



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MAYARA KARLA DE LIMA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM PROCESSO DE MOAGEM INDUSTRIAL  
ATRAVÉS DE TEORIA DAS FILAS E SIMULAÇÃO**

Caruaru  
2020

MAYARA KARLA DE LIMA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM PROCESSO DE MOAGEM INDUSTRIAL  
ATRAVÉS DE TEORIA DAS FILAS E SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

**Área de concentração:** Pesquisa Operacional.

**Orientador:** Prof<sup>o</sup>. Cristina Pereira Medeiros

CARUARU

2020

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária - Simone Xavier - CRB/4 - 1242

L732a    Lima, Mayara Karla de.  
          Análise de desempenho em processo de moagem Industrial através de teoria das  
          filas e simulação. / Mayara Karla de Lima. – 2020.  
          43 f. ; il. : 30 cm.

          Orientadora: Cristina Pereira Medeiros.  
          Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de  
          Pernambuco, CAA, Design, 2020.  
          Inclui Referências.

          1. Teoria das filas. 2. Análise de desempenho. 3. Simulação. I. Medeiros,  
          Cristina Pereira (Orientadora). II. Título.

CDD 658.5 (23. ed.)

UFPE (CAA 2020-113)

MAYARA KARLA DE LIMA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO EM PROCESSO DE MOAGEM INDUSTRIAL  
ATRAVÉS DE TEORIA DAS FILAS E SIMULAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia de Produção da Universidade  
Federal de Pernambuco como requisito  
parcial para a obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: 01/12/2020.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>o</sup>. MSc. Cristina Pereira Medeiros (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>o</sup>. Dr. José Leão e Silva Filho (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lucimário Gois de Oliveira Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho marca a conclusão de uma etapa grandiosa em minha vida pessoal e profissional, pois foram anos de dedicação com mudanças de curso, campus e cidades. Cresci como pessoa e profissional. Agora, ao fim dessa jornada, sou grata por todos aqueles que me apoiaram nas decisões e na caminhada.

Agradeço Primeiramente a Deus por conceder a vida e a realização desse sonho. A meus pais – Fátima e Miguel –, que dedicam as vidas em me apoiar e me incentivar a correr atrás dos meus objetivos com dignidade. Aos meus avós – José Laureano (*in memoria*) e Josefa Lopes –, que sempre prezaram pela educação e crescimento das netas e que tanto torceram por este momento. Agradeço a minha irmã – Maysa –, que foi minha companheira em Recife na divisão de jornada graduação/trabalho e que muito me ajudou. Ao meu noivo, Gentil Fideles, por estar presente nesta trajetória me apoiando, ensinando e sendo meu amigo acima de tudo. Ao apoio dos meus amigos de colégio, graduação e trabalho. A minha orientadora, Prof. Cristina Medeiros, e a todos os professores do Centro Acadêmico do Agreste (CAA) pelos ensinamentos e suporte.

## RESUMO

Este trabalho se propõe analisar o desempenho do processo de mistura/moagem em uma indústria de alimentação para pets por meio de um estudo de caso. Foi utilizada teoria das filas seguida de avaliações de alternativas de melhorias simuladas no *software* Arena. A fábrica, objeto desse estudo, possui 4 principais etapas de processo: moega, mistura, extrusão e empacotamento. O trabalho é focado na mistura, onde acontece a preparação da receita com dosagens manuais e automáticas, mistura dos macros e micro ingredientes, moagem e peneiramento para controle de granulometria. A análise de filas e do relatório da simulação comprovou o desbalanceamento na moagem. A simulação semanal mostrou que para a meta de produção a ser atendida é exigida do moinho uma disponibilidade bastante elevada, comprometendo atividades preventivas essenciais para confiabilidade do equipamento. Considera-se para esta análise a restrição de investimento financeiro, sendo inviável para o negócio aumentar a quantidade de servidores na moagem. Além disso, não é possível fazer intervenção por meio de projeto estrutural e, portanto, as melhorias propostas são focadas em redução no tempo de processamento com os recursos existentes.

**Palavras-Chaves:** Teoria das Filas. Análise de Desempenho. Simulação.

## **ABSTRACT**

This work proposes to analyze the performance of the mixing / grinding process in a pet food industry through a case study. Queuing theory followed by evaluations of simulated improvement alternatives in the Arena software was used. The factory, object of this study, has 4 main process steps: hopper, mixing, extrusion and packaging. The work is focused on mixing, where the recipe is prepared with manual and automatic dosages, mixtures of macros and micro ingredients, grinding and sieving to control granulometry. The analysis of queues and the simulation report proved the unbalance in the grinding and the weekly simulation showed that for the production goal to be met, the mill requires a very high availability, compromising preventive activities essential for the reliability of the equipment. For this analysis, the restriction of financial investment is considered, and it is not feasible for the business to increase the number of servers in the milling. In addition, it is not possible to intervene through structural design and, therefore, the proposed improvements are focused on reducing processing time to increase production volume.

**Keyword:** Queue Theory. Performance Analysis. Simulation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Sistema de Filas.....                               | 13 |
| Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada.....           | 19 |
| Figura 3- Etapas do processo .....                            | 21 |
| Figura 4- Etapa da mistura. ....                              | 22 |
| Figura 5- Rede de filas .....                                 | 23 |
| Figura 6- Pesagem.....                                        | 24 |
| Figura 7 - Rede de filas do moinho.....                       | 25 |
| Figura 8- Recirculação de farinha .....                       | 26 |
| Figura 9 - Modelo M/M/4 .....                                 | 27 |
| Figura 10 - Rede de filas extrusão/secador/recobrimento ..... | 28 |
| Figura 11 - Entidades processadas na entrada.....             | 31 |
| Figura 12 - Ocupação dos servidores. ....                     | 33 |
| Figura 13 - Diagrama Ishikawa.....                            | 39 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Parâmetros operacionais em um sistema estável. .... | 14 |
| Tabela 2 - Coletada de dados. ....                             | 19 |
| Tabela 3 - Parâmetros de chegada nas balanças. ....            | 24 |
| Tabela 4 - Recirculação.....                                   | 26 |
| Tabela 5 - Tempo médio de atendimento.....                     | 29 |
| Tabela 6 - Parâmetros da simulação.....                        | 30 |
| Tabela 7 - Tempo médio de espera (min). ....                   | 32 |
| Tabela 8 - Número médio de entidades na fila.....              | 33 |
| Tabela 9 - Simulação 24h.....                                  | 35 |
| Tabela 10 - Simulação semanal. ....                            | 36 |

## SUMÁRIO

|            |                                                            |           |
|------------|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>10</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Objetivo Geral .....</b>                                | <b>11</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos Específicos .....</b>                         | <b>11</b> |
| <b>2</b>   | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b> | <b>12</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Teoria das Filas .....</b>                              | <b>12</b> |
| 2.1.1      | Parâmetros Operacionais .....                              | 14        |
| 2.1.2      | Rede de Filas .....                                        | 15        |
| <b>2.2</b> | <b>Simulação .....</b>                                     | <b>16</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Revisão Bibliográfica .....</b>                         | <b>17</b> |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA .....</b>                                   | <b>19</b> |
| <b>4</b>   | <b>ESTUDO DE CASO .....</b>                                | <b>21</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Fluxo do Processo .....</b>                             | <b>23</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Modelagem da Pesagem .....</b>                          | <b>24</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Modelagem da Moagem .....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>4.4</b> | <b>Modelagem extrusão, secagem e recobrimento .....</b>    | <b>28</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Análise da Rede .....</b>                               | <b>28</b> |
| <b>5</b>   | <b>SIMULAÇÃO .....</b>                                     | <b>30</b> |
| <b>5.1</b> | <b>O Modelo .....</b>                                      | <b>30</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Relatório da Simulação .....</b>                        | <b>31</b> |
| <b>6</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                        | <b>34</b> |
| <b>7</b>   | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                     | <b>40</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                   | <b>41</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema produtivo é rotineiramente alterado e atualizado para buscar maior competitividade e atratividade. A eliminação de desperdício é a principal estratégia para aumentar a capacidade e reduzir custos. As organizações que buscam ser altamente competitivas sentem a necessidade de aprofundar cada vez mais suas análises para o fluxo e balanceamento dos seus processos.

Segundo Slack (2009), as organizações estão cada vez mais voltando suas decisões para o planejamento estratégico de produção. De acordo com ele, todos os aspectos básicos da competitividade estão contidos no escopo de atuação de abrangência da operação. Ela intervém diretamente nas perspectivas de desempenho competitivo, como: eliminação ou redução de erros, entregas cada vez rápidas, atendimento a prazos, habilidade em introduzir novos produtos ou serviços em prazos adequados, oferecer uma variedade de produto pensando na necessidade e exigência do cliente, modificar quantidades ou prazos de entrega conforme demanda do mercado, habilidade para buscar maior margem de lucro.

A Euromonitor é uma empresa de pesquisa mercado que estuda setores e comportamento do consumidor, segundo ela, em 2019 o Brasil se tornou o segundo maior mercado *pet* do mundo, esse mercado engloba bens e serviços de nutrição, saúde, beleza e bem-estar de cães e gatos (EUROMONITOR, 2020). Essa perspectiva desencadeia aquecimento no setor e as empresas dominantes se sentem desafiadas a manter seu mercado.

A fábrica estudada abastece o mercado das regiões Norte e Nordeste do Brasil. Seu portfólio oferece linhas de produtos econômicas e *premium* e sua marca tem forte participação no mercado nacional. Seu processo é formado basicamente por 4 etapas, onde duas delas funcionam em fluxo contínuo e uma é considerada como gargalo do processo. Esse fundamento pode ser considerado empírico, pois é baseado na experiência e observação.

No processo produtivo da empresa, verifica-se desbalanceamento entre etapas do processo. Atualmente não há demonstração matemática com fundamentação teórica que mostre às áreas envolvidas o real problema. Frente a esse cenário, por meio da Teoria das filas, pretende-se analisar o fluxo de entrada e saída de cada processo.

A ineficiência decorrente de espera é um dos principais fundamentos da Teoria das Filas. Neste trabalho, busca-se, portanto, estruturar o fluxo do processo, com análise de tempo de processamento e espera, através do estudo da fila e a análise a partir de simulação de pontos de oportunidade para aumento de eficiência. Ao fim, o diagrama de Ishikawa é utilizado para avaliar todos os fatores relacionados à perda. Ressalta-se que ao decorrer do estudo é considerada restrição financeira do negócio, as oportunidades de melhoria devem ser atacadas sem investimento em novos equipamentos.

Esse trabalho está estruturado em 6 capítulos. Capítulo 1, a Introdução, apresenta o objetivo e justificativa do estudo. No Capítulo 2 é feita a explanação teórica dos elementos essenciais do estudo e uma breve apresentação de estudos correlacionados. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada. No capítulo 4, estudo de caso, é detalhado o processo fabril onde o estudo foi aplicado fazendo aplicação da fundamentação teórica abordada no Capítulo 2. No Capítulo 5 o estudo é analisado a partir da técnica da simulação. Em seguida, são apresentados os resultados da Análise, Capítulo 6, e a conclusão no Capítulo 7.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral desse trabalho consiste em modelar matematicamente parte do sistema fabril através da teoria das filas e simulação de processos com foco em moagem, bem como sua atividade predecessora (pesagem) e sucessora (extrusão). As etapas posteriores à extrusão configuram um sistema em fluxo contínuo e não atendem a definição da fila, caracterizando a delimitação do escopo deste problema.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Descrever os componentes do sistema de filas;
- Analisar gargalos na linha de produção;
- Identificar ociosidade/indisponibilidade de postos de trabalho e equipamento;
- Avaliar cenários distintos na simulação;
- Propor melhorias.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta a base conceitual deste trabalho. Ele traz os conceitos da teoria das filas e técnicas de simulação, bem como as contribuições dessas metodologias no alcance dos desafios atuais das empresas.

### 2.1 Teoria das Filas

Segundo Hillier e Lieberman (2013) o tempo de espera é estudado em várias dimensões na teoria das filas, ela permite que os sistemas de filas do dia a dia sejam representados por modelos diferentes de filas.

Ainda segundo Hillier (2013), há um equilíbrio a ser encontrado. Prover uma capacidade excedente de atendimento eleva o custo de forma expressiva, porém, fornecer capacidade inferior de atendimento traz uma espera excessiva e ineficiência ao sistema.

Andrade (2004) afirma que há seis elementos que caracterizam um sistema de filas. Três desses são obrigatórios e os demais, quando não forem informados, são considerados padrão:

**a) Tempo entre chegadas dos clientes:** quando as chegadas ocorrem em intervalos de tempo constantes, chama-se de modelo determinístico. Quando esse tempo é representado por uma variável aleatória seguindo uma distribuição de probabilidade, o modelo é chamado de probabilístico. A taxa média de chegada entre clientes é representada pelo parâmetro  $\lambda$ .

**b) Tempo de atendimento:** também pode ser determinístico ou probabilístico. A taxa média de atendimento é representada por  $\mu$ .

**c) Número de servidores:** quantidade de atendentes disponíveis. É representado pelo parâmetro  $s$ .

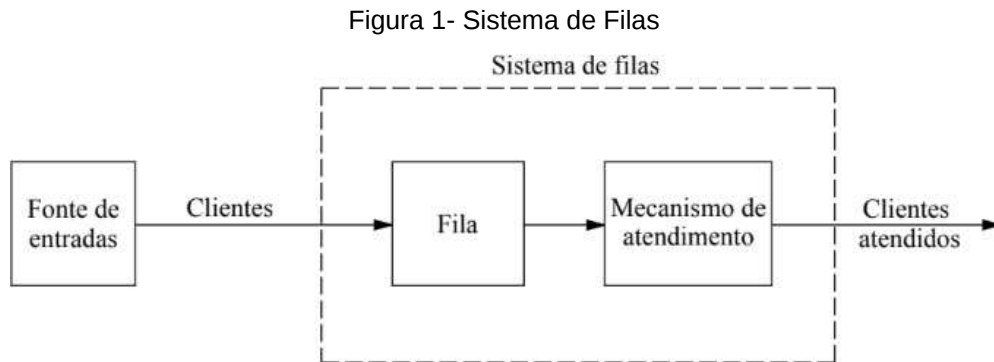
Os parâmetros a seguir possuem uma consideração padrão que é subentendida sempre que o parâmetro não for informado.

**d) Capacidade do sistema:** número total de clientes que o sistema suporta, abrange clientes em atendimento e em espera. Quando a capacidade for omitida, ele é considerado capacidade infinita  $\infty$ .

**e) Tamanho da população:** indica a quantidade de clientes que pode chegar no sistema. A classificação pode ser finita ou infinita, omitida quando infinita.

**f) Disciplina da fila:** é a forma pela qual os usuários saem da fila e seguem para atendimento. As principais classificações são:

- FIFO (*first in, first out*): primeiro a entrar no sistema e primeiro a ser atendido;
- LIFO (*last in, first out*): último a entrar no sistema e primeiro a ser atendido. Quando a disciplina da fila não é informada, esse modelo é considerado.
- ALEATÓRIO: quando a ordem de atendimento não tem relação com a ordem de chegada;
- PRIORIDADE: a ordem de atendimento é determinada por critérios de prioridades.



Fonte: Hillier & Lieberman (2006)

Um outro parâmetro fortemente estudado na teoria das filas, e que nesse trabalho é de grande importância, é a ocupação do sistema,  $\rho$ . Matematicamente, é descrito pela Equação 1:

$$\rho = \frac{\lambda}{s \cdot \mu} \quad (\text{Equação 1})$$

Através desse parâmetro avalia-se ociosidade ou super lotação de uma instalação. Quando  $\rho > 1$ , a taxa de ocupação é superior a 100%, ou seja, a taxa de chegada é maior que a taxa de atendimento. Quando  $\rho < 1$  significa que a taxa de ocupação é inferior a 100%, por tanto, em algum momento, o sistema está ocioso porque a taxa de chegada é menor que a taxa de atendimento. Além da ociosidade, esse parâmetro avalia também a estabilidade do sistema. Um sistema estável é quando  $s_i \mu_i > \lambda$ , caso contrário, no sistema instável, a fila aumentará indefinidamente, porque  $s_i \mu_i < \lambda$ . Neste caso, avalia-se a possibilidade de aumentar a quantidade de servidores para estabilizar o fluxo de atendimento.

Os elementos de filas descritos nessa seção são representados através da notação de Kendall. Essa notação foi criada por David Kendall, ele descreve os modelos de fila através de uma notação sequencial dos seis elementos de filas descritos anteriormente, V/W/X/Y/N/Z, onde:

- V - Modelo de chegada, os valores mais usuais são M (distribuição exponencial), G (distribuição geral), D (tempo fixo, determinístico);
- W - Modelo do serviço, recebe os mesmos do modelo de chegada;
- X - Número de servidores disponíveis;
- Y – Capacidade do sistema;
- N - Tamanho da população;
- Z - Disciplina da fila FIFO.

### 2.1.1 Parâmetros Operacionais

No caso de um sistema estável, isto é, quando o sistema apresenta uma taxa de atendimento maior que a taxa de chegada, ele é caracterizado por variáveis aleatórias que serão descritas a seguir na Tabela 1:

Tabela 1 - Parâmetros operacionais em um sistema estável.

| Parâmetro                                      | Fórmula matemática                                                                   |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Probabilidade de o sistema estar vazio $P_0$ : | $P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{s-1} \frac{\rho^j}{j!} + \frac{\rho^s}{(s-1)!(s-\rho)}}$ |
| Número esperado de clientes na fila $L_q$ :    | $L_q = \frac{P_0(\lambda/\mu)^s \rho}{s!(1-\rho)^2}$                                 |
| Número esperado de clientes no sistema $L$ :   | $L = L_q + \rho$                                                                     |
| Tempo de espera na fila $W_q$ :                | $W_q = \frac{L_q}{\lambda}$                                                          |
| Tempo total no sistema:                        | $W = W_q + \frac{1}{\mu}$                                                            |

Fonte: Hillier & Lieberman (2006)

Esses parâmetros partem da consideração que os tempos entre atendimento e tempos de atendimento sejam distribuídos exponencialmente seguindo o modelo Markoviano M/M/S, ou seja, um caso especial do processo de nascimento e morte com  $\lambda$  e  $\mu$  constante sem dependência no tempo.

### 2.1.2 Rede de Filas

Outro conceito importante no estudo das filas são as redes composta por duas ou mais filas. Segundo Hillier e Lieberman (2013), rede de filas são redes de instalações de atendimento onde clientes devem receber atendimento em algumas ou todas essas instalações.

Segundo Hillier (2006), um dos resultados mais relevantes do estudo das redes de filas é a propriedade de equivalência. A propriedade da equivalência supõe que uma instalação de atendimento com:

- Número de atendentes  $s$
- Fila infinita com entrada de Poisson, parâmetro  $\lambda$
- Distribuição exponencial no tempo de atendimento com parâmetro  $\mu$  para cada atendente (M/M/s), onde  $s\mu > \lambda$

Tem saída de estado estável em um processo de Poisson com parâmetro  $\lambda$ . A ligação direta chegada/atendimento nos outros pontos de atendimento é a entrada de Poisson, desde que o tempo de atendimento também seja exponencialmente distribuído. Assim, os clientes seguirão de uma instalação até outra e terão entrada de Poisson.

Diante disso, serão apresentados dois tipos específicos de classificação para as redes. O primeiro deles são as filas infinitas em série.

No sistema de filas infinitas em série os clientes seguem uma sequência fixa de instalações e cada instalação possui seus servidores e sua fila. Como consequência do teorema da equivalência, cada instalação de atendimento tem uma entrada de Poisson com parâmetro  $\lambda$ .

Considera-se que todos os clientes precisam receber atendimento em uma série de instalações de atendimento em uma sequência fixa. Em cada instalação há uma fila infinita e os clientes chegam na primeira instalação seguindo um processo de Poisson com parâmetro  $\lambda$ . Cada instalação  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) tem uma distribuição exponencial de tempos de atendimento com parâmetro  $\mu_i$  para seus  $s_i$  atendentes, em que  $s_i \mu_i > \lambda$ . Da propriedade da equivalência: em um estado estável, cada instalação de atendimento possui uma entrada de Poisson com parâmetro  $\lambda$ . Portanto, o modelo M/M/s se aplica para analisar cada instalação independentemente dos demais. (HILLIER, 2013, p. 47).

Assim, a probabilidade conjunta de  $n_1$  clientes na instalação 1,  $n_2$  clientes na instalação 2, é dada pelo produto das probabilidades individuais é expressa pela forma do produto:

$$P\{(N_1, N_2, \dots, N_m) = (n_1, n_2, \dots, n_m)\} = P_{n1} P_{n2} \dots P_{nm} \quad (\text{Equação 2})$$

De forma similar, o tempo de espera e o número esperado de clientes no sistema podem ser obtidos somando os valores de cada instalação.

O segundo modelo é bastante popular na literatura, são as redes de Jackson. Os modelos M/M/s também são utilizados nas redes de Jackson, permitindo que cada instalação seja analisada de forma independente. A diferença para as filas infinitas em série é que aqui os clientes não seguem uma sequência fixa e possuem, para cada instalação, chegadas externas e de outros servidores.

Nas redes é possível definir o número de clientes no sistema e dissociar a rede em instalações independentes, desde que o tempo entre chegadas externas e tempo de atendimento sejam independentes e exponencialmente distribuídos, processo de Poisson (Bitran, 2001).

## 2.2 Simulação

Conforme Andrade (2004), a simulação permite estudar variações no meio ambiente e avaliar seus efeitos no sistema. Soluções analíticas podem exigir um avançado conhecimento matemático, enquanto técnicas de simulação traz uma percepção mais intuitiva, podendo exigir pouca ou nenhuma matemática avançada. Para Prado (2006), a simulação permite analisar a modelagem de filas trazendo diferentes alternativas de análise do mundo real e suas variáveis mais complexas.

São técnicas importantes que apoiam a tomada de decisão e permitem explorar um sistema e os impactos de suas variações sem maiores complexidades analíticas. A junção dessa técnica com a teoria das filas é comumente utilizada, a razão disso é a possibilidade de fazer testes com configurações distintas com apenas dois parâmetros essenciais da fila: taxa de chegada e taxa de atendimento. A aplicação da simulação nesse estudo foi envolvida a partir da comprovação de instabilidade do sistema.

Diferentes *softwares* estão disponíveis no mercado para análise de eventos discretos, no presente estudo foi utilizado a versão estudantil do Arena. Esse *software*

possui um ambiente gráfico que permite criar animações e fazer uma análise estatística.

## 2.3 Revisão Bibliográfica

O mercado *pet* vem ganhando destaque em análises de mercado, o qual Terra (2019) relata uma explicação para a expansão desse setor, mesmo em tempos de crise. Os laços emocionais dos donos em relação a seu cão ou gato faz com que os gastos com eles não sejam umas das primeiras opções na hora de reduzir o orçamento doméstico. Esse cenário aquece o surgimento de novos concorrentes e intensifica a necessidade de ser eficiente para manter-se competitivo.

Diante dessa conjuntura, o trabalho de Toso (2005) utilizou a modelagem matemática no dimensionamento e sequenciamento de lotes em uma fábrica de ração. Foi verificada uma forma de atender a demanda reduzindo o estoque e as perdas por *setup*, utilizou o *software* GAMS/ CPLEX para encontrar as alternativas possíveis. Em seu trabalho há uma grande abrangência de restrições relacionadas a custo de hora extra, capacidade de equipamento, demanda de mercado, balanceamento de estoque, sequência entre famílias de produtos e estoque de segurança.

Ainda no aspecto de busca no aumento da produtividade desse mercado, Ribeiro (2019) realizou uma análise para otimização energética em moinho. Ele concluiu que a eficiência da moagem é influenciada diretamente pela característica da matéria-prima, como: estrutura homogênea ou heterogênea, dimensão inicial das partículas, umidade, sensibilidade à variação da temperatura, dureza do material e tendência à aglomeração. Esses pontos levantados se correlacionam com abordagens também avaliadas no presente estudo, uma vez que a dimensão e umidade das partículas dos ingredientes trazem uma variação no tempo de processamento que será o foco desse estudo.

Análise de moagem também foi realizada por Jonas Maiczuk (2013). Ele estudou fatores que elevam a geração de retrabalho oriunda do processo de moagem na fabricação de embutidos e utilizou Diagrama de Ishikawa para racionalizar todos os fatores. Por se tratar de um processo majoritariamente manual, o foco da melhoria proposta foi em mão de obra. No estudo aqui desenvolvido, o Ishikawa será utilizado

para levantamento de causas que elevam o tempo de processamento na etapa da moagem, essa é uma parte do processo que gera um tempo elevado de espera.

É sob a óptica de tempo de espera que a análise da fila permite analisar a moagem como ponto de oportunidade para ganho de produtividade nesse estudo.

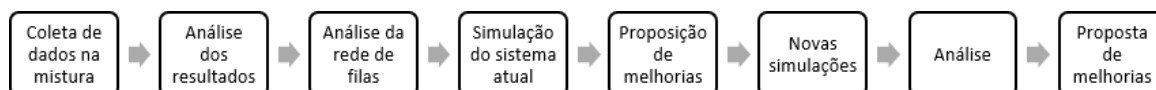
Na literatura, autores correlacionam a fila com processos industriais e setores distintos. Corrêa (2003) afirma que para produzir com o máximo de eficiência, toda empresa precisa planejar sua produção, pois a eficiência representa a utilização racional e intensiva dos recursos produtivos. Camelo *et al.* (2010) utilizou a Teoria das Filas e Simulação para avaliar de forma comparativa o desempenho de diferentes *piers* do Terminal Marítimo de Ponta de Madeira, o que permitiu avaliar possibilidades de investimento em novas instalações. O estudo aqui aplicado não adentra nesse método comparativo em processo ou equipamento semelhantes, uma vez que a comparação é realizada no balanceamento em diferentes etapas. Macedo *et al.* (2017) constatou em seu estudo de rede de filas que a aquisição de um novo recurso em uma indústria moveleira reduziria drasticamente a ociosidade de um outro recurso complementar e aumentaria a eficiência global da rede de fila. Validar investimentos financeiros é uma das grandes diretrizes de aplicação do estudo de tempo espera, é uma aplicação diferente do que será apresentado aqui, atendendo às restrições de investimentos.

Para alguns autores, o estudo de análise de tempo de espera ou processamento são trabalhados mais profundamente com técnicas de simulação, é o caso de Ramos *et al.* (2014). O *software* Arena foi utilizado por Ramos *et al.* (2014) para avaliar a dinâmica operacional em um restaurante. Seu trabalho foi conduzido ao levantamento de alternativas para encontrar o número ideal de cadeiras na mesa de *buffet* para aumentar o número de clientes atendidos. Desta forma, ressalta-se que a simulação de eventos discretos pode ser aplicada em diferentes segmentos, compondo então oportunidade de estudo e aplicação neste trabalho buscando propor o tempo de duração ideal da moagem para aumentar a quantidade de lotes processados sem resultar em ocupação próxima a 100% do equipamento.

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho é um estudo de caso e iniciou com o entendimento da problemática em campo. A Figura 2 traz o sequenciamento das atividades desenvolvidas nesse estudo.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Próprio autor.

A análise é feita de forma quantitativa, portanto, o trabalho iniciou com levantamento dos dados. A Tabela 2 descreve os pontos de coleta e o método de medição.

Tabela 2 - Coletada de dados.

| Equipamento                  | Tamanho da amostra | Método de coleta                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Balanças 01, 02 e 03, moinho | 75                 | Tempo de processamento (min): Esses equipamentos possuem automação industrial. Por meio de um sistema com sensor de presença é possível acompanhar o momento de início e término da operação por lote.                                                                                                |
| Balança 04                   | 45                 | Tempo de processamento (min): Esse equipamento é manual, os dados foram cronometrados.                                                                                                                                                                                                                |
| Peneira                      | 100                | Massa de farinha que retorna para o moinho (ton): cada vez que a peneira manda a farinha novamente para o moinho, ela ativa uma rosca transportadora com célula de carga, no sistema é mostrado uma notificação de ativação da rosca e um banco de dados é gerado com a informação da célula de carga |

Fonte: Próprio autor.

Com os dados coletados seguiu-se para análise estatística. Foi feita a validação da distribuição de probabilidade que os clientes são gerados sobre o tempo (Poisson) e a distribuição de probabilidade do tempo entre chegadas (exponencial) utilizando o teste dos mínimos quadrados para avaliar o coeficiente de adequação.

A partir da análise da distribuição foi explorado o modelo Markoviano para validar a estabilidade do sistema M/M/S e modelar a rede de filas. Com o resultado encontrado na análise de filas, optou-se por utilizar técnicas de simulação para seguir a análise. O *software* Arena permitiu interagir com o modelo de forma virtual e encontrar oportunidades de melhorias e cenários para avaliação. Essas oportunidades foram exploradas e simuladas para buscar o melhor cenário atendendo às restrições. Para embasar essa busca foi realizada uma consulta de histórico no ano anterior para entender as implicações das alterações. Para atingir o objetivo foi montada uma equipe de trabalho para construção de um diagrama de Ishikawa para racionalizar as ações de melhorias a serem executadas.

## 4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será abordada a aplicação dos fundamentos teóricos apresentados nos capítulos anteriores. O estudo acontece em uma fábrica de ração, para cães e gatos, localizada no estado de Pernambuco. A fábrica opera em 3 turnos durante 6 dias na semana com horários programados para limpeza e manutenção preventiva na semana e nos turnos.

O processo produtivo é composto por 5 etapas: moega, mistura, extrusão, empacotamento e armazenamento/distribuição, conforme representado na Figura 3:

Figura 3- Etapas do processo.



Fonte: Próprio autor.

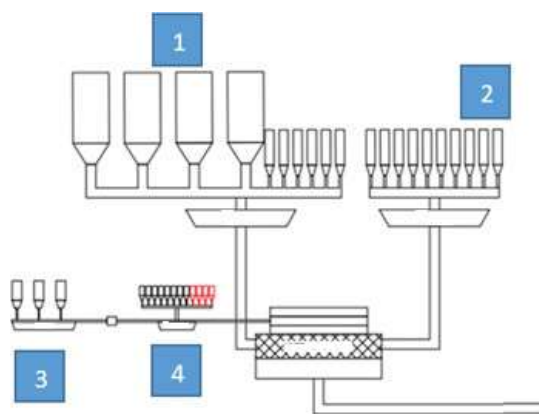
A moega é a área onde acontece a recepção e o descarregamento dos caminhões que trazem todas as matérias-primas, ou seja, é o início do processo. As principais atividades são: coleta de amostras para análise laboratorial e descarga de matéria-prima liberada em análise. As cargas são direcionadas para silos, onde ficam estocadas até posterior consumo. As matérias-primas são divididas em micro e macro ingredientes. Macro ingredientes são os ingredientes de maior participação nas receitas, por outro lado os micros ingredientes são as matérias-primas que possuem menor volume na receita.

Na mistura, foco deste trabalho, há o consumo e processamento primário das matérias estocadas na moega. Inicialmente, as matérias primas (MPs) são pesadas e dosadas de acordo com o que a receita pede. Há diferença entre pesagem de macro e micro ingredientes, englobando grãos e farinhas, porém as pesagens são feitas em paralelo, cujos fluxos são adicionados como entrada única na mistura. Possui 4 pontos de pesagem e eles são a fonte de entrada no sistema que seguem para o moinho, cujos elementos que aguardam processamento formam a fila.

O moinho é a etapa gargalo da mistura que transforma todas as Matérias Primas em mistura homogênea de farinha. Após moído, os lotes seguem em fluxo contínuo para peneira. Cada lote representa 2,5 toneladas de produto. A justificativa do enfoque desse trabalho para moagem será mais clara nas seções seguintes, quando for realizada a análise do fluxo de entrada e atendimento das instalações.

Os pontos de pesagem são demonstrados na Figura 4. Na etapa 1. A pesagem acontece de acordo com o que a receita para 1 lote, que equivale a 2,5 toneladas de produto. Os pontos 1 e 2 são sistemas de pesagem automática para macro ingredientes, os silos maiores armazenam grãos e os silos menores armazenam farinhas. O ponto 3 também é pesagem automática, contendo ingredientes micros e são armazenados em sacarias que requerem reabastecimento manual. No ponto de pesagem 4 é realizada pesagem manual de micro ingredientes, esta é a etapa mais lenta da pesagem, destoando um pouco em relação as dosagens automáticas. As pesagens nos 4 pontos acontecem simultaneamente, passam pelo misturador 1 sem parar para processamento e seguem para o moinho. O processamento no moinho é feito por lote.

Figura 4- Etapa da mistura.



Fonte: Próprio autor.

Na sequência à mistura está a etapa de extrusão, é onde acontece o cozimento e mistura toma a forma de ração. Na farinha recebida da mistura, são adicionados líquidos e vapor que ajudarão no cozimento do produto. A eficiência da fábrica é medida a partir da eficiência da extrusora, que possui duas atividades adicionais: secagem e recobrimento.

No empacotamento, etapa subsequente, acontece o resfriamento da ração proveniente da extrusora e o seu armazenamento. No empacotamento a estocagem é feita separando *kibbles* (grão de ração) por silo. Em seguida, as máquinas puxam todos os *kibbles* necessários para determinado pacote, envasam e o operador paletiza manualmente.

O produto final paletizado segue para o centro de distribuição rumo ao consumidor final.

#### 4.1 Fluxo do Processo

O processo de produção das rações é modelado como um sistema de filas. Para tal, considerasse um cliente cada lote de produto, sendo este equivale a 2,5 toneladas e é o “corpo” contável no sistema que requer atendimento; O servidor é cada máquina que atende (processa) o lote ao longo do fluxo de produção.

A Figura 5 traz o fluxo que o cliente percorre no processo mistura (pesagem, moinho, peneira), extrusão, secador, recobrimento e empacotamento, representada por uma rede de filas.

Figura 5- Rede de filas.



Fonte: Próprio autor

O fluxo inicia com a entrada externa na pesagem, representada por losangos na Figura 5. A pesagem é composta por 4 balanças que pesam ingredientes diferentes. Depois de pesados, os ingredientes são misturados e formam um cliente, representado por círculo na Figura 5. Esse cliente irá percorrer o fluxo de produção demonstrado na Figura 5, portanto, a próxima etapa é no moinho.

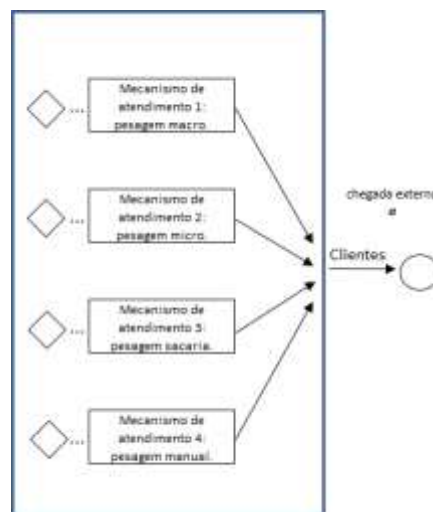
Na fábrica o moinho é conhecido pelas áreas operacionais como gargalo, em razão do tempo elevado de moagem. Esse conhecimento é baseado em comparação com as outras etapas do processo, de maneira empírica e por observação apenas, cujos detalhes sobre sua capacidade serão avaliados posteriormente. Ele recebe o cliente que veio da balança e o produto da recirculação que não atingiu a granulometria exigida pela peneira e que retornou para moagem. Não há fila, pois, ela funciona como meio de transporte entre o servidor moinho e o servidor extrusora. A Extrusora, o secador e recobrimento atendem ao mesmo cliente em série, mas não mais em lotes e sim em fluxo contínuo. No empacotamento o processamento acontece em paralelo em duas máquinas, cada uma com tamanhos de pacotes distintos. Por ser um trabalho em série e com tempo considerável de estoque, esse trabalho não abordará a modelagem do empacotamento.

## 4.2 Modelagem da Pesagem

Agora será analisada a dinâmica da fila de acordo com os elementos essenciais apresentados anteriormente. Da Figura 5 pode-se determinar que todos os lotes passarão em todas as instalações de atendimento, seguindo uma sequência fixa nas filas infinitas.

A chegada externa em cada fila é representada na Figura 6.

Figura 6- Pesagem



Fonte: Próprio autor

O tempo de atendimento de cada balança foi coletado e é apresentado na Tabela 3, vale ressaltar que para a coleta avaliou-se a padronização do método entre os equipamentos, pois as balanças operam de forma automatizada e com sensores de presença. Gráficos de corrente (A) mostram o tempo que ela passa em operação para cada atendimento.

Visto que o produto pesado em cada balança é um somatório para um lote e iniciam o atendimento em paralelo após o *start* da ordem de produção, o tempo entre chegada nas balanças são iguais e calculada a partir da programação diária da fábrica. A fábrica possui uma meta diária, rodando 24 horas, de 100 lotes.

Tabela 3 - Parâmetros de chegada nas balanças.

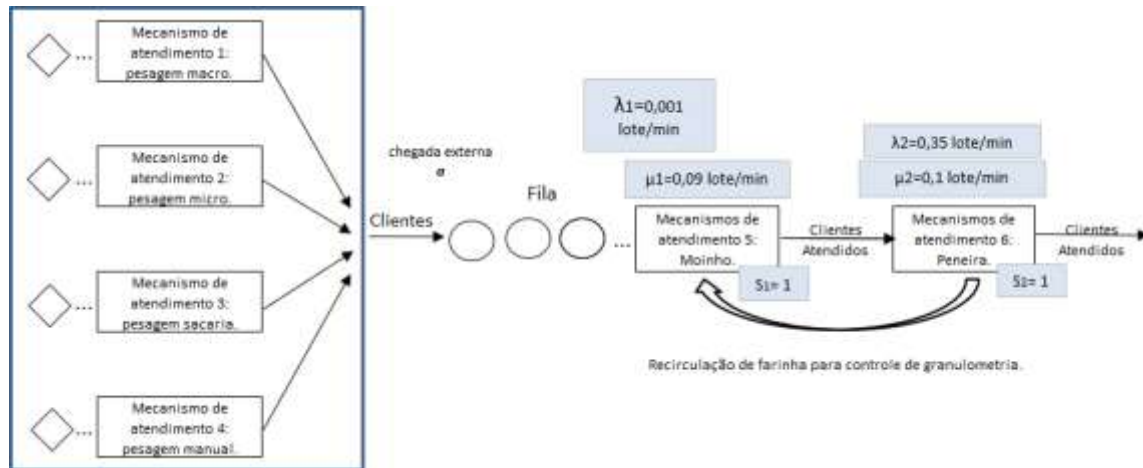
| Parâmetro                        | BL 01       | BL 02       | BL 03       | BL 04       |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tempo entre chegadas (min)       | 0,07        | 0,1         | 0,1         | 0,1         |
| Tempo médio de pesagem (min)     | 2,04        | 2,1         | 1,96        | 2,86        |
| Aproximação tempo de atendimento | exponencial | exponencial | Exponencial | exponencial |
| R <sup>2</sup>                   | 0,96        | 0,91        | 0,9         | 0,95        |

Fonte: Próprio autor

### 4.3 Modelagem da Moagem

A modelagem da moagem inicia com a formação do lote, as matérias primas pesadas em cada balança de juntam e formam um cliente. Esse cliente segue em fila para a moagem e é a entrada externa  $\alpha$  para a rede de filas

Figura 7 - Rede de filas do moinho.



Fonte: Próprio autor

Da propriedade de equivalência, cada instalação de atendimento é representada por uma entrada de Poisson com parâmetro  $\lambda$ . Assim o modelo M/M/s pode ser utilizado nas outras instalações apresentadas na Figura 5.

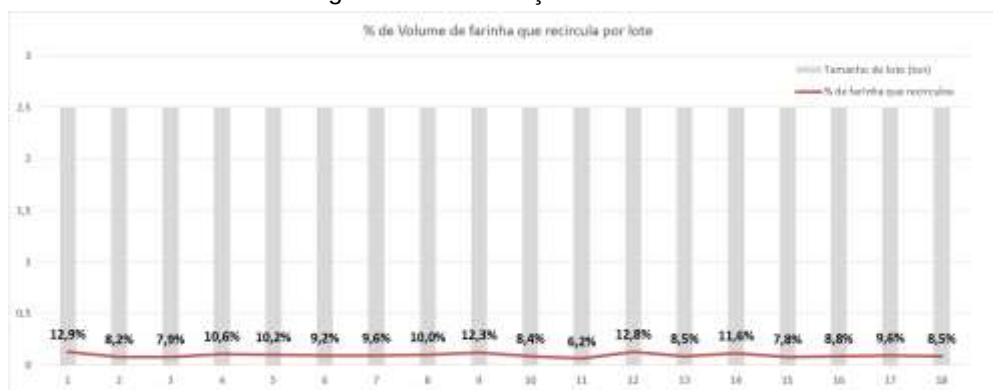
A chegada externa  $\alpha$  é considerada igual ao tempo médio de atendimento da BL 04, uma vez que, segundo a Tabela 3, a balança 4 manual é a que tem o maior tempo de atendimento e, ressalta-se que, o produto processado nas quatro balanças irá compor um lote para ser processado no moinho.

O tempo de moagem é apresentado segue uma distribuição exponencial com  $R^2=0,93$ . A coleta do tempo de moagem se deu da mesma forma que nas balanças, com base em gráficos de corrente. A variação existente entre os tempos de atendimento foi analisada e tem algumas causas encontradas: quando a mistura de farinhas está com umidade e gordura elevadas, ela tende a encrustar nas telas do moinho, elevando o tempo; A moagem desgasta o martelo, peça interna que “tritura” o grão. Quando o martelo está desgastado o tempo de moagem aumenta; outros parâmetros técnicos devem ser considerados, tais como temperatura interna do moinho e vibração. Quando esses parâmetros começam a variar a operação reduz a velocidade do moinho, elevando o tempo de moagem.

A etapa sucessora ao moinho é a peneira e não há fila entre eles, circulando em fluxo contínuo, porém com recirculação entre eles. A peneira faz a checagem de granulometria da farinha que sai do moinho, e, quando a granulometria necessária não for atingida, ela retorna a farinha para o moinho.

Foi avaliado o impacto do volume de farinha que recircula no moinho. Quanto maior for o volume do moinho, maior será o tempo de atendimento do lote. Foram analisados 18 clientes com recirculação em um universo de 100 clientes analisados.

Figura 8- Recirculação de farinha



Fonte: Próprio autor

Para cada percentual de farinha (em kg) que recircula, foi necessário entender o impacto no tempo de moagem, o qual espera-se um tempo maior devido a processamento de uma massa maior de farinha. Foi considerada uma relação linear entre massa e tempo de moagem para encontrar o tempo de moagem com cada incremento de massa que veio da recirculação.

Tabela 4 - Recirculação.

| % Recirculação | Ton  | Tempo de atendimento (min) | $\mu$ (lote/min) |
|----------------|------|----------------------------|------------------|
| 0%             | 2,50 | 10,40                      | 0,096            |
| 2%             | 2,55 | 10,51                      | 0,094            |
| 4%             | 2,60 | 10,61                      | 0,092            |
| 6%             | 2,65 | 10,72                      | 0,091            |
| 6,2%           | 2,66 | 10,89                      | 0,091            |
| 8%             | 2,70 | 10,99                      | 0,089            |
| 10%            | 2,75 | 11,03                      | 0,087            |
| 12%            | 2,80 | 11,15                      | 0,086            |
| 14%            | 2,85 | 11,25                      | 0,084            |
| 16%            | 2,90 | 12,36                      | 0,083            |

Fonte: Próprio autor

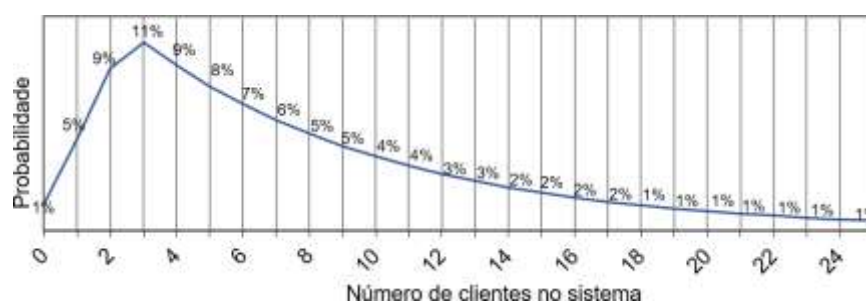
Considerando 82 amostras com percentual de recirculação igual a 0%, têm-se a média de 1,7% e um tempo médio de pesagem igual a 10,46 min, dados mostrados na Tabela 4. Essa informação será utilizada mais adiante na simulação.

Para validação do modelo M/M/1, uma vez que a instalação possui um único servidor que é o moinho, avaliou-se a taxa de ocupação 3,5 (Equação 2) a partir da taxa de entrada 0,35 clientes/minuto e taxa de atendimento do servidor igual a 0,1 clientes/minuto.

Esse é um caso em que não há um sistema estável,  $\rho > 1$ , e a fila cresce indefinidamente, isso porque o tempo médio de atendimento do servidor moinho é muito elevado em comparação com os processos anteriores a ele. Fisicamente essa fila não cresce de forma desordenada, há limitação por automação nas linhas que intertrava as pesagens de acordo com nível do silo com a mistura do produto das quatro pesagens, portanto temos então o moinho como fator limitante. Com essa condição, não é possível determinar analiticamente os parâmetros operacionais, como, por exemplo, número de clientes esperado no sistema, tempo previsto de espera, tempo previsto na fila. Diante desse cenário, técnicas de simulação permitirão ir além na busca de possíveis soluções para o problema.

A fim de obter a estabilidade do sistema, a avaliação sugere atingir um patamar de  $s \geq 4$ , é o que mostra a Figura 9, para tornar o sistema estável. Nessa condição,  $\rho = 0,875$  representado por um modelo M/M/4.

Figura 9 - Modelo M/M/4.



Fonte: próprio autor.

De acordo com a Figura 9, quando  $s = 4$  a taxa de ocupação é 0,875, isso configura um sistema estável com elevada probabilidade de se encontrar com 3 entidades no sistema. Essa informação é observada no gráfico na parte inferior da figura, onde está demonstrada a probabilidade de o sistema comportar  $n$  clientes.

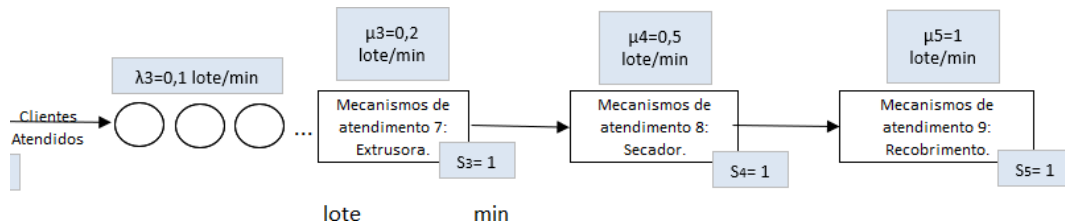
No caso estudado, é inviável essa solução para estabilizar o sistema, isso é muito comum em problemas reais, por restrições financeiras de negócio e por busca de otimização dos recursos.

#### 4.4 Modelagem extrusão, secagem e recobrimento

Uma vez finalizada a etapa da mistura, as próximas instalações são a extrusora, o secador e o recobrimento. Essas instalações são tratadas em conjunto porque possuem em comum um tempo de atendimento constante dado em receita. A partir da extrusora, tem-se fluxo contínuo e isso não faz parte da definição de fila por não possuir a entidade contável cliente. Em vista disso, há necessidade expressa de recorrer a técnicas de simulação para avaliar o problema mostrado nessa seção.

Ainda é possível definir de forma simplista a taxa de chegada e atendimento entre as etapas contínuas, o que na prática é observado como a vazão ou carga. As taxas são mostradas na Figura 10.

Figura 10 - Rede de filas extrusão/secador/recobrimento



Fonte: Próprio autor.

O empacotamento, como já foi mencionado, não está presente no fluxo, a partir dele há outra divisão de fluxo com entidades que variam de tamanho. No empacotamento, os lotes são armazenados em silos e a saída deles para as empacotadeiras depende do item que rodará na programação da produção, podendo variar entre 0,5kg, 1kg, 3kg, 10kg, 15 kgm 18kg e 20 kg.

#### 4.5 Análise da Rede

Para compilar os dados encontrados na análise de tempo de cada processo, essa seção traz o tempo médio de atendimento em cada servidor para cada lote.

De acordo com os dados da Tabela 5, o tempo de moagem é 80% maior em relação a mais duradoura das pesagens. A fila então acontece antecedendo o moinho. No próximo capítulo esses dados serão gerados no relatório de simulação e ele será a base para as melhorias propostas.

Tabela 5 - Tempo médio de atendimento.

| Etapa            | Tempo médio (min) |
|------------------|-------------------|
| Pesagem 1        | 2,04              |
| Pesagem 2        | 2,10              |
| Pesagem 3        | 1,96              |
| Pesagem 4        | 2,84              |
| Moagem e Peneira | 10,4              |
| Extrusão         | 5                 |
| Secador          | 2                 |
| Recobrimento     | 1                 |

Fonte: Próprio autor.

## 5 SIMULAÇÃO

Nas seções anteriores, algumas etapas do processo não conseguiram ser modeladas na fila de rede, pois moinho é um sistema não estável e a extrusora tem um processamento em fluxo contínuo. Com essas particularidades, se fez necessário a utilização de simulação para ampliar a visão do processo. Foi utilizado o *software* Arena, versão estudantil, para seguirmos a análise mais profunda do sistema avaliando ideias e conceitos.

Para determinar a distribuição de probabilidade que melhor se adequa a cada variável, foi utilizado o Input Analyzer do Arena. Essa análise considera o p-valor do teste de Kolmogorov-Smirnov, considerando a análise do p-valor.

### 5.1 O Modelo

Nesse tópico serão detalhados todos os elementos de modelagem utilizados no *Arena*, bem como os parâmetros do caso estudado já detalhado na modelagem da fila.

Tabela 6 - Parâmetros da simulação.

| Etapa do processo   | Função <i>Arena</i> | Argumento da função   | Valor inserido  |
|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| Tempo entre chegada | Create              | Tempo médio           | 14,42 (min)     |
| Pesagem BL 01       | Process             | Distribuição (média)  | Expo (2,86 min) |
| Pesagem BL 02       | Process             | Distribuição (média)  | Expo (2,86 min) |
| Pesagem BL 03       | Process             | Distribuição (média)  | Expo (2,86 min) |
| Pesagem BL 04       | Process             | Distribuição (média)  | Expo (2,86 min) |
| Formação do lote    | Lote                | Tamanho do lote       | 4               |
| Moagem              | Process             | Distribuição (média)  | Expo (10,4 min) |
| Peneira             | Decide              | Percentual verdadeiro | 82%             |
| Extrusão            | Process             | Distribuição (média)  | Const (5 min)   |
| Secagem             | Process             | Distribuição (média)  | Const (2 min)   |
| Recobrimento        | Process             | Distribuição (média)  | Const (1 min)   |

Fonte: Próprio autor.

A função utilizada permite adicionar ao modelo a entrada externa no processo. Essa entrada é calculada com base na demanda diária e é considerado uma constante.

$$\text{Demanda diária: } 250 \text{ toneladas} = 100 \text{ lotes} = 4,16 \text{ lotes por hr} \quad (4)$$

Convertendo para minutos, têm-se a frequência de chegada de 14,42 lotes por minutos e 4,16 minutos por lote, esse tempo é um limitante de máximo pois, se o intervalo entre chegadas ultrapassar esse valor, a demanda diária não será atingida. Na prática, em geral, esse intervalo é respeitado em razão da disponibilidade de matérias-primas em silo. O contrário acontece em casos críticos de falta de matéria-prima ou em quebra nas roscas transportadoras que levam o material do silo de armazenamento até a balança. Essas particularidades pouco ocorrem e fogem do escopo do modelo.

Outra consideração importante é se o tempo entre chegadas no sistema for inferior ao tempo de moagem, nesse caso o sistema se enquadra mais uma vez no caso de chegadas desordenadas no servidor. Para a versão estudantil do *software*, isso passa a ser uma limitação por número de entidades.

Ressalta-se que para o tempo médio de pesagem foi utilizada a mesma premissa usada na teoria das filas. Uma vez que as pesagens acontecem em paralelo e se juntam para gerar um lote, o tempo de pesagem em todas as balanças é considerado igual a balança com maior tempo de processamento, ou seja, a balança 4 manual.

## 5.2 Relatório da Simulação

Rodando a simulação por 24 horas, 102 unidades foram processadas atingindo a meta de 100 lotes.

O número de entidades processadas na entrada (pesagem e formação de um lote) é mostrado na Figura 11.

Figura 11 - Entidades processadas na entrada



Fonte: Próprio autor.

Como pode ser visto, a quantidade de clientes pesados em cada balança é a mesma, ou seja, os lotes foram formados corretamente com 4 entidades, cada um de uma balança, incluindo no lote todos os ingredientes necessários.

O tempo médio de espera em cada servidor pode ser visto na Tabela 7. Analisando o tempo total de espera em fila, é observado que 90% do tempo é representado pela fila na moagem, evidenciando o desbalanço do sistema com elevada espera nesse ponto do fluxo.

Tabela 7 - Tempo médio de espera (min).

| Processo                                      | Média (min) |
|-----------------------------------------------|-------------|
| Controle de granulometria – peneira           | 0,23        |
| Extrusão                                      | 0,7         |
| Formação de lote – finalização das 4 pesagens | 3,03        |
| Moagem                                        | 35,2        |
| Pesagem BL 01                                 | 0           |
| Pesagem BL 02                                 | 0,02        |
| Pesagem BL 03                                 | 0,025       |
| Pesagem BL 04                                 | 0           |
| Recobrimento                                  | 0           |
| Secagem                                       | 0           |

Fonte: Próprio autor.

Na teoria das filas os parâmetros de espera só foram analisados para alguns servidores utilizando os modelos M/M/S, agora é possível analisar esses parâmetros para todos os processos.

A Tabela 8 apresenta o número médio de clientes na fila na qual pode-se observar que grande parte dos equipamentos não apresentam clientes em fila de espera. O moinho, por sua vez, apresenta quase 4 entidades aguardando processamento na fila.

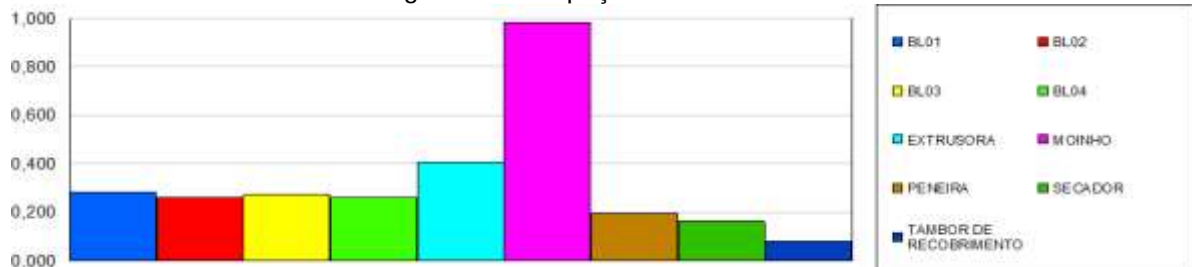
Tabela 8 - Número médio de entidades na fila.

| Processo em espera                            | Média (clientes) |
|-----------------------------------------------|------------------|
| Controle de granulometria – peneira           | 0,017            |
| Extrusão                                      | 0,059            |
| Formação de lote – finalização das 4 pesagens | 0,819            |
| Moagem                                        | 3,851            |
| Pesagem BL 01                                 | 0                |
| Pesagem BL 02                                 | 0,003            |
| Pesagem BL 03                                 | 0,004            |
| Pesagem BL 04                                 | 0                |
| Recobrimento                                  | 0                |
| Secagem                                       | 0                |

Fonte: Próprio autor.

A taxa de ocupação de cada servidor pode ser vista na Figura 12. É possível verificar que o moinho apresenta uma ocupação excessiva em relação aos demais processos, sendo, portanto, o gargalo. Os outros equipamentos não conseguirão aumentar a ocupação porque a moagem restringe a capacidade total do sistema.

Figura 12 - Ocupação dos servidores.



Fonte: Próprio autor.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relatório forneceu a informação inicial de 102 unidades processadas, mostrando que a meta diária de 100 lotes é atendida. No entanto, é necessária avaliação criteriosa em relação a utilização ao moinho. Sob o ponto de vista da teoria das filas, foi mostrado que a fila cresce infinitamente e torna o sistema instável no ponto de vista da fila. Na simulação, a taxa de utilização do moinho, vista na Figura 12, é superior a 98%. Este fato coloca o equipamento em um quadro de baixa confiabilidade, ele é um equipamento único para sua função e para seu bom funcionamento precisa de algumas paradas.

Considera-se parada para inspeção do equipamento a cada turno (8h) a fim de verificar o magnético e as telas do moinho. Caso essas inspeções não ocorram, as telas podem ser rasgadas por algum corpo estranho que só será retido na peneira, reduzindo a vida útil da tela e aumentando o percentual de farinha que recircula por passar nos buracos sem ser triturado. A duração de cada inspeção é em torno de 30 minutos, pois necessita de tempo para desenergizar o moinho (medidas de segurança). Com isso, já é esperado que a disponibilidade dele seja inferior a 93,75%. A equipe de planejamento inclui nos cálculos de capacidade de produção uma disponibilidade de 85% da fábrica, o complemento de 15% deve incluir paradas durante os turnos para inspeção, troca de tela, procedimentos de limpeza, retirada de material do magnético, entre outras paradas não planejadas. Essas atividades preventivas devem ser realizadas durante o turno no momento mais oportuno de acordo a programação de setups.

Atualmente, se o moinho não estiver disponível 98% do tempo ele compromete a entrega diária. A partir da avaliação dos pedidos realizados em 2019, verificou-se que em 5 meses de 2019 não foi possível entregar a meta mensal na escala de trabalho padrão 6x1. Sendo assim, a fábrica precisou rodar duas semanas seguidas sem paradas para limpeza e folgas nos domingos, para atender a meta. Isso gera diversos pontos negativos, dentre eles, pode-se citar:

- Custo com horas extras de 3 turnos no domingo;
- Desmotivação dos colaboradores que perdem a folga do final de semana, momento de descanso com a família;

- Atraso no cronograma de limpeza e manutenção que acontece com a fábrica parada no terceiro turno do sábado. Isso pode gerar outras paradas não planejadas na segunda semana por fadiga de equipamentos.

Em alguns outros casos, para atender a demanda, foi necessário atender os clientes do norte e nordeste com produtos da fábrica localizada no Sul, que possui maior capacidade – o impacto financeiro disso é grande.

Para avaliação de cenários de melhoria, algumas alternativas foram simuladas no Arena, conforme mostrada na Tabela 9.

O parâmetro de entrada só tem uma restrição que é o tempo de intervalo máximo entre chegadas descrito anteriormente, essa restrição é para atender a demanda. Além dessa restrição, esse parâmetro é variável nas simulações para atender o limite de entidades em simulação, se esse número for baixo haverá muitas entidades à espera da pesagem, excedendo o limite.

Tabela 9 - Simulação 24h.

| Entrada(min) | Moagem(min) | Recirculação (%) | Saída(lotes) | Utilização do moinho (%) |
|--------------|-------------|------------------|--------------|--------------------------|
| 13           | 10,4        | 18               | 90           | 98,5                     |
| 11           | 10,4        | 18               | 116          | 98,3                     |
| 13           | 9,5         | 18               | 109          | 98,3                     |
| 10           | 9,5         | 18               | 126          | 98                       |
| 12           | 10,4        | 18               | 102          | 98                       |
| 10           | 9,5         | 18               | 113          | 91                       |
| 10,5         | 9,5         | 18               | 109          | 90                       |
| 11           | 9,5         | 18               | 106          | 87                       |
| 12           | 9,5         | 18               | 103          | 81                       |

Fonte: Próprio autor.

Na simulação diária da Tabela 9, é possível observar que ao reduzir o tempo de moagem para 9,5 min, o sistema atende as restrições de demanda diária e de ocupação do moinho. Para uma modelagem com horizonte maior e envolvendo mais entidades, foi feita a simulação para 1 semana de produção, Tabela 10.

Tabela 10 - Simulação semanal.

| Entrada (min) | Moagem<br>(min) | Recirculação<br>(%) | Saída (lotes) | Utilização do<br>moinho (%) |
|---------------|-----------------|---------------------|---------------|-----------------------------|
| 14            | 10              | 18                  | 609           | 88                          |
| 14            | 10,4            | 18                  | 615           | 87                          |
| 14,2          | 10,2            | 18                  | 608           | 86                          |
| 13            | 9,5             | 18                  | 606           | 79                          |
| 12            | 9,5             | 18                  | 614           | 85                          |
| 12            | 9,5             | 12                  | 614           | 75                          |
| 13            | 10,4            | 12                  | 617           | 86                          |

Fonte: Próprio autor.

Na simulação semanal, o tempo de moagem 9,5 min continua atendendo as restrições de atendimento e ocupação com 3 situações distintas que serão detalhadas nos parágrafos seguintes.

A primeira corresponde a alteração do tempo de entrada de 12 para 13 minutos que resulta em uma variação na quantidade de lotes de saída e, conseqüentemente, uma quantidade maior implica em utilização maior. Na prática, esse ritmo de entrada varia de acordo com a disponibilidade do sistema.

Uma segunda alternativa consiste em reduzir a recirculação. A Tabela 10 mostra que o número máximo de quantidades processadas é atingido quando a recirculação reduz de 18% para 12%.

A terceira possibilidade simulada é reduzir o tempo de moagem para reduzir a ocupação do moinho. Da Tabela 10 é notório que mantendo o tempo de moagem inferior a 10 min há um ganho de, em média, 8 lotes processados na semana, no ano isso equivale a um aumento de 416 lotes (1040 toneladas de ração). Alguns parâmetros atendem também a redução na taxa de ocupação do equipamento.

Diante do exposto nas simulações, buscou-se então uma alternativa para reduzir a ocupação do moinho, aumentando o número de lotes processados. Para isto, foi feita configuração de produção reduzindo o tempo de moagem para 9,5min e a recirculação para 12%, combinando assim os resultados da segunda e terceira alternativas, ao, respectivamente. Esse cenário atinge um nível de utilização do moinho de 75%, estando de acordo com a eficiência de fábrica projetada para atendimento de demanda e utilização recomendada pelo fornecedor do equipamento.

Conforme dito anteriormente, não é possível incluir um outro servidor. Sendo assim, a fim de reduzir o tempo elevado de processamento, foi utilizado o diagrama de Ishikawa, conforme apresentado na Figura 13. O diagrama de Ishikawa simplifica processos considerados complexos dividindo-os em processos mais simples e, portanto, mais controláveis (TUBINO, 2000). O objetivo é organizar o raciocínio para encontrar a causa raiz de um problema.

No caso estudado, as causas foram levantadas em 4 categorias usuais: máquinas, mão de obra, medida e método. O levantamento foi feito com uma equipe multifuncional com operadores dos três turnos, um mecânico, um eletricista e uma especialista em processos com foco na redução do tempo de moagem.

No âmbito de maquinário foi mapeado a necessidade de inspecionar as grades internas do moinho na frequência padrão de uma vez por turno para corrigir mais rapidamente possíveis rompimentos e, conseqüentemente, perda de velocidade na trituração. A fim de otimizar esse tempo de inspeção, foi instalado um freio para desenergizar esse equipamento com maior rapidez.

Em materiais, foram identificadas algumas causas oriundas do aço utilizado na estrutura dos trituradores. Quando esse material vai se desgastando ele aumenta o tempo de moagem por lote, a velocidade de desgaste é ponto prioritário nessa análise e tratada por uma equipe mecânica.

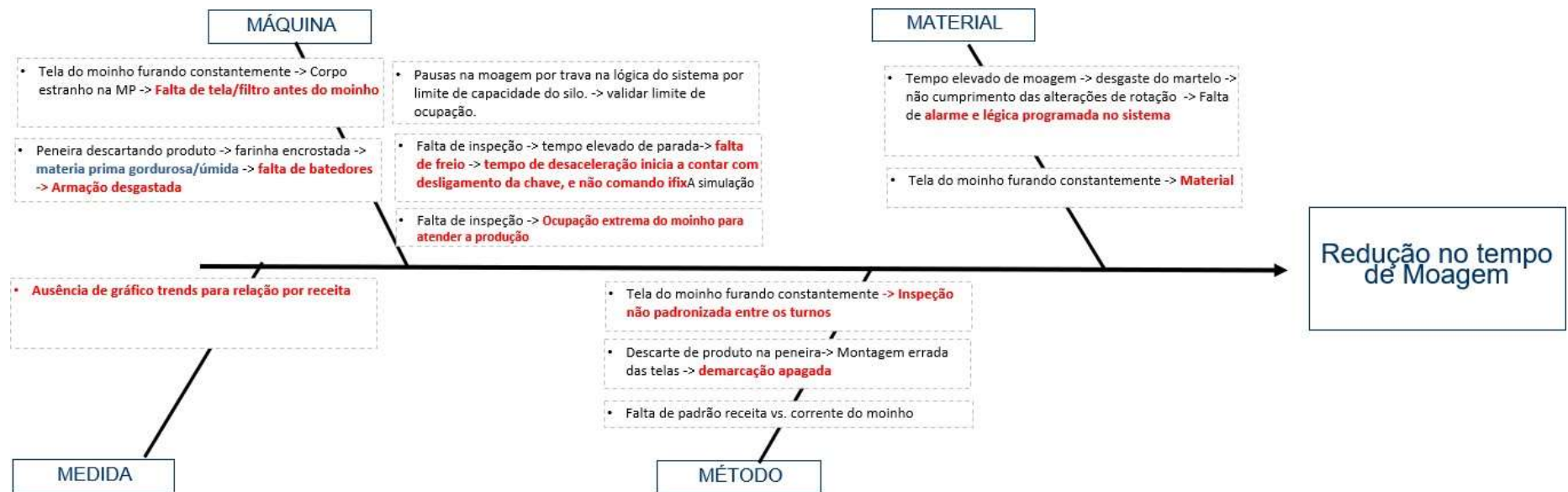
Para mão de obra, as causas encontradas são baseadas em falta de procedimento operacional padrão para operar e inspecionar os equipamentos. Além de documentar e especificar cada etapa dessas atividades, foi traçado um plano para revezamento entre operadores nos turnos buscando um maior nivelamento.

Foi encontrado também uma fragilidade para medir e acompanhar a variável tempo de moagem durante a operação, não apenas em banco de dados. Essa ação é essencial para conseguir gerenciar e controlar essa métrica, turno a turno, trazendo um tempo ágil de atuação.

A partir dessas contribuições foi possível montar um plano robusto com ações de curto e médio prazo com foco na redução de ocupação do moinho. Essas ações encontram-se em fase de implementação. Reduzindo a taxa de ocupação o equipamento fica disponível para as atividades preventivas que melhoram seu

desempenho e reduzem o volume da farinha que recircula da peneira para o moinho, atingindo o objetivo definido a partir dos dados demonstrados nesse estudo.

Figura 13 - Diagrama Ishikawa



Fonte: Próprio autor.

## 7 CONCLUSÃO

Para esse trabalho, buscou-se configurar o processo por meio de análise de tempo de atendimento e espera. Foi apresentado o fluxo do sistema de filas e os principais parâmetros de cada posto de atendimento, para entendimento do problema e posterior simulação de cenários. A partir dos dados coletados foi possível avaliar o gargalo da mistura e analisar através da simulação a oportunidade de intervenção imediata.

Com o foco na redução do tempo de moagem, o diagrama de Ishikawa foi escolhido como ferramenta para levantamento e organização de ideias.

Foi necessário manter o foco em melhorias de curto e médio prazo e que não demandassem investimento financeiro e projetos estruturais ao processo. Ressalta-se que apesar de na prática a empresa ter conhecimento sobre a elevada ocupação do moinho, não havia sido feito anteriormente análise técnica a fim de identificá-lo como gargalo na produção, bem como o seu impacto para o sistema produtivo de rações. Para a empresa era necessário enxergar matematicamente o desbalanceamento na linha e as possíveis alternativas para redução deste impacto. Este trabalho contribui para este melhor entendimento e, por conseguinte, fornece dados para melhoria do seu processo.

Para futuros trabalhos, faz-se necessário englobar tempo hábil de comprovação das ações implementadas. As ações se encontram em andamento e passarão por uma posterior validação.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Roberta; SCHMIDT, Adriana Pizarro. **Constraints theory and simulation techniques principles applied in a small restaurant operational dynamic: a case study**. Espacios. V. 35, n. 4, p. 21, 2014.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise da Decisão**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

BITRAN, G. R.; MORABITO, R. **Um exame dos modelos de redes de filas abertas aplicados a sistemas de manufatura discretos – Parte I**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 2, n. 2, p. 192-219. 1995.

CAMELO, G. R., Coelho, A. S., Borges, R. M., Souza, R. M. (2010). **Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira**. Cadernos do IME – Série Estatística, 29, 01-16.

CORREA, Henrique L. **Teoria Geral da Administração– abordagem histórica da gestão de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2003.

FIGUEIREDO, D.; Rocha, S. H. **Aplicação da teoria das filas na otimização do número de caixas: um estudo de caso**. Cesumar, v. 12, n. 2, p. 175-182., 2010.

HILLER, Frederick S. **Introdução à pesquisa Operacional**. 9ª ed. São Paulo, McGraw Hill 2013.

MACEDO, Beatriz. **Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma fábrica de ração animal**. ISSN 2179-0574, 2019.

MAICZUK, Jonas; ANDRADE, Paulo Pedro. **Aplicação de ferramentas de melhoria de Qualidade e Produtividade nos processos produtivos: um estudo de caso**. Qualits Revista Eletrônica ISSN 1677 4280, v. 14, n 1, 2013

OLIVEIRA, D. de P. R. **Sistemas, Organização & Métodos O&M: uma abordagem gerencial**. 18 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

PRADO, Darci Santos do. **Teoria das Filas e da Simulação**. Nova Lima (MG): INDG, 2006.

PRADO, Darci Santos do. **Usando o Arena em Simulação**. Belo Horizonte: INDG, 2008.

RAHMAN, S. **Theory of constraints: A review of philosophy and its applications**. International Journal of Operations & Production Management, v.18, n. 4, p. 336-55, 1998.

RIBEIRO, Manuel Joaquim P.M. **Moagem em Moinho de Bolas: Estudo de algumas Variáveis e Otimização Energética do Processo Manual**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Viana do Castelo – Portugal, 2001.

SHINGO, Shigeo apud BEDENDO, R. **O Sistema Toyota de Produção – Do Ponto de Vista da Engenharia de Produção**. Bookman, 1996, Reimpressão 2008. Porto Alegre – RS.

SLACK, NIGEL; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

SLACK, N. CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, apud TODARO; M.E. C. **Planejamento e Controle da Produção – PCP Curso de Engenharia de Produção – UEMA**.

TAHA, HAMDY A. **Pesquisa Operacional**. 8.ed. São Paulo: Pearson, 2008

TERRA. Notícia. **Mercado pet deve faturar R\$ 20 bilhões em 2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/dino/mercado-pet-deve-faturar-r-20-bilhoes-em-2020,79064f0a2ff2a916dd1e216c514f9d17mwr9f4yq.html>>. Acessado em: 03 maio 2020.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. São Paulo: Atlas, 2000

WALRAND, J. **Queueing networks**. Handbooks in OR/MS, D. P. Heyman and M. J. Sobel (ed.), vol 2, Elsevier, North-Holland, Amsterdam, 2010.

WERKEMA, M.C.C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.