.v9n1.4082 Available at: <https://revistas.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/4082>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

BENEVIDES, Selene Daiha; NASSU, Renato Tieko. Produtos Cárneos - Portal Embrapa. 2021. Available at: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/ovinos-de-corte/pos-producao/produtos/produtos-carneos>. Accessed on: 3 Dec. 2022.

BERTOL, Teresinha Marisa. Estratégias Nutricionais para melhoria da qualidade da carne suína. 2019, Brasília - DF, p. 1–300, 2019.

BICUDO, Willian André Strombeck. GERENCIAMENTO DE FILAS: A APLICAÇÃO NO CASO DE UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO VAREJISTA. *Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, vol. 1, p. 1–40, 2023. Accessed on: 5 Dec. 2023.

BRASIL. DECRETO No 9.013, DE 29 DE MARÇO DE 2017. 2017. Available at: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9013.htm. Accessed on: 3 Dec. 2022.

BRASIL. Legislação: Instrução Normativa SDA - 4, de 31/03/2000 | Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo. 2000. Available at: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-sda-4-de-31-03-2000,662.html>. Accessed on: 4 Dec. 2022.

BRASIL. RTIQ - Cárneos e seus derivados. 2023. Brasília, DF: [s. n.], 2023. p. 1–8.

CARVALHO JUNIOR, José Maria de. SIMULAÇÃO E PLANEJAMENTO DE PRODUÇÃO EM INDÚSTRIAS ALIMENTÍCIAS DE MÉDIO PORTE: UM ESTUDO DE CASO EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE SNACKS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE

PRODUÇÃO, < <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/48470>>, p. 1–60, 2022.
 . Accessed on: 5 Dec. 2023.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. Modelagem e simulação de eventos discretos. Afonso C. Medina, 2006.

COLOMBO, Simone Geitenes; BACHINI, Thiara Vieira; SILVA, Jean Maicon. MODELO DE GESTÃO PARA OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DE ENVOLTÓRIOS NATURAIS NA FABRICAÇÃO DE LINGUIÇA SUÍNA TIPO FRESCAL. Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, vol. 4, no. 5, p. 124–139, 12 Dec. 2016. Available at: <https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/38383>. Accessed on: 3 Dec. 2022.

CORREIA, Eduardo Ferro. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS. 2020. Available at: www.feq.ufu.br. Accessed on: 8 Dec. 2022.

DE AMORIM, Jayme Oliveira. INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO-CAMPUS CERES BACHARELADO EM ZOOTECNIA. 2021. Available at: [https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1698/1/TCC_Jayma de Oliveira.pdf](https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1698/1/TCC_Jayma%20de%20Oliveira.pdf). Accessed on: 29 Nov. 2022.

EMBRAPA. Estatísticas - Portal Embrapa. 2022. Available at: <https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Accessed on: 3 Dec. 2022.

ERDOGDU, Ferruh. Mathematical modeling of food thermal processing: current and future challenges. Current Opinion in Food Science, vol. 51, p. 101042, 1 Jun. 2023. <https://doi.org/10.1016/J.COFS.2023.101042>. Accessed on: 6 Dec. 2023.

FERREIRA, Arthur Felipe Vieira; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. O mercado de carnes no contexto dos processos de inovação: o caso da empresa Tyson Foods. E-Acadêmica, vol. 2, no. 2, p. e082231, 14 Aug. 2021. DOI 10.52076/eacad-v2i2.31. Available at: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/31>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

FIGUEIRÊDO, Pedro Ramalho. Simulação computacional do processo produtivo de massa de rosca de padaria utilizando o software Arena. 5 Nov. 2021. Available at: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/2955>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

FRAQUEZA, M. J.; MARTINS, C.; GAMA, L. T.; FERNANDES, M. H.; FERNANDES, M. J.; RIBEIRO, M. H.L.; HERNANDO, B. R.; BARRETO, A. S.; ALFAIA, A. J.I. High hydrostatic pressure and time effects on hygienic and physical characteristics of natural casings and condiments used in the processing of cured meat sausage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 58, p. 102242, 1 Dec. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2019.102242>. Accessed on: 8 Dec. 2022.

FURLAN, VELCENIR JUNIOR MENDES; SILVA, KASSANDRA FONTOURA; CUNHA, JOÃO PEDRO DA SILVA; UGALDE, FÁBIO ZACOUTEGUY; SILVA, DOUGLAS GONÇALVES DA; CENTENARO, GRACIELA SALETE. Determinação de nitrato e nitrito em produtos cárneos: adequação à legislação. *MAGISTRA*, <<http://orcid.org/0000-0003-0457-0687>>, p. 1–0, 2020.

GONÇALVES, Vanessa Angélica. SIMULAÇÃO DA DINÂMICA OPERACIONAL NA LINHA DE ESQUARTEJAMENTO DE UMA ÍNDUSTRIA DE ABATE SUÍNOS. 2014. Accessed on: 24 Dec. 2022.

GUNN, Stephanie; SIZELAND, Katie H.; WELLS, Hannah C.; HAVERKAMP, Richard G. Collagen arrangement and strength in sausage casings produced from natural intestines. *Food Hydrocolloids*, vol. 129, p. 107612, 1 Aug. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2022.107612>. Accessed on: 5 Dec. 2023.

HÖTZEL, Maria José; VANDRESEN, Bianca. Brazilians' attitudes to meat consumption and production: Present and future challenges to the sustainability of the meat industry. *Meat Science*, vol. 192, p. 108893, 1 Oct. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2022.108893>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

LAI, Xingjian; SHUI, Huanyi; DING, Daoxia; NI, Jun. Data-driven dynamic bottleneck detection in complex manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, p. 662–675, 1 Jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.07.016>. Accessed on: 6 Dec. 2023.

LIM, Sarina Abdul Halim; ANTONY, Jiju; GARZA-REYES, Jose Arturo; ARSHED, Norin. Towards a conceptual roadmap for Statistical Process Control implementation in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 44, no. 1, p. 117–129, 1 Jul. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2015.03.002>. Accessed on: 5 Dec. 2023.

LOPES, Eduarda Coradini da Silva; CEZAR, Gabriele Doyle; SILVA, Bruna Acosta Barbosa; CASTRO, Renata Machado; LOPES, Larissa do Prado; ROLL, Rutilene Jacondino; NUNES, Adelaide Townsend; ROSA, Tatiana Margot Muller da; STEFANI, Lenita de Cássia Moura; NESPOLO, Cássia Regina. QUALIDADE E SEGURANÇA NO PROCESSAMENTO DE CARNES E DE LINGUIÇA FRESCAL CAMPEIRA. *Open Science Research III*, DOI 10.37885/220308336 , p. 1–12, 2022.

MADOUMIER, Martial; TRYSTRAM, Gilles; SÉBASTIAN, Patrick; COLLIGNAN, Antoine. Towards a holistic approach for multi-objective optimization of food processes: A critical review. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 86, p. 1–15, 1 Apr. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.02.002>. Accessed on: 5 Dec. 2023.

MARCINKOWSKA-LESIK, Monika; WOJTASIK-KALINOWSKA, Iwona; ONOPIUK, Anna; STELMASIAK, Adrian; WIERZBICKA, Agnieszka; POLTORAK, Andrzej. Plasma-activated milk powder as a sodium nitrite alternative in pork sausages. *Meat Science*, vol. 192, p. 108880, 1 Oct. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2022.108880>. Accessed on: 6 Dec. 2022.

MARTINS, VITORIA GABRIELA LOBO. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA FARINHA DE BELDROEGA (*Portulaca oleracea*) COMO ANTIOXIDANTE EM LINGUIÇA SUÍNA. 2021. < <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/61402>>. Accessed on: 8 Dec. 2022.

MIRANDA, Vítor Magalhães de Mendonça Cunha; SILVA, Letícia Aline Lima da; LEITE, Sílvio Mayke; ANDRADE, José Matheus de Moura; DA SILVA, Dayane Albuquerque; RIBEIRO, Apolônio Gomes. View of Effects of antioxidants on pork production. 2022. Available at: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26855/24916>. Accessed on: 3 Dec. 2022.

NASCIMENTO, LEANDRO CLEMENTE DO; SILVA, JOSÉ FLÁVIO; OLIVEIRA, RENATA SANTOS; MORAIS, ROBERTO RAMOS. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE PÃES. X FATECLOG, , p. 1–10, 2019.

NOBREGA, Maria Bianca Medeiros de Mello. Otimização de um processo real de destilação atmosférica de petróleo utilizando simulação de processos e métodos estatísticos. 2018. . Accessed on: 6 Dec. 2023.

OROZCO, H. Paz, *et al.* "Propuesta para un diseño de distribución en planta en el área de separado para la empresa de alimentos cárnicos SAS, evaluada mediante una herramienta de simulación-Flexsim." DOI:<https://doi.org/10.22490/25394088.2961> Publicaciones e Investigación 12.2 (2018): 83-93.

PERNO, Matteo; HVAM, Lars; HAUG, Anders. Implementation of digital twins in the process industry: A systematic literature review of enablers and barriers. *Computers in Industry*, vol. 134, p. 103558, 1 Jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2021.103558>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

QUINTÃO, Elizângela; COELHA, Sionara; NETO, José Paulo da Silva; SILVA, Patrícia Lidiane Carneiro; REZENDE, Bruna Aparecida. SIMULAÇÃO DE EVENTO DISCRETO: ESTUDO DE CASO DE UM LAVA A JATO. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, vol. 9, no. 16, p. 139–152, 15 Dec. 2021. DOI 10.5380/relainep.v9i16.82742. Available at: <https://revistas.ufpr.br/relainep/article/view/82742>. Accessed on: 11 Dec. 2022.

RAGHIANTE, Denise; ZART, Nathalia; GABRIELA MARMITT, Luana; CONCEIÇÃO OLIVEIRA, Eniz; SCHERER ADAMI, Fernanda. Concentrações de nitrito e nitrato em salsichas. *Revista Brasileira em promoção da Saúde*, vol. 29, no. 1, p. 27–33, 30 Mar. 2016. <https://doi.org/10.5020/18061230.2016.P27>. Accessed on: 5 Dec. 2023.

RAMOS DA SILVA, Romilda; MARIANE, Camila; SOARES, Silva; OLIVEIRA DE AGUIAR, Aynaran; DA, Douglas; GOMES, Silva; APARECIDA DE SOUZA MARTINS, Glêndara; GRAMACHO DA SILVA, Warley. USO DA PROGRAMAÇÃO LINEAR NA OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS DENTRO DA INDÚSTRIA DE

ALIMENTOS. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, vol. 6, no. Especial, p. 24–30, 16 Jun. 2019. DOI 10.20873/UFT.2359365220196ESPECIALP24. Available at: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/6849>. Accessed on: 13 Dec. 2022.

RENIERS, Genserik; HERDEWEL, Dioni; WYBO, Jean Luc. A Threat Assessment Review Planning (TARP) decision flowchart for complex industrial areas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 26, no. 6, p. 1662–1669, 1 Nov. 2013. <https://doi.org/10.1016/J.JLP.2013.01.009>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

ROSER, C.; LORENTZEN, K.; DEUSE, J. Reliable Shop Floor Bottleneck Detection for Flow Lines through Process and Inventory Observations. *Procedia CIRP*, vol. 19, no. C, p. 63–68, 1 Jan. 2014. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2014.05.020>. Accessed on: 10 Dec. 2022.

SANCHEZ, Philip Donald C.; AROGANCIA, Honey Beth T.; BOYLES, Kenneth M.; PONTILLO, Aldwin Jason B.; ALI, Maimunah Mohd. Emerging nondestructive techniques for the quality and safety evaluation of pork and beef: Recent advances, challenges, and future perspectives. *Applied Food Research*, vol. 2, no. 2, p. 100147, 1 Dec. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100147>. Accessed on: 27 Nov. 2022.

SANTOS, C. N. .; OLIVEIRA, G. F. .; FORMIGONI, M. L. M. V. .; LINO, A. da S. T. .; TEIXEIRA, L. S. .; VIEIRA, A. . Aplicação de mapeamento de processos em indústrias de alimentos. *Revista Científica SENAI-SP - Educação, Tecnologia e Inovação*, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 98–120, 2023. Disponível em: <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/72>. Acesso em: 3 jan. 2024.

SANTOS, Eduardo Pozzer dos. Manual técnico de produção e desenvolvimento de pastrami para indústria de alimentos. *Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná*, vol. 1, p. 1–60, 2022.

SARKAR, Tanmay; SALAUDDIN, Molla; MUKHERJEE, Alok; SHARIATI, Mohammad Ali; REBEZOV, Maksim; TRETYAK, Lyudmila; PATEIRO, Mirian; LORENZO, José

M. Application of bio-inspired optimization algorithms in food processing. *Current Research in Food Science*, vol. 5, p. 432–450, 1 Jan. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2022.02.006>. Accessed on: 9 Dec. 2022.

SERÔDIO, Gonçalo Alexandre Setúbal. Nitritos e nitratos nos alimentos e possíveis riscos para a saúde. 11 Sep. 2022. Available at: <https://repositorio.ul.pt/handle/10451/57960>. Accessed on: 7 Dec. 2023.

SIQUEIRA, FELIPE SEGABINAZZI. PRODUÇÃO DE LINGUIÇA FRESCAL UTILIZANDO O PÓ DE AIPO EM SUBSTITUIÇÃO AO NITRITO E EXTRATO DE ALECRIM COMO ANTIOXIDANTE. 2020. Accessed on: 8 Dec. 2022.

ŠOJIC, Branislav; PAVLIĆ, Branimir; TOMOVIĆ, Vladimir; IKONIĆ, Predrag; ZEKOVIĆ, Zoran; KOCIĆ-TANACKOV, Sunčica; ĐUROVIĆ, Saša; ŠKALJAC, Snežana; JOKANOVIĆ, Marija; IVIĆ, Maja. Essential oil versus supercritical fluid extracts of winter savory (*Satureja montana* L.) – Assessment of the oxidative, microbiological and sensory quality of fresh pork sausages. *Food Chemistry*, vol. 287, p. 280–286, 30 Jul. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.12.137>. Accessed on: 5 Dec. 2022.

SOUZA, Ana Carolina de Lima; MORAES, Ariany Nascimento; MARTINS, Larissa Oliveira; ATHOUGUIA, Tamires da Silva Prata; NAZARÉ, Tiago Bittencourt. Simulação de uma linha de produção de biscoitos utilizando o software Arena. *XI Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial*, , p. 1–10, 2017.

SOUZA, Barbara Beatriz Ferrari; ZUMBA, Leticia Angelina; EBERSON, Jane Maria dos Santos. OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE ABASTECIMENTO E EXPEDIÇÃO EM UMA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA. *XI FATECLOG*, vol. 1, p. 1–7, 2020.

SUBRAMANIYAN, Mukund; SKOOGH, Anders; BOKRANTZ, Jon; SHEIKH, Muhammad Azam; THÜRER, Matthias; CHANG, Qing. Artificial intelligence for throughput bottleneck analysis – State-of-the-art and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 60, p. 734–751, 1 Jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.07.021>. Accessed on: 10 Dec. 2022.

SUURS, Patricia; BARBUT, Shai. Collagen use for co-extruded sausage casings – A review. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 102, p. 91–101, 1 Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.06.011>. Accessed on: 5 Dec. 2023.

TABANELLI, Giulia; BARBIERI, Federica; SOGLIA, Francesca; MAGNANI, Rudy; GARDINI, Gabriele; PETRACCI, Massimiliano; GARDINI, Fausto; MONTANARI, Chiara. Safety and technological issues of dry fermented sausages produced without nitrate and nitrite. *Food Research International*, vol. 160, p. 111685, 1 Oct. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111685>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

VALIATTI, Tiago Barcelos; SANTANA, Juliana Rodrigues; SANTOS, Fernanda Fernandes dos; ROMÃO, Natália Faria; SOBRAL, Fabiana de Oliveira Solla Sobral. Vista do QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DE LINGUIÇAS TIPO FRESCAL COMERCIALIZADAS NO INTERIOR DO ESTADO DE RONDÔNIA. 2021. Available at: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/3509/2820>. Accessed on: 3 Dec. 2022.

VIEIRA, BRUNO SANTOS; MENDES, LÚCIO GALVÃO; ANDRADE, ELIZANE DE. A UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO PARA O ENSINO E APRENDIZAGEM DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO: UMA PROPOSTA DIDÁTICA.<
<https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2330>> 2020. 2020.

VILLANI, Emília; PONTES, Rodrigo Pastl; CORACINI, Guilherme Kisseloff; AMBRÓSIO, Ana Maria. Integrating model checking and model based testing for industrial software development. *Computers in Industry*, vol. 104, p. 88–102, 1 Jan. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2018.08.003>. Accessed on: 14 Dec. 2022.

VUKOVIC, Petar; COLLISCHON, Matthias; FRANKE, Jörg. Simulation software design as a potential solution to the increasing complexity of industrial communication networks. *Procedia CIRP*, vol. 97, p. 1–6, 1 Jan. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2020.07.002>. Accessed on: 15 Dec. 2022.

WANG, Jun Qiang; CHEN, Jian; ZHANG, Yingqian; HUANG, George Q. Schedule-based execution bottleneck identification in a job shop. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 98, p. 308–322, 1 Aug. 2016. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2016.05.039>. Accessed on: 7 Dec. 2023.

APÊNDICE A – TEMPO DE UTILIZAÇÃO DOS MAQUINÁRIOS

Quebra-blocos (s)	Tombador (s)	Pesagem (s)	Moedor (s)	Salmoura (s)	Misturador (s)	Tempo total (s)	Tempo total (min)
44	27	48	103	128	209	559	9,3
42	33	38	118	106	223	560	9,3
56	38	32	117	108	203	554	9,2
43	29	30	114	105	220	541	9,0
49	35	38	118	117	238	595	9,9
52	32	49	117	107	225	582	9,7
43	25	34	135	125	222	584	9,7
36	29	40	164	150	209	628	10,5
51	24	42	153	118	219	607	10,1
48	31	45	112	132	256	624	10,4
50	26	19	105	123	202	525	8,8
48	19	39	177	145	230	658	11,0
41	29	22	174	136	194	596	9,9
48	26	26	140	118	202	560	9,3
40	30	34	114	128	222	568	9,5
46	32	36	150	119	231	614	10,2
58	35	45	140	127	204	609	10,2
77	43	32	131	162	213	658	11,0
42	39	30	119	145	224	599	10,0
46	33	42	178	128	197	624	10,4
49	33	37	131	122	211	583	9,7
52	29	39	123	112	206	561	9,4
53	22	44	142	119	194	574	9,6
48	30	30	121	116	187	532	8,9
46	20	26	138	132	224	586	9,8
40	18	29	121	108	207	523	8,7
51	26	32	138	112	201	560	9,3
49	28	28	132	126	213	576	9,6
44	45	36	125	119	209	578	9,6
51	38	39	131	69	224	552	9,2
35	25	38	171	110	181	560	9,3
48	28	29	123	117	192	537	9,0
55	25	31	140	126	185	562	9,4
47	23	22	127	112	209	540	9,0
58	23	31	183	108	238	641	10,7
58	20	20	136	99	186	519	8,7
48	24	24	128	113	204	541	9,0
42	28	38	173	101	100	482	8,0

Quebra-blocos (s)	Tombador (s)	Pesagem (s)	Moedor (s)	Salmoura (s)	Misturador (s)	Tempo total (s)	Tempo total (min)
40	26	35	119	108	218	546	9,1
43	27	46	122	102	192	532	8,9
36	22	41	130	114	206	549	9,2
42	24	32	148	108	225	579	9,7
46	26	34	192	95	218	611	10,2
45	28	48	133	102	214	570	9,5
53	41	31	136	126	227	614	10,2
46	30	29	131	116	222	574	9,6
37	28	32	128	109	213	547	9,1
47	42	38	163	121	225	636	10,6
39	29	31	147	108	209	563	9,4
43	46	24	154	117	222	606	10,1
52	24	24	160	100	233	593	9,9
44	17	30	166	98	241	596	9,9
48	19	23	158	130	253	631	10,5
37	21	41	195	112	236	642	10,7
52	27	27	153	109	239	607	10,1
42	31	23	147	107	247	597	10,0
49	29	28	154	103	229	592	9,9
45	26	21	152	91	223	558	9,3
36	27	24	175	102	237	601	10,0
46	43	28	181	104	249	651	10,9
44	28	26	165	117	220	600	10,0
52	31	19	149	129	226	606	10,1
63	26	29	167	104	237	626	10,4
49	24	26	182	119	245	645	10,8
51	30	30	134	116	239	600	10,0
56	28	32	139	95	201	551	9,2
72	32	35	147	112	248	646	10,8
55	29	43	169	99	229	624	10,4
49	38	39	173	117	243	659	11,0
44	35	33	185	128	238	663	11,1
66	31	28	182	109	231	647	10,8
61	29	33	169	113	249	654	10,9
58	29	24	172	103	227	613	10,2
54	27	29	175	107	215	607	10,1
59	31	28	191	100	199	608	10,1
48	40	26	184	110	216	624	10,4
55	36	35	173	102	231	632	10,5
62	32	31	169	104	249	647	10,8
50	29	17	172	106	239	613	10,2
51	26	19	135	114	228	573	9,6
67	28	21	144	92	235	587	9,8
56	26	27	178	97	240	624	10,4

Quebra- blocos (s)	Tombador (s)	Pesagem (s)	Moedor (s)	Salmoura (s)	Misturador (s)	Tempo total (s)	Tempo total (min)
58	28	31	169	101	211	598	10,0
49	30	20	126	100	216	541	9,0
44	26	24	137	111	209	551	9,2
51	27	28	142	94	218	560	9,3
55	29	26	156	99	207	572	9,5
61	31	27	164	123	215	621	10,4
51	32	22	149	117	200	571	9,5
60	28	24	172	122	218	624	10,4
49	25	26	155	100	227	582	9,7
53	41	28	162	100	213	597	10,0
59	44	41	128	98	199	569	9,5
57	38	39	149	121	207	611	10,2
49	34	41	134	117	215	590	9,8
63	37	35	177	112	212	636	10,6
71	29	29	167	108	200	604	10,1
69	30	34	153	101	216	603	10,1
69	30	32	191	99	222	643	10,7
59	31	28	176	121	221	636	10,6
55	29	30	168	117	219	618	10,3

Fonte: A autora, 2024.