

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

**MICHEL ANGELO MELLA**

**SIMULAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE RECURSOS EM PROCESSOS DA  
GARAGEM DA EMPRESA DE TRANSPORTES GIDION**

Joinville

2017

MICHEL ANGELO MELLA

**SIMULAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO DE RECURSOS EM PROCESSOS DA  
GARAGEM DA EMPRESA DE TRANSPORTES GIDION**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina.

Profa. Dr.<sup>a</sup> Christiane Wenck Nogueira Fernandes.

Joinville

2017

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, que sempre esteve do meu lado, durante toda esta trajetória, me apoiando e me incentivando, sempre dando o suporte que precisei. Nada disso seria possível sem vocês.

Aos professores, que durante minha graduação e o desenvolvimento deste trabalho, buscaram transmitir seus conhecimentos e me incentivaram a aprofundar os meus. Principalmente a minha orientadora, Christiane Wenck, que colaborou de forma fundamental na elaboração deste trabalho.

Aos amigos presentes em minha vida, principalmente nestes anos de graduação.

Aos colegas da Gidion, por todo o suporte e conhecimento que me passaram, e em especial pelo acolhimento da empresa.

A Deus, por tudo, sempre.

*“A causa da derrota, não está nos obstáculos, ou no rigor das circunstâncias, está na falta de determinação e desistência da própria pessoa.”*

*Buda*

## RESUMO

O avanço das tecnologias e o aumento da competitividade entre as empresas faz com que a análise dos processos internos, na procura por soluções mais eficientes, se torne uma contínua busca dentro das empresas, pois o mau dimensionamento de um processo pode acarretar na incidência de filas, o que pode gerar custos desnecessários para o sistema. Isto faz com que o uso de técnicas como a Simulação e a Teoria de Filas sejam cada vez mais utilizadas para resolução de problemas deste tipo. Assim, o presente trabalho busca, por meio da Teoria de Filas e Simulação, trazer benefícios para uma das unidades da empresa de transporte público de Joinville. O sistema analisado é composto por uma série de tarefas que devem ser cumpridas diariamente por todos os ônibus que retornam a garagem, este processo é composto pelo abastecimento, lavagem externa e limpeza interna. Estas operações ocorrem de maneira sequencial. Através do levantamento e tratamento dos dados obtidos em campo, pretende-se caracterizar os processos, possibilitando assim desenvolver a modelagem e a validação dos dados obtidos, a fim de simular possíveis cenários, com o auxílio do software ARENA, e analisar a possível implantação dos resultados alcançados.

**Palavras-Chave:** Teoria das Filas, Simulação, ARENA.

## **ABSTRACT**

Technological advancements and increased competition make the analysis of internal processes critical for business success. Inefficient economies of scale can cause incidences of backlogged queues, which can become costly and negatively affect profit margins. Inefficiencies can be mitigated by using Simulation and Queuing Theory techniques. The implementation Simulation and Queuing Theory brings benefits to one of the units of the public transportation company of Joinville, Santa Catarina, Brazil. These transportation systems consist of a series of activities that must be fulfilled daily by all buses that return to the transportation center, and are reliant on processes maintained by fuel, external washing, and internal cleaning. These operations occur sequentially. By using data obtained by conducting surveys and treatments, these processes can be better modeled, characterized, and validated. Simulation, with the help of ARENA software, helps the organization analyze the best possible outcomes as a result of this data collection, and, in turn, will mitigate inefficiencies and improve profit margins.

**Keywords:** Queuing Theory, Simulation, ARENA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo básico de fila .....	17
Figura 2 - Sistema de atendimento em paralelo.....	18
Figura 3 - Sistema de atendimento em série.....	18
Figura 4 – Localização das variáveis no sistema de fila.....	19
Figura 5 – Fluxograma das Etapas da Simulação.....	27
Figura 6 – Classificação dos Sistemas.....	28
Figura 7 – Etapas do Processo .....	33
Figura 8 – Pátio dos veículos .....	34
Figura 9 – Espaço de abastecimento .....	35
Figura 10 – Espaço pré-lavagem e lavagem externa .....	35
Figura 11 – Espaço limpeza externa .....	35
Figura 12 – Detalhamento das tarefas no Fluxograma .....	36
Figura 13– Fluxograma do Sistema .....	37
Figura 14 – Taxa de Chegada do veículos ( <i>Input analyzer</i> ).....	39
Figura 15 – Fluxograma do abastecimento .....	43
Figura 16 – Chegada dos veículos.....	44
Figura 17 – Busca dos veículos no pátio.....	45
Figura 18 – Módulo decide para escolha da bomba.....	45
Figura 19 – Processo de abastecimento .....	46
Figura 20 – Fluxograma da Lavagem Externa .....	47
Figura 21 – Busca dos veículos no abastecimento .....	48
Figura 22 – Pré-lavagem e lavagem externa.....	48
Figura 23 – Bloco Decide para limpar banheiro .....	49
Figura 24 – Limpeza dos Banheiros.....	49
Figura 25 – Fluxograma da Limpeza Interna.....	50
Figura 26 – Bloco Hold.....	51
Figura 27 – Processo de busca na lavagem externa .....	51
Figura 28 – Processo de limpeza interna .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equações do modelo (M/M/1/∞/∞/FIFO) .....	21
Tabela 2 – Equações do modelo (M/M/S/∞/∞/FIFO).....	22
Tabela 3 – Equações do modelo (M/M/1/∞/k/FIFO) .....	23
Tabela 4 – Equações do modelo (M/M/S/∞/k/FIFO).....	23
Tabela 5 – Porcentagem de Veículos em cada bomba .....	41
Tabela 6 – Porcentagem de veículos na limpeza de banheiro .....	41
Tabela 7 – Distribuições de Probabilidade .....	42
Tabela 8 – Tabela Cenário Base.....	54
Tabela 9 – Tabela Cenário 1 .....	56
Tabela 10 – Tabela Cenário 2.1 .....	58
Tabela 11 – Percentuais em relação ao cenário base .....	59
Tabela 12 – Comparação cenário base e cenário 2.1 .....	59
Tabela 13 – Tabela cenário 2.2.....	60
Tabela 14 – Percentuais em Relação ao cenário base .....	61
Tabela 15 – Comparação entre cenário base e cenário 2.2.....	61
Tabela 16 – Comparação entre cenários .....	62
Tabela 17 – Comparação entre a ocupação dos cenários .....	62



## SUMARIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 Tema e Problematização .....	11
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Objetivo Geral .....	14
1.4 Objetivos Específicos .....	14
1.5 Estrutura do trabalho.....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 TEORIA DAS FILAS.....	16
2.1.1 Modelo de um canal e uma fila com população infinita (M/M/1/∞/∞/FIFO) ..	21
2.1.2 Modelo de uma fila e S canais com população infinita (M/M/S/∞/∞/FIFO)...	21
2.1.3 Modelo de uma fila e um canal com população finita (M/M/1/∞/k/FIFO) .....	22
2.1.4 Modelo de S canais de atendimento com população finita (M/M/S/∞/k/FIFO)	23
2.2 SIMULAÇÃO .....	24
2.2.1 Modelos estáticos ou dinâmicos .....	28
2.2.2 Modelos determinísticos ou aleatórios .....	29
2.2.3 Simulação de eventos discretos e eventos contínuos.....	29
2.2.4 Exemplos de Trabalhos.....	30
2.2.5 Softwares de simulação .....	30
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>34</b>
4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	38
4.1.1 Coleta de dados .....	39
4.2 MODELO DE SIMULAÇÃO.....	43
4.2.1 Abastecimento .....	43

4.2.2 Lavagem Externa .....	46
4.2.3 Limpeza Interna .....	50
<b>5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
5.1 CENÁRIO BASE .....	54
5.2 CENÁRIO 1 .....	55
5.3 CENÁRIO 2.....	57
5.3.1 Cenário 2.1.....	58
5.3.2 Cenário 2.2.....	60
<b>6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE A – Modelo Arena.....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE B – Taxa de chegada “Input Analyzer” .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE C – Abastecimento Lubrificação “Input Anayzer” .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE D – Abastecimento água+óleo “Input Anayzer” .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE E – Pré-lavagem “Input Anayzer” .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE F – Lavagem automática “Input Anayzer” .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE G – Limpeza interna “Input Anayzer” .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE H – Busca veículo pátio “Input Anayzer” .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE I – Busca pré-lavagem “Input Anayzer” .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE J – Limpeza interna “Input Anayzer” .....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE K – Limpar banheiro “Input Anayzer” .....</b>	<b>78</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Tema e Problematização

De maneira geral, as filas cumprem uma função na organização social e a rigor não são um fenômeno exclusivamente humano, visto que muitos animais mantêm suas relações de status e seus deslocamentos dessa forma, mostrando-se um mecanismo indispensável para a adaptação e sobrevivência de espécies que vivem em grupos (IGLESIAS, 2007).

Nesse contexto, surgem os estudos sobre a Teoria das Filas, como uma área da Pesquisa Operacional, com objetivo de tentar prever o comportamento das filas e encontrar o ponto de equilíbrio do sistema, assim a teoria é aplicada com intuito de desenvolver modelos probabilísticos, para melhor entendimento dos principais elementos do sistema (GEIER et al., 2010).

Os estudos sobre estes eventos foram se intensificando conforme a evolução da tecnologia e o aumento da concentração populacional nos grandes centros urbanos.

A Teoria das Filas surge no século XX com a obra do matemático Agner Krarup Erlang, que em 1908, estudou as trocas de ligações telefônicas em um vilarejo e por que as mesmas muitas vezes não eram completadas, como se estivessem em uma fila aguardando. Assim, Erlang estabeleceu fórmulas ainda utilizadas na Engenharia e também na Teoria das Filas, provendo modelos para demonstrar o comportamento de um sistema cuja demanda cresça aleatoriamente e meios de satisfazer os clientes de modo compatível ao provedor do serviço (GEIER, 2010, p. 2).

Com o surgimento do computador e posteriormente o desenvolvimento das linguagens de programação, softwares foram criados para auxiliar na modelagem das filas.

É necessário deixar claro, de início, que os modelos nem sempre conseguem representar as situações reais com grande precisão (BRUNS; SONCIM; SINAY, s. d.).

O estudo dos modelos de fila tem como objetivo a melhoria de desempenho do sistema, entendido, entre outros aspectos, como melhor utilização dos recursos de serviço disponíveis, menor tempo de espera e mais rapidez no atendimento (FERREIRA FILHO, s. d.).

A simulação é um instrumento poderoso na análise que pretende determinar e quantificar os efeitos de várias mudanças no sistema, sendo muito usada em situações onde é muito caro ou é difícil aplicar o experimento na situação real (CAMELO et al., 2010).

O estudo de filas juntamente com a simulação, já é um aliado entre as empresas que buscam melhor dimensionar seu serviço. Conhecendo o cenário, as características e as necessidades de todos os envolvidos é possível alcançar a eficiência nos processos. Unindo estas duas ferramentas, este trabalho almeja analisar e melhor dimensionar os processos realizados em uma empresa de transporte público da cidade de Joinville, Santa Catarina.

O transporte público da cidade de Joinville é operado por meio de uma parceria entre duas empresas, a Transtusa, operando na região norte da cidade, e a Gidion, responsável pelos transportes na região sul.

A Gidion realiza o transporte na cidade desde a década de 60, quando José Loureiro, sócio da empresa Transtusa, decidiu realizar o transporte coletivo em localidades antes não atendidas. Com isso em 1971, processa-se a separação das atividades das empresas de transporte na cidade, iniciando uma parceria entre elas.

A organização das operações é baseada no sistema tronco alimentador, o que consiste na implantação de terminais de transbordo e conexão em pontos estratégicos dos bairros da cidade. Nesse formato, existe uma linha principal, denominada troncal, que faz a ligação Centro/Terminal, com grande capacidade de transporte de passageiros, e maior oferta de horários. Nos Terminais de Integração, o passageiro faz a conexão com as linhas alimentadoras que complementam o trajeto aos bairros da região ou com outros terminais próximos. Dessa forma, ocorre a condensação de passageiros em uma linha principal o que acarreta na diminuição da quantidade de ônibus circulando na região central da cidade e facilita a divisão norte/sul entre as empresas.

É nesse contexto, que o presente trabalho atua, focando os estudos em uma das garagens da empresa Gidion. No estudo de caso, uma série de atividades devem ser realizadas por todos os ônibus que retornam à garagem. Assim, após o

veículo estacionar no pátio, inicia-se o processo de abastecimento e a verificação de alguns itens para a manutenção preventiva, lavagem externa e limpeza interna. Estas operações ocorrem de maneira sequencial, após a conclusão das mesmas o veículo retorna para o pátio e está liberado para iniciar as viagens no dia seguinte.

A metodologia de pesquisa e coleta de dados está direcionada no tempo de cada um dos processos a fim de obter expressões que os represente. Em seguida, utiliza-se o software de simulação ARENA. Após a validação do modelo inicia-se as análises exploratórias com o intuito de trazer contribuições para o sistema.

## 1.2 Justificativa

A grande complexidade dos processos realizados pelas empresas faz com que muitas vezes a simples análise de dados seja insuficiente para se tomar decisões de forma adequada, quando se busca a melhoria contínua do atual sistema.

Assim, os aspectos da teoria de filas e da simulação se tornam uma ferramenta de grande importância.

A análise dos processos internos é uma forma de buscar as ociosidades operacionais e assim obter um balanceamento adequado, reduzindo-se os custos.

Para Ferreira Filho (s. d.), as filas devem ser estudadas, pois mesmo que não se perceba, embutido nelas existe um problema econômico e este surge porque em qualquer fila existem dois custos envolvidos: custo da fila e o custo do serviço.

O custo do serviço é o custo de se construir e manter em funcionamento o sistema em análise.

O custo da fila é variável, e se entende pelo prejuízo que se tem ao manter as entidades na espera pelo atendimento.

Taha (2008), destaca também que o modelo de otimização de custo pelo qual procuramos é a minimização da soma destes dois custos. Porém, o principal obstáculo à implementação destes modelos é a dificuldade de se obter estimativas confiáveis em relação ao custo da fila ou o custo de espera.

A ideia deste trabalho surgiu, visto a grande demanda que a empresa possui em horários específicos do dia, o que acaba sobrecarregando os funcionários e o

sistema, originando gargalos em determinadas áreas, e também para demonstrar a importância da aplicação de teoria de filas e simulação na busca por processos mais otimizados.

### 1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo, para que sirva de base na tomada de decisões sob os sistemas de abastecimento, lavagem e limpeza, em uma das garagens da empresa de transportes Gidion, por meio da coleta e análise dos dados obtidos em campo.

### 1.4 Objetivos Específicos

- Analisar o processo da empresa estudada;
- Realizar a coleta de dados a fim de definir os principais elementos de todo o processo;
- Desenvolver a modelagem e validação dos dados obtidos;
- Simular possíveis cenários com o auxílio do software ARENA;
- Propor um melhor entendimento das variáveis e recursos do sistema estudado.

### 1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho é composto por seis capítulos, o capítulo inicial faz uma introdução ao tema, contextualizando-o e apresentando a problemática, justificando e destacando os objetivos gerais e específicos. No segundo capítulo é realizada toda a fundamentação teórica dos temas relevantes para o desenvolvimento deste. No terceiro capítulo apresenta-se a sequência metodológica de todo o processo de pesquisa e desenvolvimento necessário para se atingir os objetivos.

O quarto capítulo é destinado ao detalhamento do cenário em estudo, onde o sistema é dividido em pequenos processos conforme mapeamento utilizado na simulação e são apresentados os cenários propostos. O quinto capítulo é destinado

à análise dos resultados obtidos após a simulação dos diferentes cenários. No sexto capítulo são apresentadas as considerações e conclusões finais e também as recomendações para trabalhos futuros.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os conceitos dos estudos sobre Teoria das Filas e Simulação, fazendo uma abordagem sobre os principais tópicos e pesquisadores da área. Isto irá contextualizar a problemática apresentada, além de destacar os principais elementos que caracterizam cada assunto.

### 2.1 TEORIA DAS FILAS

Segundo Ferreira Filho (s. d.), a teoria das filas envolve o estudo matemático das filas tendo como objetivo a melhoria de desempenho do sistema, entendida como a melhor utilização dos recursos de serviço disponíveis, menor tempo de espera e mais rapidez no atendimento.

De acordo com Taha (2008), a teoria das filas é um dos campos da Pesquisa Operacional, apesar de não ser uma técnica de otimização. Para ser mais exato, o estudo determina medidas de desempenho nas filas, como tempo médio de espera e nível e utilização do sistema.

Para Andrade (2015) a fila é caracterizada por seis componentes: modo de chegada, modelo de serviço, número de servidores, capacidade do sistema, tamanho da população e disciplina da fila.

1. Modo de chegada ao serviço: usualmente especificado como intervalo de tempo entre chegadas. Esta variável pode ser determinística, ou seja, as chegadas ocorrem em um intervalo constante, ou aleatório, seguindo assim uma distribuição de probabilidade.

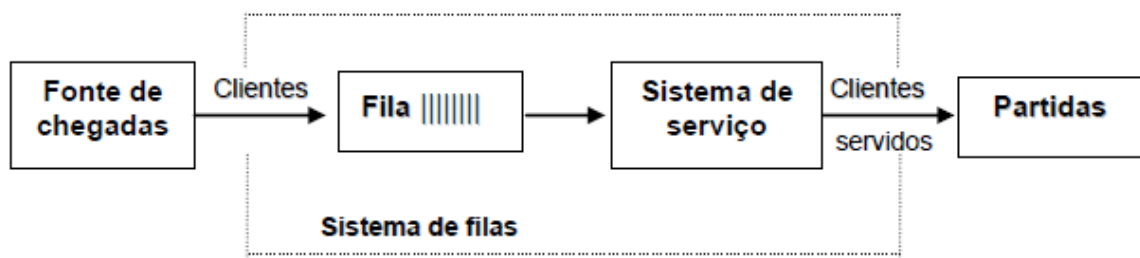
2. Padrão de serviço dos atendentes: é determinado pelo tempo requerido para concluir o atendimento.

3. Número de canais de serviço: refere-se a quantidade de atendentes no sistema para a realização do atendimento.



4. Capacidade do sistema: o número de usuários que o sistema é capaz de suportar.
5. Tamanho da população: número de potenciais clientes que podem chegar ao sistema, podendo ser infinito ou finito.
6. Disciplina da fila: é definido pelo modo como os clientes são escolhidos para entrar em serviço de atendimento, após a fila ser formada.
  - FIFO (first in, first out): primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido;
  - LIFO (last in, first out): último a chegar é o primeiro a ser atendido;
  - ALEATÓRIO, isto é, os atendimentos são feitos sem qualquer preocupação com a ordem de chegada;
  - COM PRIORIDADE, quer dizer, os atendimentos são feitos de acordo com prioridades estabelecidas;

Figura 1 - Processo básico de fila



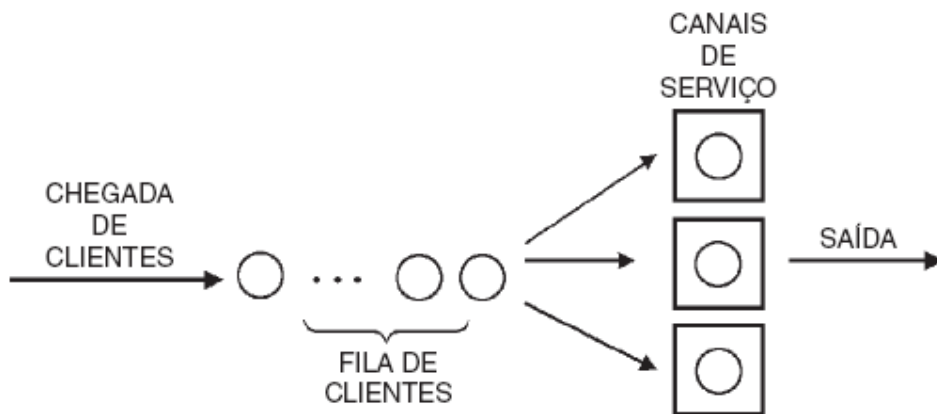
Fonte: Ferreira Filho (s. d., p. 39)

Hillier e Lieberman (2013) e Taha (2008) caracterizam a estrutura básica das filas da seguinte forma:

- Fonte de entrada: é o número total de possíveis clientes ou entidades, também conhecida como população solicitante. Pode ser calculada através do intervalo entre chegadas e pode-se supor seu tamanho como infinito ou finito.
- Fila: local onde se aguarda antes de ser atendido, caracterizada pelo número máximo de clientes que pode conter nela, podendo ser finito ou infinito.
- Disciplina da fila: refere-se a ordem na qual os integrantes da fila são selecionados.
- Mecanismo de atendimento: definido conforme as instalações de atendimento, podendo ser formado por canais de atendimento em série ou paralelo. Os canais de atendimento em série se caracterizam por existir mais de uma

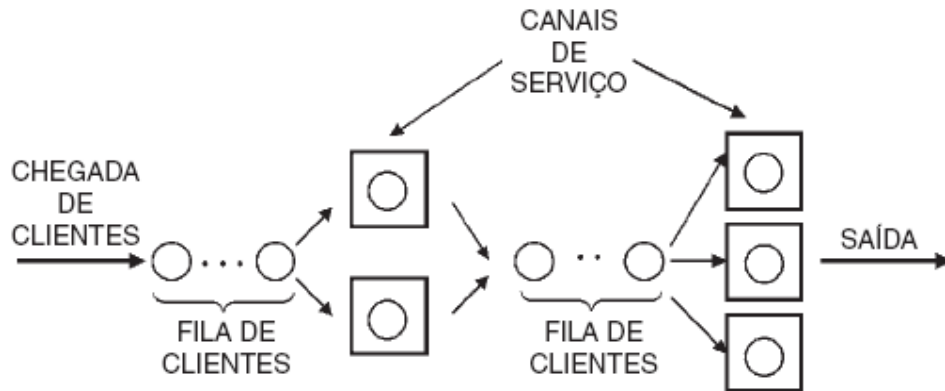
instalação de atendimento e assim o cliente irá ser atendido por uma sequencia destes. Já quando o cliente é completamente atendido no mesmo canal de atendimento se caracteriza um sistema em paralelo.

Figura 2 - Sistema de atendimento em paralelo



Fonte: Andrade (2009)

Figura 3 - Sistema de atendimento em série



Fonte: Andrade (2009)

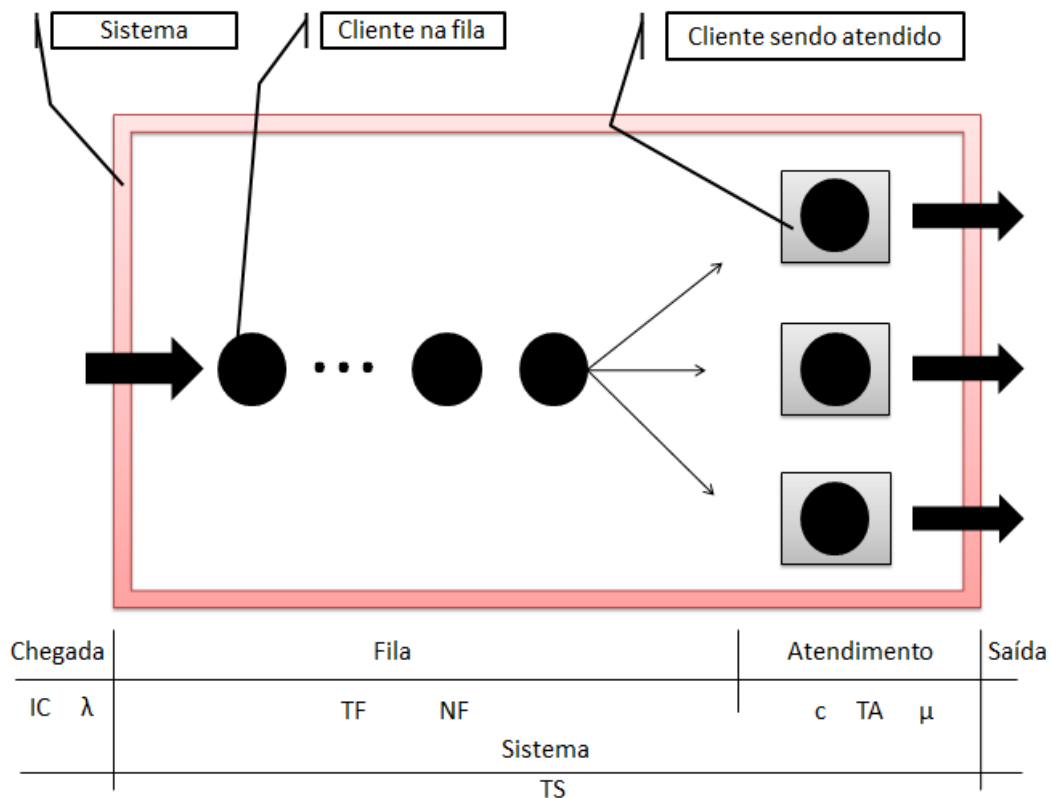
## TERMINOLOGIAS E NOTAÇÕES

De acordo com Prado (2014) as variáveis randômicas fundamentais do sistema de filas, para processos Markovianos, entendidos quando a taxa de chegada segue uma distribuição exponencial, são:

- Variáveis referentes ao sistema
  - TS: tempo médio de permanência no sistema

- NS: numero médio de clientes no sistema
- Variáveis referentes ao sistema de chegada
  - $\lambda$ : ritmo médio de chegada
  - IC: intervalo médio de chegadas
  - Por definição obtemos:  $IC = \frac{1}{\lambda}$
- Variáveis referentes à fila
  - TF: tempo médio de permanência na fila
  - NF: numero médio de pessoas na fila
- Variáveis do processo de atendimento
  - c: capacidade de atendimento ou quantidade de atendentes do sistema
  - NA: número médio de clientes que estão sendo atendidos
  - $\mu$  : ritmo de atendimento médio para cada atendente
  - TA: tempo médio de atendimento ou de serviço  $TA = \frac{1}{\mu}$

Figura 4 – Localização das variáveis no sistema de fila



Fonte: Baseado em Prado (2014)

Como já mencionado, o modelo de chegada e a capacidade do sistema podem variar, de acordo com o estudo, surge assim, em 1953, a notação de Kendall, hoje largamente utilizada, pois descreve de uma maneira unificada os elementos da fila. A notação consiste na forma  $A/B/c/K/Z$ , onde  $A$  descreve a distribuição do tempo entre as chegadas,  $B$  a distribuição do tempo de serviço,  $c$  o número de servidores,  $K$  a capacidade da fila de espera e  $Z$  a disciplina de atendimento. Quando um dos elementos é omitido, podemos considerar como o padrão conhecido (FERREIRA FILHO, s. d.).

Algumas notações para  $A$  e  $B$  são as seguintes:

- $M$ : Distribuição Exponencial ou Markoviana;
- $E_K$ : Distribuição de Erlang- $k$ ;
- $D$ : Distribuição Determinística;
- $U$ : Distribuição Uniforme;
- $G$ : Distribuição Geral

Existem diversos sistemas de filas, assim ao utilizar esta notação conseguimos representar o modelo de forma resumida e melhor compreender o processo em estudo.

No modelo  $M/M/1$ , partimos do pressuposto que todos os tempos entre chegadas estejam distribuídos de acordo com uma distribuição exponencial ou Markoviana. Também conseguimos deduzir devido à notação que o tempo de atendimento segue uma distribuição exponencial e por fim, número de atendentes no sistema é um. Assim para generalizar, usamos  $M/M/s$  onde  $s$  representa o número de atendentes no sistema, podendo ser qualquer inteiro positivo.

Existem casos onde o sistema de filas algumas vezes têm certas limitações o que acaba por delimitar o tamanho da fila, ou seja, o número de clientes no sistema não pode ultrapassar algum número específico. Este modelo é representado por  $M/M/s/K$ , de modo que a capacidade da fila seja  $K$ . Qualquer cliente que chegue enquanto a fila estiver “cheia” não entra no sistema, saindo para sempre (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Há outros modelos e distribuições que dimensionam estes processos, visto que nos sistemas reais existem muitas particularidades. Portanto, é muito importante ter disponível outros modelos de filas que usem distribuições alternativas.

### 2.1.1 Modelo de um canal e uma fila com população infinita (M/M/1/∞/∞/FIFO)

O modelo de fila empregado neste tópico é com um único servidor para o atendimento dos clientes.

O número de possíveis clientes é suficientemente grande para que possa ser considerado infinito e não existem limitações para o tamanho da fila, assume-se também que os tempos entre chegadas dos clientes e os tempos de atendimento seguem a distribuição exponencial (PRADO, 2014).

A tabela a seguir apresenta algumas das equações utilizadas neste sistema, elas fornecem indicadores do desempenho do sistema.

Tabela 1 – Equações do modelo (M/M/1/∞/∞/FIFO)

Número médio de clientes na fila	$NF = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$
Número médio de clientes no sistema	$NS = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$
Tempo médio do cliente na fila	$TF = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$
Tempo médio do cliente no sistema	$TS = \frac{1}{\mu - \lambda}$
Probabilidade de haver $n$ clientes no sistema	$P_n = \left(\frac{1}{\mu - \lambda}\right) \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n$
Taxa de utilização	$p = \frac{\lambda}{\mu}$
Taxa de ociosidade	$P_0 = \frac{\mu - \lambda}{\mu}$

Fonte: Adaptado de Prado (2006) e Freitas Filho (2008).

### 2.1.2 Modelo de uma fila e S canais com população infinita (M/M/S/∞/∞/FIFO)

Este modelo é utilizado para sistemas que apresentam uma única fila diante de  $S$  ( $S > 1$ ) canais de atendimento. Da mesma forma que o modelo anterior, entende-se que os tempos entre chegadas dos clientes e os tempos de serviços representados por cada um dos servidores possam ser bem descritos por meio de

uma distribuição exponencial. Não existem limitantes para a quantidade de entidades na fila e a quantidade de clientes que podem chegar ao sistema é suficientemente grande para considerarmos uma população infinita (FREITAS FILHO, 2008).

A seguir apresentam-se algumas das equações que são utilizadas para indicar o desempenho de sistemas como este.

Tabela 2 – Equações do modelo (M/M/S/∞/∞/FIFO)

Taxa de utilização	$p = \frac{\lambda}{m \mu}$
Probabilidade de haver zero cliente no sistema	$P_0 = \left[ 1 + \frac{(mp)^m}{m!(1-p)} + \sum_{n=1}^{m-1} \frac{(mp)^n}{n!} \right]^{-1}$
Probabilidade de haver $n$ clientes no sistema	$P_n = \begin{cases} \frac{(mp)^n}{n!}, & n = 1, 2, \dots, m-1 \\ \frac{p^n m^m}{m!}, & n = m, m+1, \dots, \infty \end{cases}$
Tempo médio de espera na fila	$TF = NF \cdot \frac{1}{\lambda}$
Número médio de clientes no sistema	$NS = NF + p$
Tempo médio no sistema	$TS = NS \cdot \frac{1}{\lambda}$

Fonte: Adaptado de Freitas Filho (2008).

### 2.1.3 Modelo de uma fila e um canal com população finita (M/M/1/∞/k/FIFO)

Nos modelos onde encontramos a população finita devemos considerar um limitante, este muitas vezes é imposto por se saber à quantidade de clientes que pode chegar à fila ou por existir uma capacidade máxima na área de espera. Os usuários que chegam à fila quando ela está em sua capacidade máxima, se quer entram no sistema, são “perdidos” (Freitas Filho, 2008)

Na tabela 3, a seguir, apresentam-se equações utilizadas para indicar o desempenho de filas que seguem este modelo.

Tabela 3 – Equações do modelo (M/M/1/∞/k/FIFO)

Número médio de clientes na fila	$NF = K - \frac{\lambda - \mu}{\lambda} + (1 - p_0) + \frac{\lambda}{\mu}$
Número médio de clientes no sistema	$NS = K - \frac{\lambda - \mu}{\lambda} + (1 - p_0) + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda}{\mu}$
Tempo médio no sistema	$TS = \frac{K}{\lambda} - \frac{(\lambda + \mu)x(1 - p_0)}{\lambda^2} + \frac{1}{\mu}$
Tempo médio na fila	$TF = \frac{K}{\lambda} - \frac{(\lambda + \mu)x(1 - p_0)}{\lambda^2}$
Probabilidade de haver $n$ clientes no sistema	$P_n = \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{K-n}}{(K-n)x \sum_{j=0}^K \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j}{j!}}$

Fonte: Prado (2014)

#### 2.1.4 Modelo de S canais de atendimento com população finita (M/M/S/∞/k/FIFO)

Este modelo possui uma única fila diante de S ( $S > 1$ ) canais de atendimento e um limitante para a sua população, é considerado também que todos os clientes que chegam ao sistema após sua capacidade ser alcançada são “perdidos” (Freitas Filho, 2008).

Neste modelo as equações possuem alta complexidade algébrica, como podemos ver na tabela 4, a seguir.

Tabela 4 – Equações do modelo (M/M/S/∞/k/FIFO)

Taxa de utilização	$p = \frac{\lambda}{m \mu}$
Tempo médio no sistema	$TS = \frac{NS}{\lambda(1 - P_K)}$
Tempo médio na Fila	$TF = \frac{NF}{\lambda(1 - P_K)}$
Relação entre taxa de chegada e taxa de atendimento	$r = \frac{\lambda}{\mu}$

$$\begin{aligned}
 & \text{Probabilidade haver zero cliente} \\
 & \quad \text{no sistema} \\
 & P_0 = \begin{cases} \left[ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^S (k - S + 1)}{S!} \right]^{-1}, & \text{se } \frac{r}{S} = 1 \\ \left[ \sum_{n=0}^{S-1} \frac{r^n}{n!} + \frac{r^S (1 - (\frac{r}{S})^{k-S+1})}{S! (1 - \frac{r}{S})} \right]^{-1}, & \text{se } \frac{r}{S} \neq 1 \end{cases} \\
 & \text{Probabilidade de haver } n \text{ clientes} \\
 & \quad \text{no sistema} \\
 & P_{n=} \begin{cases} P_0 \frac{r^n}{n!}, & \text{se } 1 \leq n \leq (S - 1) \\ P_0 \frac{r^n}{S^{n-S} S!}, & \text{se } S \leq n \leq k \end{cases}
 \end{aligned}$$

---

Fonte: Hillier e lieberman (2013)

Após definidos os modelos de fila para populações infinitas e finitas e visto a complexidade dos mesmos, tratar de modelos em que lidamos com tipos complexos de filas ou um conjunto delas, resolve-las analiticamente torna-se muito trabalhoso.

Assim, a simulação permite resolver estes problemas e analisar períodos de operação registrando o desempenho do cenário simulado, o que habilita a avaliação e a comparação de possíveis alternativas. Assim, o presente trabalho une a teoria de filas à ferramenta de simulação, que é descrita na sequência.

## 2.2 SIMULAÇÃO

Para Freitas Filho (2008), a simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real, possibilitando descrever seu comportamento e construir teorias e hipóteses de acordo com as observações efetuadas, isto é, usar o modelo para prever o comportamento futuro do sistema sob métodos empregados em sua operação.

Uma simulação resume o sistema construindo-o virtualmente, evento por evento, e em seguida executando simulações a fim de obter observações estatísticas do desempenho do sistema resultante (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Taha (2008) caracteriza a simulação como uma imitação computadorizada do comportamento aleatório de um sistema com a finalidade de estimar suas medidas de desempenho.



“Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador.” (PRADO, 2014, p. 111).

É um processo de experimentação para conhecer o comportamento de sistemas e determinar como este responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Permitindo formular e testar hipóteses para dar suporte à tomada de decisão ou visualizar possíveis leiautes futuros (CHAO, 2001).

Assim, a modelagem de filas pode ser analisada como uma simulação, em que, não se usam mais fórmulas matemáticas, mas tenta-se, imitar o funcionamento do sistema real através de recursos computacionais (PRADO, 2014). Esta modelagem permite manipulações que seriam inviáveis no sistema real que ele representa (ANDRADE, 2015).

Estes recursos computacionais vem para complementar todo o estudo sobre filas. Possibilitando empregar no ambiente virtual, os conceitos de um modo mais interativo e dinâmico, e em questão de segundos pode-se simular anos de operação obtendo dados estatísticos sobre o desempenho do sistema.

O crescimento da utilização desta ferramenta deve-se, sobretudo, a facilidade de uso e a sofisticação dos softwares desenvolvidos atualmente.

Essa versatilidade faz com que esta técnica seja amplamente utilizada entre as equipes de pesquisa operacional, em estudos que lidam com esses sistemas (HILLIER E LIEBERMAN, 2013).

Em certos processos, o desenvolvimento de equações matemáticas pode tornar-se um processo muito complexo e oneroso, e a busca pela sua solução pode ser muito trabalhosa e pouco flexível, a simulação permite também o estudo em sistemas que ainda não existem, auxiliando o desenvolvimento de projetos antes que qualquer mudança física tenha sido iniciada (FREITAS, 2008).

Para Andrade (2015) e Prado (2014), podemos enumerar algumas vantagens, justificando o emprego da simulação nas mais diversas áreas. Entre elas destacam-se:

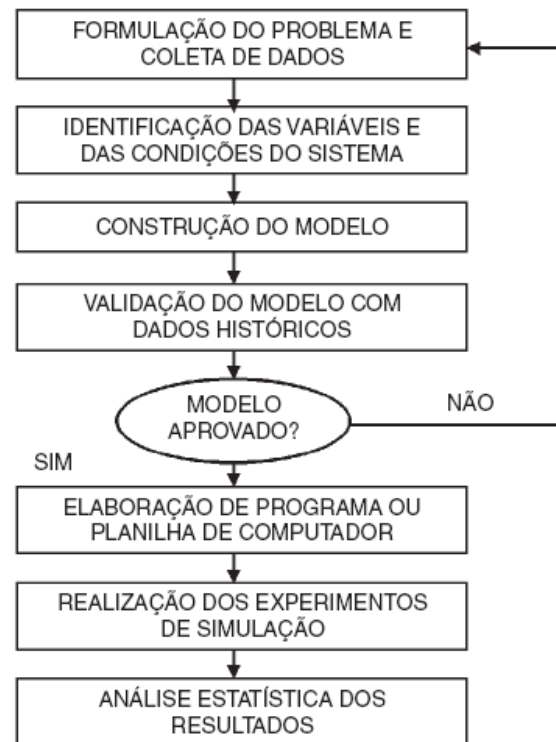
- A simulação possibilita o estudo e a experimentação de complexas interações internas de um dado sistema, seja uma empresa ou parte de uma empresa;
- Por meio da simulação podem ser estudadas algumas variações no meio ambiente e verificados seus efeitos em todo o sistema;

- A experiência adquirida em construir os modelos e realizar a simulação pode levar a uma melhor compreensão do sistema, o que possibilita melhorá-lo;
- A simulação pode servir como um primeiro teste para se delinearem novas políticas e regras de decisão para a operação de um sistema, antes de experimentá-las no sistema real;
- Se o sistema em estudo não existe, por exemplo, quando se estuda a implantação de uma nova fábrica;
- A possibilidade do emprego de animações, permitindo que se visualize o comportamento dos sistemas durante as simulações.

Em contraste com os modelos que buscam a otimização do sistema, os modelos de simulação são executados ao invés de serem resolvidos. Esta diferença entre as abordagens implica que, os modelos simulados permitem uma análise à medida que novas alterações são empregadas no sistema. Porém, as simulações não possibilitam a busca pela solução ótima (FREITAS, 2008).

A modelagem e a experimentação de um trabalho de simulação são desenvolvidas seguindo algumas etapas, enquanto algumas tarefas objetivas podem variar dependendo do projeto, as etapas básicas para-se desenvolver o sistema são essencialmente as mesmas.

Figura 5 – Fluxograma das Etapas da Simulação



Fonte: ANDRADE (2015)

Para ANDRADE (2015), como primeiro passo da modelagem, devemos identificar as principais variáveis do problema, buscando definir também as relações entre elas, de modo a possibilitar a construção de um modelo que represente, o mais fielmente possível, a operação no mundo real. A construção do modelo é uma das partes mais complexas do processo de simulação, isto ocorre pelo fato deste passo consistir na representação do sistema, assim se faz necessário, saber se este atende as condições de operação conhecidas, depois de validado o modelo, iniciam-se os experimentos e a análise dos resultados.

De acordo com Hillier e Lieberman (2013), a simulação é uma ferramenta amplamente utilizada para estimar o desempenho de sistemas estocásticos complexos, pois é uma ferramenta muito flexível e intuitiva.

As organizações estão recorrendo à simulação como um recurso dinâmico para realizar o apoio à decisão, evitando o risco de se investir equivocadamente (CHAO, 2001).

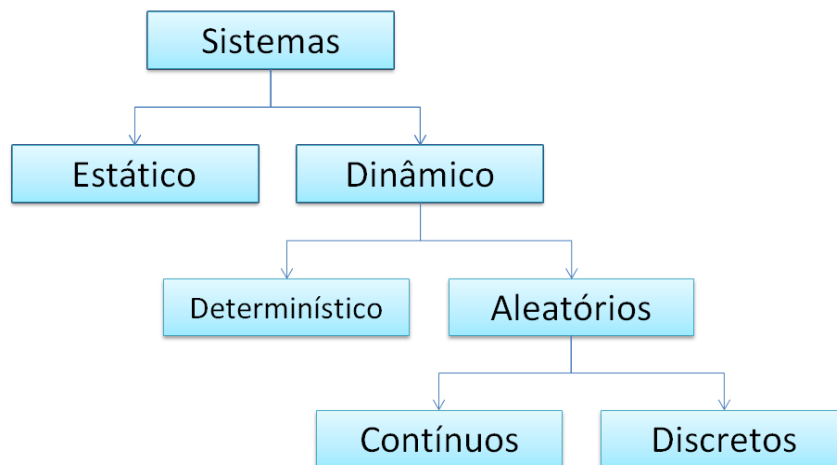
A redução do custo de desenvolvimento dos novos softwares e a economia que estas simulações podem gerar no auxílio às decisões estratégicas empresariais,

fazem com que a disponibilidade de softwares de simulação cresça desde os anos 80 e 90.

A simulação tem sido cada vez mais empregada como uma técnica que permite os analistas dos mais diversos segmentos verificarem soluções aos problemas com os quais lidam diariamente (FREITAS FILHO, 2008).

Os sistemas, segundo Freitas Filho (2008), podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, contínuos ou discretos e também determinísticos ou aleatórios, conforme figura 6.

Figura 6 – Classificação dos Sistemas



Fonte: Baseado em Freitas Filho (2008).

### 2.2.1 Modelos estáticos ou dinâmicos

Podemos classificar os modelos em relação ao tempo, segundo Chao (2001), um modelo que sofre alterações ao longo do tempo é chamado dinâmico, já se o modelo descreve o comportamento do sistema em um único ponto é classificado como estático. Por exemplo, um modelo que mede o lucro ao longo do ano é dinâmico, por sua vez se o modelo medir somente o lucro no final do ano é estático.

### 2.2.2 Modelos determinísticos ou aleatórios

Modelos determinísticos dependem apenas do seu estado inicial e uma informação de entrada, assim é possível calcular o estado futuro da variável. Seu comportamento pode ser totalmente predito e suas simulações determinísticas sempre resultam no mesmo valor, independente de quantas replicações forem executadas.

Os modelos aleatórios dependem de acontecimentos incertos, ou seja, são aqueles cujo comportamento pode ser predito apenas em termos de distribuições de probabilidade (CASTRO, 2006).

### 2.2.3 Simulação de eventos discretos e eventos contínuos

Taha (2008) e Hillier E Lieberman (2013) destacam que existem dois tipos distintos de simulação. A simulação de eventos discretos e de eventos contínuos.

A simulação de eventos discretos trata-se também do estudo de filas, onde a mudança no estado do sistema pode ocorrer instantaneamente em pontos aleatórios, com o objetivo de determinar medidas de desempenho como tempo de espera e tamanho da fila, por exemplo, em um sistema de filas no qual o estado do sistema é o número de clientes no sistema, os eventos discretos que mudam esse estado são a chegada e saída de clientes na decorrência da finalização do serviço.

Já a simulação de eventos contínuos trata de sistemas cujo comportamento muda continuamente ao longo do tempo. Esses modelos costumam usar equações diferenciais para descrever as alterações. Alguns exemplos de sistema são: o estudo da dinâmica da população mundial e a posição atual de uma aeronave mudando continuamente em um voo. O uso das equações diferenciais torna a análise destas simulações mais complexas.

#### 2.2.4 Exemplos de Trabalhos

Em seu trabalho, Camelo, et al. (2010) aplicou os estudos de teoria das filas e simulação em um terminal marítimo, e buscou dimensionar o seu desempenho atual e com a implantação de mais um berço de atracação.

Alves, et al. (2015) analisou o desempenho do processo produtivo em uma lavanderia industrial através da aplicação da teoria das filas. Após a coleta dos dados e o tratamento no Input Analyzer, a simulação no software Arena buscou a redução no tempo de processamento de cada peça e um melhor dimensionamento dos recursos.

Chirspim (2007) utilizou a simulação no Arena para dimensionar a operação ferrovia-porto, no Rio de Janeiro, cujo planejamento prevê um aumento considerável na movimentação de carga. A análise concluiu que a infraestrutura atual não suportaria tal aumento na demanda.

Scarp, et al. (2013) modelou e analisou o processo de atendimento nos caixas de um supermercado varejista. Através da simulação foi possível redimensionar os funcionários, realocando-os em diferentes turnos, o que resultou na minimização das filas e um menor tempo de espera para os clientes.

Carrión (2007) utilizou a teoria das filas como uma ferramenta de análise para otimizar o desempenho de um servidor e quantificar a porcentagem de mensagens perdidas devido ao congestionamento gerado no sistema.

Brito (2009) simulou a operação de um terminal multimodal de contêineres na região de Santos-SP, e visou dimensionar suas operações, buscando diminuir os gargalos ocorridos pelo alto fluxo de caminhões que se dirigem ao porto.

#### 2.2.5 Softwares de simulação

Alguns softwares de simulação se destacam, pois possuem uma interface gráfica que através da conexão de objetos facilitam o desenvolvimento e a compreensão da modelagem, com animações em 2D e 3D.

Alguns destes softwares são AnyLogic da AnyLogic Company, FlexSim da FlexSim Software Products, ProModel da ProModel Corporation e o ARENA da Rockwell Automation.

O software ARENA, criado em 1993, foi desenvolvido para ser o sucessor do SIMAN E CINEMA. Ele possui uma interface gráfica que melhora a dinâmica de simulação dos eventos. (CASTRO, 2006). A construção do modelo é constituída de formas geométricas, cada uma delas representa um procedimento, decisões a serem tomadas, início e término dos processos, entre outros. Sua interface é dinâmica e automatizada pelo uso do mouse, montando o processo e inserindo os dados em cada um dos blocos adicionados. Assim, ao rodar a simulação o ARENA coleta informações estatísticas sobre várias variáveis do modelo, estas informações são reunidas no relatório ao término da simulação, ficando disponíveis para o usuário (CASTRO, 2006).

### 3. METODOLOGIA

A fim de alcançar os objetivos este trabalho adotou uma metodologia, estruturada em forma de fluxograma da figura 7, que será detalhada neste capítulo. Ela foi dividida em sete etapas, esta estrutura serviu de base para o gerenciamento das diferentes etapas que ocorreram ao longo da pesquisa.

De acordo com Silva e Menezes (2001), o estudo de caso que se desenvolveu assume caráter exploratório, pois buscou informações de eventos ainda não quantificados, a fim de proporcionar maior familiaridade com o problema. Sendo assim, esta pesquisa possui uma abordagem quantitativa, visto que busca traduzir em números informações sobre os eventos, e por meio de técnicas estatísticas poder classificar e analisar o processo.

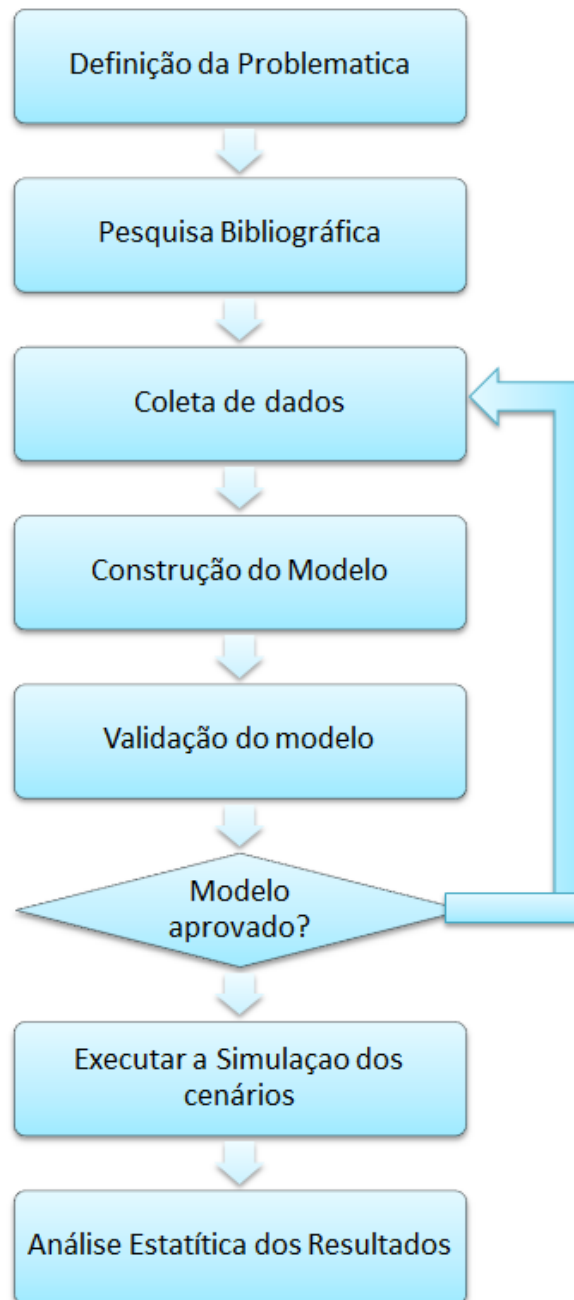
O primeiro passo foi definir a problemática e esclarecer os objetivos que se pretende alcançar com o estudo. Com isso, realizou-se um levantamento bibliográfico sobre os temas relevantes para o entendimento e resolução dos problemas enfrentados. Com estas informações foi possível iniciar a coleta de dados por meio de observações em campo e coleta de informações no sistema, estes são usados para esclarecer os procedimentos e definir distribuições de probabilidade às variáveis utilizadas, técnicas são empregadas para inferir se os dados coletados são suficientes para representar o processo real.

Na construção do modelo unem-se todas as informações e ocorre a transformação do modelo teórico em uma simulação virtual. Depois de construído é necessário realizar a validação do modelo, para isso são realizados testes comparativos para atestar se as informações obtidas nos relatórios refletem o sistema real. Se não for aprovado é necessário aumentar a amostra de dados e verificar possíveis erros de lógica no modelo, entre outros.

Se o modelo for aprovado, após definidos os cenários, realiza-se a simulação e com técnicas estatísticas analisa-se os dados de saída para cada cenário estabelecido.



Figura 7 – Etapas do Processo



Fonte: O Autor (2017)

#### 4. ESTUDO DE CASO

O estudo foi realizado em uma das garagens da empresa de transporte urbano de Joinville-SC, a Gidion Transportes e Turismo Ltda. Além de ser responsável pelo transporte coletivo, esta, realiza também, viagens fretadas para empresas da região.

O cenário em análise são os processos que se realizam em cada um dos ônibus quando eles retornam à garagem, de forma que estejam aptos para a realização da próxima viagem quando solicitados.

As tarefas são realizadas diariamente em 37 ônibus que ao retornarem à garagem são direcionados a fila de abastecimento e iniciam-se os processos para liberação do mesmo, estes processos são ilustrados e detalhados, a seguir.

Figura 8 – Pátio dos veículos



Fonte: O Autor (2017)

Figura 9 – Espaço de abastecimento



Fonte: O Autor (2017)

Figura 10 – Espaço pré-lavagem e lavagem externa



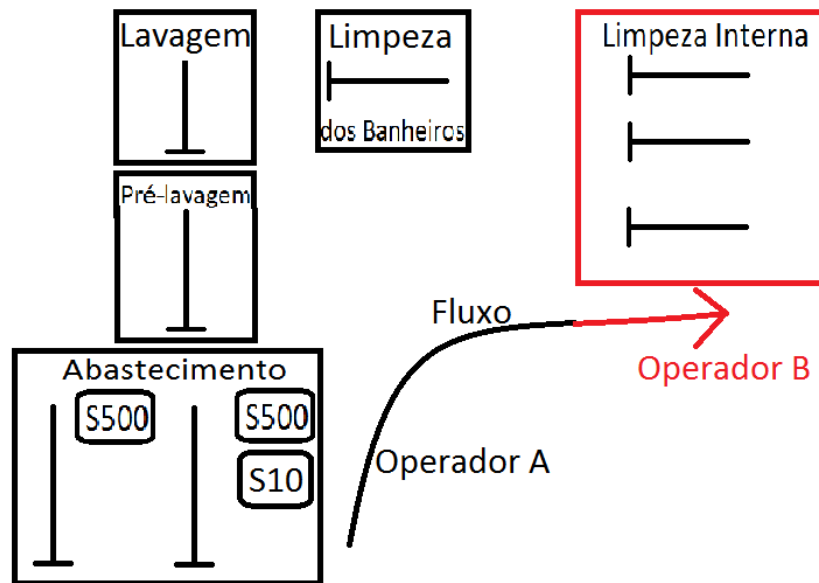
Fonte: O Autor (2017)

Figura 11 – Espaço limpeza externa



Fonte: O Autor (2017)

Figura 12 – Detalhamento das tarefas no Fluxograma



Fonte: O Autor (2017)

Chegada dos veículos: assim que os veículos retornam a garagem, são inspecionados e direcionados para o pátio na fila de abastecimento;

Abastecimento: neste processo é realizado o abastecimento dos veículos com diesel S500 ou S10, contando com duas vagas para realizar as atividades e também duas bombas S500 e uma S10, conforme ilustrado pela figura 12;

Pré-lavagem: é realizada uma limpeza nas rodas e no para-brisa dos veículos, estas áreas não são alcançadas pela máquina de lavagem automática, possui somente uma vaga;

Lavagem externa: realizada a lavagem do veículo com o auxílio de uma máquina automatizada, também possui vaga para um ônibus por vez;

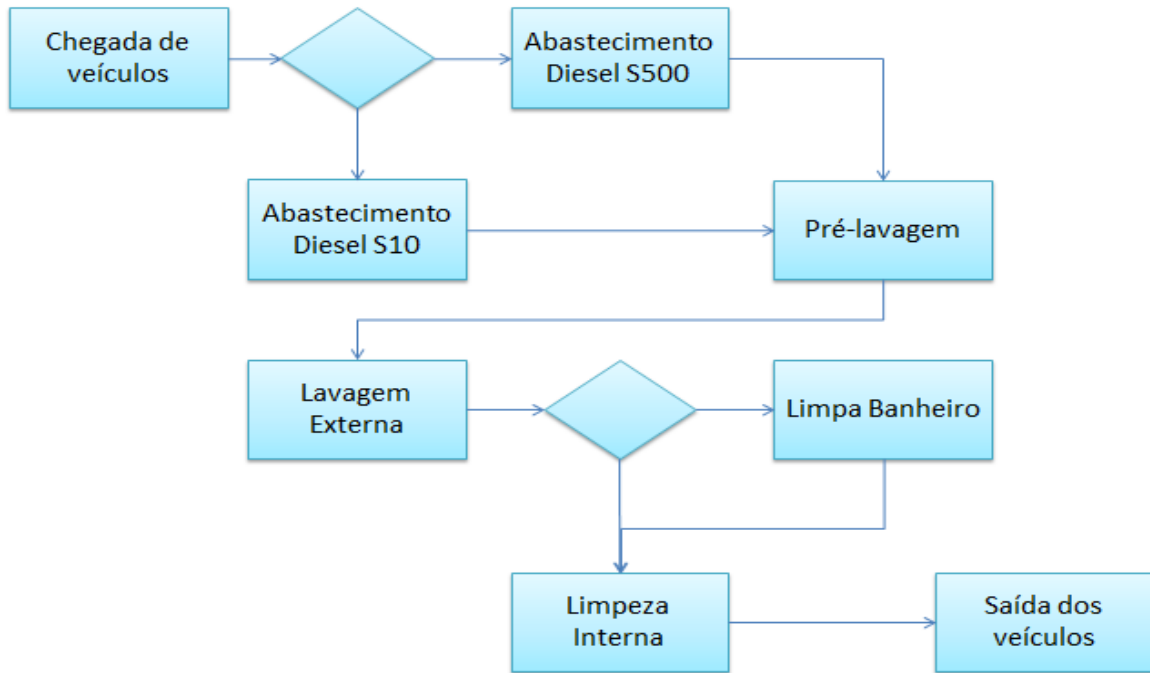
Limpeza dos banheiros: a limpeza é feita ao se injetar água no sistema de descarga do veículo, porém, nem todos os veículos realizam esta operação e o espaço conta com uma vaga para a atividade;

Limpeza Interna: processo conta com a limpeza e organização interna dos veículos, esta tarefa demanda o maior tempo dentre as outras e conta com três vagas para sua realização;

Ida para o pátio: veículo retorna ao pátio e está liberado a realizar novas operações.

Após o detalhamento dos processos realizados em todos os veículos, a figura 13, a seguir, busca ilustrar toda dinâmica das atividades.

Figura 13– Fluxograma do Sistema



Fonte: O Autor (2017)

Todo o processo segue a dinâmica ilustrada pela figura 12. Assim, ao pegar o veículo no pátio é verificado com qual diesel deve ser abastecido, diesel S500 ou S10, esta verificação é rápida e se realiza com base no ano de fabricação, veículos fabricados até o ano de 2012 recebem o diesel S500, já os fabricados de 2013 em diante recebem o diesel S10, as principais diferenças entre eles são; o teor de enxofre e a adição ou não de aditivos. Neste setor, além de realizar o abastecimento ocorrem também a verificação dos níveis de água e óleo ou a lubrificação de determinados componentes mecânicos, a variação destas tarefas seguem uma escala, segundas, quartas e sextas é realizado a verificação de água e óleo e nas terças e quintas ocorre à lubrificação.

Depois de abastecidos, todos os ônibus são encaminhados para uma pré-lavagem, onde se realiza a limpeza de áreas específicas como as rodas e para-brisas, visto que a máquina de limpeza automática não as alcança.

Após passar pela lavagem externa os veículos se encaminham para o setor de limpeza de banheiros, onde a limpeza dos mesmos é realizada, quando

necessário, através da injeção de água sob pressão no sistema de descarga do veículo. Assim, devidamente abastecido e externamente limpo, os veículos são encaminhados para o setor de limpeza interna, neste local se realiza a limpeza e organização interna para assim serem liberados.

As operações são separadas em turnos e ocorrem todos os dias da semana, os turnos são divididos conforme a necessidade dos veículos pela empresa, no período da manhã e tarde o processo é realizado nos veículos que realizam o fretamento e no período da noite e madrugada são reservados para os veículos do transporte urbano.

Todos os canais descritos estão sujeitos ao surgimento de filas, quando mal dimensionados. Assim, o intuito do presente trabalho é, por meio da coleta e análise dos dados obtidos em campo, desenvolver um modelo, para que este sirva como base para uma tomada de decisões sob o sistema e realizar o correto dimensionamento dos recursos nele utilizados.

Neste sentido, são analisados três cenários, o primeiro, cenário atual, reflete a situação aplicada na empresa nos dias de hoje. Após a validação do modelo nos permite a comparação dos indicadores com os demais cenários.

O segundo cenário é baseado em um projeto da própria empresa que busca a melhoria no setor de abastecimento, este prevê a instalação de mais uma bomba de abastecimento de diesel S10.

Já no terceiro cenário optou-se na modificação da quantidade de funcionários em cada setor, em busca do melhor dimensionamento dos recursos para esta operação.

#### 4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Neste capítulo é detalhado a coleta e tratamento dos dados, o mapeamento de cada processo para a construção do modelo de simulação.

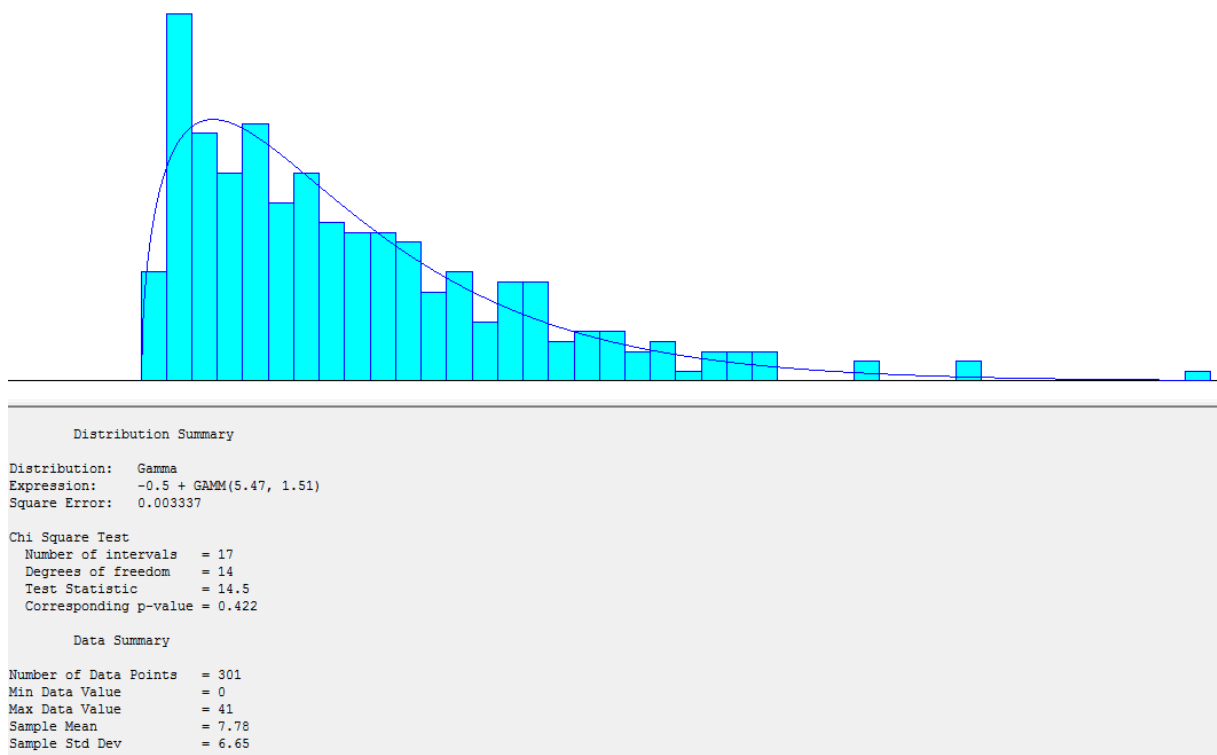
#### 4.1.1 Coleta de dados

Os dados necessários para quantificar os processos do sistema em análise foram obtidos através de consultas em um software específico da empresa, observação de cada processo do sistema (coleta manual) e através do registro de cada funcionário após a conclusão de determinadas tarefas.

O tamanho da base de dados necessária para retratar cada processo em um nível de confiabilidade aceitável seguiu algumas etapas.

Após a coleta, os dados obtidos foram organizados em um histograma, com isso foi possível analisar seu comportamento e disparidade, assim se necessário eram coletados mais dados, caso contrário, estes dados eram introduzidos na ferramenta de análise de dados do software Arena, o Input Analyzer. Conforme figura 14, a seguir.

Figura 14 – Taxa de Chegada do veículos (*Input analyzer*)



Fonte: O Autor (2017)

O Input Analyzer, analisa e retorna uma lista de distribuições de probabilidade que representam os dados, classificadas pelo seu erro quadrático em forma crescente. Para encontrar a que melhor representa, foram utilizados os indicadores de erro quadrático “Square Error” seguido do teste de aderência “Qui-quadrado”.

De acordo com Freitas Filho (2008), estes indicadores são indispensáveis quanto à validação dos dados de campo. O erro quadrático indica a qualidade do ajuste entre as frequências observadas  $f_i$  e as frequências relativas esperadas  $f(x_i)$ , esta diferença é elevada ao quadrado por questão dos sinais.

$$\text{Erro quadrático} = \sum (f_i - f(x_i))^2$$

Quanto menor este valor, melhor é o ajuste entre as curvas. O segundo indicador que deve ser observado é o teste de aderência; o teste “Qui-quadrado”, este representa a diferença entre as frequências, esperada e a observada na amostra obtida, ou seja, quanto menor o valor de  $X^2$ , maior é a aderência entre as distribuições. O parâmetro de aceitação deve seguir o valor de  $X^2$ , ou seja,  $X^2$  deve ser menor que os valores críticos da distribuição, tabelados para 5% de erro e  $v$  graus de liberdade.

Na tabela 7, são apresentados todo o conjunto de dados utilizados na simulação, seguido pelo tamanho da amostra coletada, forma de coleta, distribuição e expressão que melhor os representam e também os indicadores erro quadrático e testes de aderência qui-quadrado com seus respectivos valores;  $X^2$ ,  $v$  graus de liberdade e valor tabelado de  $X^2$  para 5%.

Quanto ao procedimento de coleta de dados, ao invés de utilizar as distâncias entre os processos e calcular seu tempo com base em uma velocidade média de operação, optou-se por obter os tempos de deslocamento entre cada processo a partir da aferição direta no campo, estes valores também são apresentados na tabela 7.

Conforme apresentado no fluxograma do processo, da figura 13, existe uma porcentagem que divide os veículos que abastecem diesel S500 e diesel S10, este valor foi obtido através da análise da escala de abastecimento dos veículos. Existe



também a percentagem de veículos que passam pelo processo de limpeza dos banheiros, obtido por meio da análise de dados históricos. Estas percentagens encontram-se nas tabelas 5 e 6, a seguir.

Tabela 5 – Percentagem de Veículos em cada bomba

<b>Percentagem de Veículos para as Bombas de abastecimento</b>	
Diesel S500	73%
Diesel S10	27%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 6 – Percentagem de veículos na limpeza de banheiro

<b>Percentagem de Veículos na limpeza dos banheiros</b>	
Precisam limpar o banheiro	43%
Não precisa limpar o Banheiro	57%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fonte: O Autor (2017)

A tabela 7, a seguir, mostra as expressões de probabilidade utilizadas de acordo com a notação extraída do *Input Analyzer* e inseridas no ARENA, por isso, utilizam ponto ao invés de vírgula.

Tabela 7 – Distribuições de Probabilidade

Dado	Coleta	Número de dados	Distribuição	Expressão	Unidade de Medida	Erro Quadrático	$\chi^2$	$\nu$	$\chi^2(\alpha = 5\%)$
Taxa de chegada	Coleta no sistema	301	Gamma	-0.5 + GAMM( 5.47, 1.51 )	Minutos	0,0033	14,5	14	23,68
Abastecimento (Lubrificação)	Coleta manual	45	Weibull	2.5 + WEIB( 2.37, 1.8 )	Minutos	0,0077	1,7	1	3,84
Abastecimento (Água e óleo)	Coleta manual	55	Weibull	2.5 + WIEB( 2.01, 1.66 )	Minutos	0,0143	1,6	1	3,84
Pré-lavagem	Coleta manual	95	Lognormal	0.23 + LOGN( 1.03, 0.632 )	Minutos	0,0162	5,77	2	5,99
Lavagem Automática	Coleta manual	97	Exponencial	0.999 + EXPO( 0.136 )	Minutos	0,0126	3,33	2	5,99
Limpeza Interna	Dados históricos	243	Lognormal	0.5 + LOGN( 17.9, 8.85 )	Minutos	0,0032	10,3	14	23,68
Buscar veículo pátio	Coleta manual	25	Normal	NORM( 15.7, 1.56 )	Segundos	0,0135	0,68	1	3,84
Buscar veículo pré-lavagem	Coleta manual	23	Normal	NORM(19.3, 2.42)	Segundos	0.0658	5.68	1	3,84
Buscar veículo lavagem externa	Coleta manual	27	Lognormal	12.5 + LOGN( 3.79, 2.76 )	Segundos	0,0219	1,16	1	3,84
Limpar banheiro	Coleta manual	31	Weibull	43.5 + WEIB(22.8, 1.7)	Segundos	0,0456	5,68	2	5,99

Fonte: O Autor (2017)

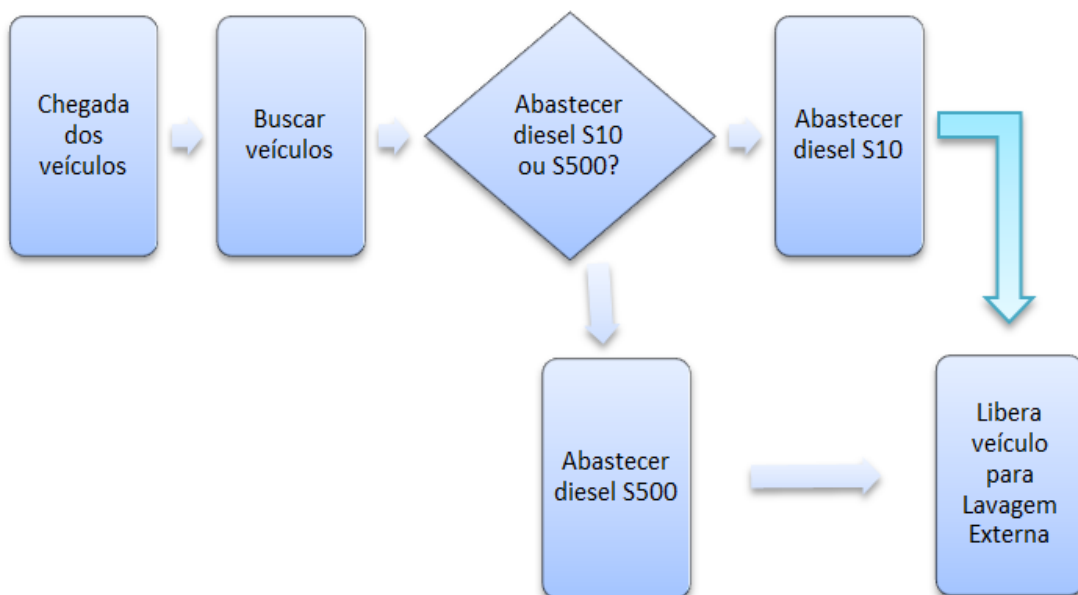
## 4.2 MODELO DE SIMULAÇÃO

A construção de todo o modelo foi dividida em três processos principais: abastecimento, lavagem externa e limpeza interna. Estes sistemas serão detalhados a seguir e o modelo final desenvolvido no software Arena pode ser visualizado nos apêndices.

### 4.2.1 Abastecimento

O setor de abastecimento foi modelado desde o momento em que o recurso Operador A, entra no processo de buscar a entidade, veículo, no pátio. Após a busca, as entidades entram no bloco “decide”, onde por meio da porcentagem dos veículos que abastecem, com determinado tipo de diesel são dirigidas para a bomba de abastecimento. Após o tempo de abastecer, em umas das duas vagas disponíveis, os veículos são liberados e direcionados para realizar os processos no setor de lavagem externa. Além da busca dos veículos no pátio o Operador A é quem realiza as atividades dispostas no setor de abastecimento.

Figura 15 – Fluxograma do abastecimento



Fonte: O Autor (2017)

Com a dinâmica do setor de abastecimento ilustrada pelo fluxograma da figura 15, serão detalhados os dados inseridos no software ARENA, explicando os blocos inseridos em cada setor da modelagem.

O bloco “Create” onde ocorre a criação das entidades “ônibus” com um número máximo de 37 veículos, este limitante foi imposto segundo a escala definida pela empresa para a operação em estudo. As entidades chegam segundo expressão estatística  $(-0.5 + \text{GAMM}(5.47, 1.51))$ , uma de cada vez, iniciando no instante zero da simulação.

Figura 16 – Chegada dos veículos

The screenshot shows the 'Create' dialog box in the ARENA software. The dialog is titled 'Create' and has a question mark icon and a close button (X). The fields are as follows:

Name:		Entity Type:
Chegada veiculos		Onibus
Time Between Arrivals		
Type:	Expression:	Units:
Expression	-0.5 + GAMM(5.4	Minutes
Entities per Arrival:	Max Arrivals:	First Creation:
1	37	0

At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'OK', 'Cancelar', and 'Ajuda'.

Fonte: O Autor (2017)

Para o processo de busca dos veículos no pátio utilizou-se o bloco “Process”, o recurso Operador A é quem realiza esta tarefa e requer uma vaga de abastecimento utilizando o recurso “Espaço de Abastecimento”, conforme a figura 17, a seguir.

Figura 17 – Busca dos veículos no pátio

Process

Name: Busca Type: Standard

Logic

Action: Seize Delay Priority: Medium(2)

Resources:

- Resource, Operador A, 1
- Resource, Espaço de Abastecimento, 1
- <End of list>

Adicionar...  
 Editar...  
 Apagar

---

Delay Type: Normal Units: Seconds Allocation: Value Added

Value:(Mean): 15.7 Std Dev: 1.56

Report Statistics

OK Cancelar Ajuda

Fonte: O Autor (2017)

Ao buscar o veículo verifica-se em qual bomba ele será abastecido, para isso utilizou-se o bloco “Decide” com as probabilidades de abastecimento de cada bomba conforme Tabela 5.

Figura 18 – Módulo decide para escolha da bomba

Decide

Name: Qual Bomba Type: 2-way by Chance

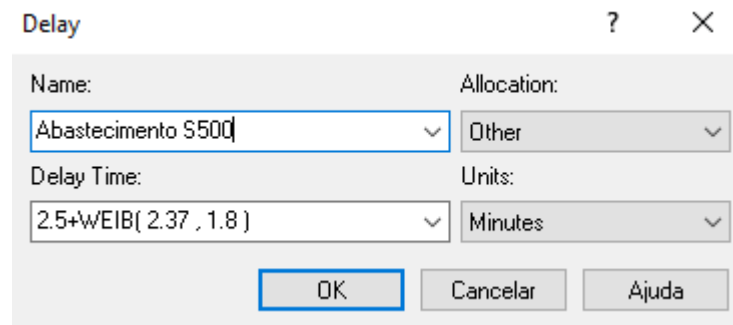
Percent True (0-100): 73%

OK Cancelar Ajuda

Fonte: O Autor (2017)

Após a escolha da bomba do diesel S10 ou S500, a entidade é direcionada para o abastecimento e fica retida no processo até sua conclusão, para assim ser liberada para os processos de lavagem externa. Utilizou-se o bloco “delay” para modelagem desta atividade visto que não há diferença entre o abastecimento do diesel S10 e S500, conforme figura 19, a seguir.

Figura 19 – Processo de abastecimento



The image shows a 'Delay' dialog box with the following fields and values:

Field	Value
Name	Abastecimento S500
Allocation	Other
Delay Time	2.5+WEIB( 2.37 , 1.8 )
Units	Minutes

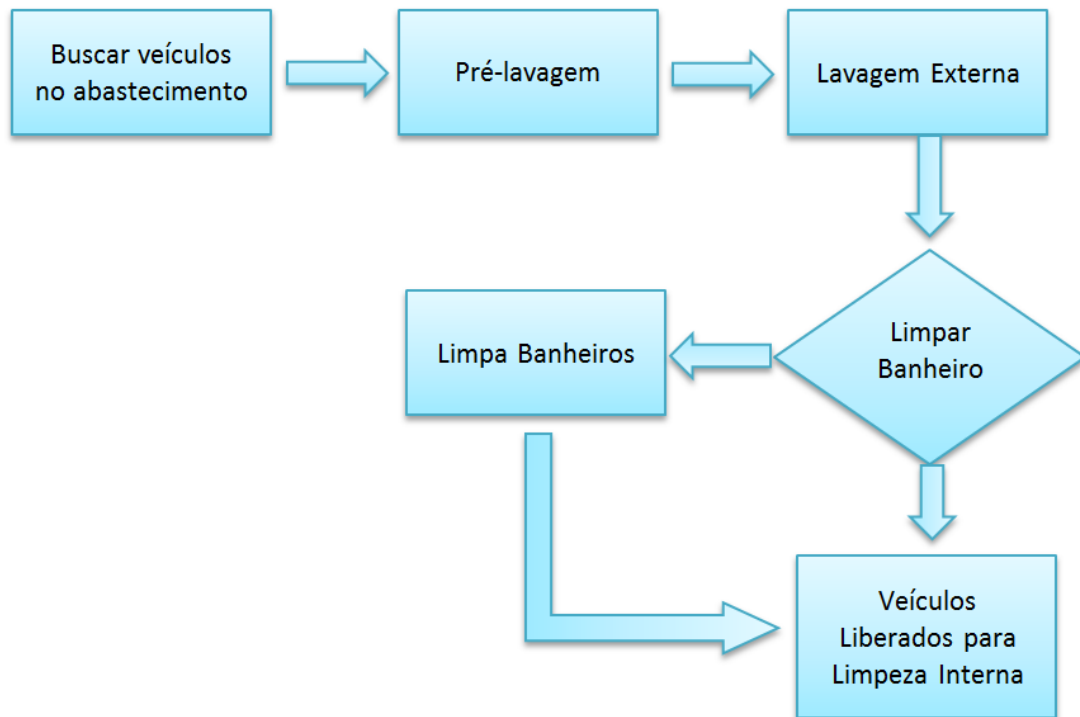
Buttons: OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: O Autor (2017)

#### 4.2.2 Lavagem Externa

As etapas do setor de lavagem externa incluem: a busca da entidade “ônibus” na área de abastecimento, a pré-lavagem, onde os veículos possuem uma área específica para realização de uma limpeza manual para assim seguirem à lavagem externa realizada de forma automatizada, após isto se verifica a necessidade de realizar a limpeza do banheiro, assim concluídas estas tarefas os veículos estão liberados para o setor de limpeza interna, as tarefas deste setor são todas realizadas pelo recurso do Operador A.

Figura 20 – Fluxograma da Lavagem Externa



Fonte: O Autor (2017)

Para realizar a busca das entidades na área de abastecimento, utilizou-se o bloco “Process” que aloca o recurso do operador A, por um determinado tempo, na realização desta atividade. Para ocorrer à busca da entidade é necessário que a área de pré-lavagem esteja desocupada, esta verificação é modelada através da utilização do recurso “espaço pré-lavagem”, conforme figura 21, a seguir.

Figura 21 – Busca dos veículos no abastecimento

Fonte: O Autor (2017)

As etapas de pré-lavagem e lavagem externa alocam a entidade em seus determinados espaços utilizando o Operador A durante um determinado “Delay”, este segue uma distribuição estatística inserida em cada bloco determinado, conforme figura 22, a seguir.

Figura 22 – Pré-lavagem e lavagem externa

Fonte: O Autor (2017)



Ao concluir a lavagem externa é verificado se há a necessidade de realizar a limpeza dos banheiros, esta decisão é modelada com o bloco “Decide” onde por meio de uma porcentagem, as entidades são direcionadas para a limpeza dos banheiros ou diretamente liberadas para o setor de limpeza interna, conforme tabela 6. A limpeza dos banheiros é modelada com o bloco “Process” e utiliza o recurso do operador A para realizar esta tarefa e requer o “espaço limpa banheiro” para alocar a entidade “ônibus”, após o “Delay” o veículo é liberado.

Figura 23 – Bloco Decide para limpar banheiro

The screenshot shows a 'Decide' dialog box with the following configuration:

- Name:** Decide Lava Banheiro
- Type:** 2-way by Chance
- Percent True (0-100):** 43 %
- Buttons:** OK, Cancelar, Ajuda

Fonte: O Autor (2017)

Figura 24 – Limpeza dos Banheiros

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

- Name:** Limpa Banheiro
- Type:** Standard
- Logic:** Seize Delay
- Priority:** Medium(2)
- Resources:** Resource, Operador A, 1; Resource, Espaço\_Limpa\_Banheiro, 1
- Delay Type:** Triangular
- Units:** Seconds
- Allocation:** Value Added
- Minimum:** 43.5
- Value:(Most Likely):** 60
- Maximum:** 90.5
- Report Statistics:**
- Buttons:** OK, Cancelar, Ajuda

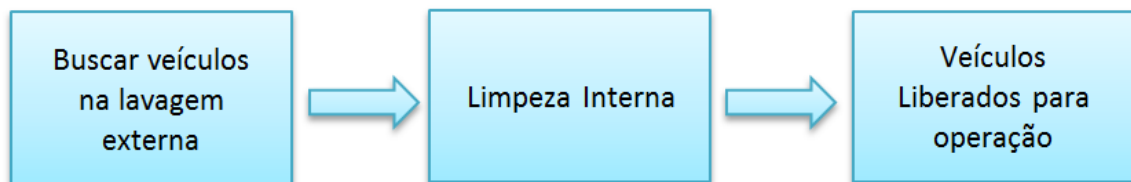
Fonte: O Autor (2017)

### 4.2.3 Limpeza Interna

O setor de limpeza interna inicia quando ocorre à busca dos veículos na área da lavagem externa, as tarefas deste setor são realizadas pelo recurso do operador B.

A limpeza interna utiliza o recurso “área de limpeza interna” para alocar cada entidade “ônibus” e esta tarefa é realizada por dois operadores para cada veículo, em uma das três vagas disponíveis. Assim, concluídas estas tarefas os veículos estão liberados para as operações.

Figura 25 – Fluxograma da Limpeza Interna



Fonte: O Autor (2017)

Para ocorrer à busca das entidades liberadas do setor de lavagem externa, é preciso verificar se há recursos disponíveis no processo de limpeza interna, se não houver verifica-se se a fila para utilização deste recurso também não está em sua capacidade máxima. Visto que a área conta com um limitante de espaço neste setor, se a fila estiver em sua capacidade máxima isto acarretará um efeito dominó, paralisando os processos anteriores até que se diminua a fila de espera para a limpeza interna.

Esta verificação é modelada através do bloco “Hold” onde o modelo verifica o tamanho da fila e se necessário, segura as entidades, impedindo que a fila em análise aumente.

Depois de realizada esta verificação é possível realizar a busca, que é regida por uma distribuição de probabilidade, esta indica o tempo que o operador

levará para realizar a busca. O processo de busca modelado por um bloco “Process” e o bloco “Hold” são ilustrados pelas figuras a seguir.

Figura 26 – Bloco Hold

Fonte: O Autor (2017)

Como se pode observar, o bloco “Hold” verifica o tamanho da fila da Limpeza Interna antes de liberar cada entidade e enquanto ela é menor ou igual a cinco ela não as segura.

Figura 27 – Processo de busca na lavagem externa

Fonte: O Autor (2017)

Para a limpeza interna dos veículos são necessários que dois recursos do operador B estejam livres, as entidades ficam retidas por um determinado “Delay” que segue a distribuição estatística que representa o processo, este dados são inseridos no bloco, conforme figura 28, a seguir.

Figura 28 – Processo de limpeza interna

The screenshot shows a dialog box titled "Process" with the following configuration:

- Name:** Limpeza Interna
- Type:** Standard
- Logic:**
  - Action:** Delay Release
  - Resources:**
    - Resource, Espaço Lavagem interna, 1
    - Resource, Operador B, 2
    - <End of list>
- Delay Type:** Expression
- Units:** Minutes
- Allocation:** Value Added
- Expression:**  $0.5 + \text{LOGN}(17.9, 8.85)$
- Report Statistics

Buttons at the bottom: OK, Cancelar, Ajuda.

Fonte: O Autor (2017)

Ao concluir estes processos os veículos são encaminhados para o pátio e estão prontos para retornar as atividades.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados obtidos de cada cenário proposto, bem como uma discussão sobre os resultados.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com a construção do modelo base, pode-se realizar a simulação no software Arena e analisar os resultados. A validação do modelo ocorreu com base nos resultados da simulação do cenário base, esta validação ocorreu de forma subjetiva, baseada no conhecimento obtido nas análises realizadas em campo. Neste capítulo, serão apresentados os parâmetros utilizados para replicação da simulação, especificação de cada cenário simulado e os principais indicadores de desempenho de cada um, bem como uma comparação entre estes.

Para se confiar nos dados resultantes da simulação, foi necessário determinar o tamanho da amostra ou número de replicações necessárias.

Segundo Freitas Filho (2008), para se estabelecer o número de replicações é necessário estipular a precisão que se espera da média da variável em análise em um nível de confiança.

A variável escolhida para este cálculo foi o tempo médio que os veículos ficaram no sistema após uma simulação com dez replicações. Obtendo assim a média  $\bar{x}$  e seu desvio padrão  $s$  e definindo uma precisão de 1 minuto com um nível de confiança igual a 99%. Assim, os dados foram aplicados na fórmula:

$$n = \left( \frac{100 \cdot t \cdot s}{r \cdot \bar{x}} \right)^2$$

O valor de  $t$  é tabelado segundo a distribuição *t student*, com  $(n - 1) = 9$  graus de liberdade,  $r$  é a precisão esperada pelo modelo, definida em 1 minuto. A fórmula utilizada requer  $r$  em porcentagem assim é necessário transformar nossa precisão desejada.

$$r = \left( \frac{\text{precisão desejada}}{\text{valor da média}} \right) * 100$$

Assim, transformamos nossa precisão de 1 minuto em termos da porcentagem da média utilizada. Temos assim:

$$n = \left( \frac{100 * 3,250 * 4,97}{3,21 * 31,13} \right)^2 = 260,91 \text{ replicações}$$

Assim, pode-se concluir que, a quantidade de replicações necessárias para realizar a análise dos resultados com a confiança requerida é de  $n = 261$  replicações, sabendo esta quantidade mínima de replicações, para as simulações deste estudo, aumentou-se esta quantidade para 1000 replicações, afim de, se obter dados com uma maior precisão e um menor erro experimental.

## 5.1 CENÁRIO BASE

Este cenário não contém modificações, pois busca refletir a operação atual. Sendo assim, o processo contém uma bomba para abastecimento S10 e duas S500, instaladas na área de abastecimento onde se possui vaga para dois veículos. Assim, concluído o abastecimento, os veículos são direcionados para a pré-lavagem, que tem a capacidade para somente um ônibus. As operações na sequência, lavagem externa e limpa banheiros, também possuem capacidade para somente um veículo.

Estas operações ocorrem em sequência e não possuem espaço para surgimento de filas entre cada processo. Para o setor de limpeza interna, a fila possui uma capacidade máxima de cinco ônibus. No setor da limpeza interna dispõe-se de vaga para três veículos e conta com uma equipe de seis operadores B, dispostos em duplas para a limpeza de cada veículo. A quantidade de operadores A no sistema é de dois operadores.

Tabela 8 – Tabela Cenário Base

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>	
Média	Variância
32,35	0,42

<b>Porcentagem de uso do recurso</b>	
Espaço de abastecimento	25,34
Bomba S10	12,64
Bomba S500	17,32
Espaço da lavagem externa	12,01
Espaço da pré-lavagem	16,22
Espaço limpa banheiro	5,07
Espaço limpeza interna	63,32
Operador A	43,30
Operador B	62,86

Fonte: O Autor (2017)

No cenário base, grande parte dos processos resultaram em um tempo de espera médio, após todas as replicações, menores que um minuto. Porém, o tempo de espera médio para a limpeza interna ficou em 5,69 minutos e variância de 0,33. Com base nos resultados obtidos da simulação notou-se que antes da limpeza interna existe um gargalo operacional, e ao analisar a média máxima que o tempo de espera para esta tarefa pode obter, notamos que este valor em dias com movimentação acima da média pode alcançar 37,13 minutos em média.

Assim, a realização de análises para se buscar um melhor dimensionamento dos recursos neste setor se torna algo imprescindível.

## 5.2 CENÁRIO 1

Baseado em um projeto da própria empresa, o cenário 1 prevê a implantação de mais uma bomba de abastecimento S10. Os recursos de todos os outros setores não foram modificados. A fim de se analisar as mudanças nas variáveis do processo, e verificar o comportamento do sistema como um todo, após esta mudança.

As vagas de abastecimento para este processo, mesmo após a instalação da nova bomba S10, continuaram com sua mesma capacidade, dois veículos.

Tabela 9 – Tabela Cenário 1

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>	
Média	Variância
32,21	0,41

<b>Porcentagem de uso do recurso</b>	
Espaço de abastecimento	24,97
Bomba S10	6,37
Bomba S500	17,25
Espaço da lavagem externa	11,97
Espaço da pré-lavagem	16,23
Espaço limpa banheiro	5,0
Espaço limpeza interna	63,35
Operador A	42,88
Operador B	62,89

Fonte: O Autor (2017)

Comparando o tempo médio no sistema, do cenário base com o cenário 1, temos uma redução no tempo de 32,35 minutos (cenário base) para 32,21 minutos (cenário 1), isso representa uma melhora no tempo de 0,43%. Porém, para se afirmar que há melhorias, mesmo que pequena, é preciso realizar um teste de hipótese.

Segundo Barbetta (2010), para verificar estatisticamente a veracidade de uma hipótese, se o valor da média realmente reduziu, precisamos de um conjunto de dados. Quando desejamos confirmar ou refutar alguma hipótese, precisamos estabelecer um nível de significância e a distribuição de probabilidade dos dados.

Neste trabalho adotou-se um nível de significância de 5%, e uma distribuição de probabilidade normal padrão.

Com base na abordagem clássica, destacada por Barbetta (2010), como temos a variância conhecida, o cálculo da estatística para o teste é realizada por:



$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Onde:  $\bar{x}$  é o valor da média;

$n$  é o tamanho da amostra;

$\sigma$  é o desvio padrão da população.

Assim calculamos  $z$ , pois a nossa amostra é grande o suficiente para igualarmos a  $t$ , onde  $t$  segue a distribuição de student. E com o auxílio da tabela da distribuição normal padrão, obtemos o valor crítico de  $z$ , com base no nível de significância escolhido, concluindo assim, se estatisticamente existe diferença entre as médias em análise.

Ao calcular  $z$  concluímos, com 95% de certeza que, é possível afirmar uma redução no tempo médio dos veículos no sistema, mesmo que pequeno.

Se compararmos as tabelas de porcentagem de uso dos recursos entre os dois cenários, também se conclui que existe uma melhora, mesmo que pequena.

Isso se deve a quantidade de veículos que abastecem diesel S10 neste processo, conforme o Gráfico 1, 27% dos 37 veículos.

Ao analisar a tabela 8, exclusivamente na porcentagem de uso do recurso Bomba S10, que é de 12,64%, indica que este recurso não está sendo altamente utilizado e sendo assim, não é um gargalo operacional.

Com a renovação da frota, mais veículos irão abastecer diesel S10, mudando assim a porcentagem da decisão das bombas e podendo desta forma aumentar o uso da bomba, justificando, talvez, sua implantação no futuro.

Para o sistema em análise neste estudo, contendo sua frota atual, a implantação de mais uma bomba de abastecimento S10, não é necessária.

### 5.3 CENÁRIO 2

O cenário 2 focou as modificações da simulação no setor de limpeza interna, visto que neste local existe um gargalo operacional, assim, foram verificados os indicadores, ao se redimensionar o recurso do operador B e o espaço de limpeza interna.

### 5.3.1 Cenário 2.1

Um problema muito recorrente nas empresas é a abstenção dos funcionários inesperadamente, isto, além de prejudicar o desempenho do sistema, acaba sobrecarregando os outros funcionários, o que gera prejuízos para todos. Sendo assim, este cenário busca analisar e quantificar estes prejuízos acarretados pela falta de somente um funcionário, operador B. Pois, muitas vezes a empresa não consegue escalar um funcionário substituto.

Tabela 10 – Tabela Cenário 2.1

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>	
Média	Variância
59,15	1,11
<b>Porcentagem de uso do recurso</b>	
Espaço de abastecimento	25,46
Bomba S10	12,67
Bomba S500	17,27
Espaço da lavagem externa	20,46
Espaço da pré-lavagem	16,20
Espaço limpa banheiro	11,96
Espaço limpeza interna	85,81
Operador A	50,55
Operador B	87,68

Fonte: O Autor (2017)

Se compararmos os indicadores de desempenho do cenário base com este cenário, conseguimos ver a importância do operador B, para todo o sistema.

Tabela 11 – Percentuais em relação ao cenário base

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>		
Média Cenário Base	Média Cenário 2.1	Percentual em relação ao cenário base
32,35	59,15	82,84

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 12 – Comparação cenário base e cenário 2.1

<b>Porcentagem de uso dos recursos</b>		
Recurso	Cenário base	Cenário 2.1
Espaço de abastecimento	25,34	<b>25,46</b>
Bomba S10	12,64	<b>12,67</b>
Bomba S500	<b>17,32</b>	17,27
Espaço da lavagem externa	12,01	<b>20,46</b>
Espaço da pré-lavagem	<b>16,22</b>	16,20
Espaço limpa banheiro	5,07	<b>11,96</b>
Espaço limpeza interna	63,32	<b>85,81</b>
Operador A	43,30	<b>50,55</b>
Operador B	62,86	<b>87,68</b>

Fonte: O Autor (2017)

Ao analisar os resultados da simulação, nota-se o impacto da ausência de apenas um funcionário, operador B, prejudicando significativamente todo o sistema. O tempo médio dos veículos no sistema aumentou 82,84%, o que acarreta um maior tempo de operação e sobrecarga dos recursos. O tempo médio de espera na fila para limpeza interna salta de 5,69 minutos no cenário base para 23,75 minutos.

Como os veículos são limpos em duplas, a falta de um funcionário fará com que, quem estiver sem dupla, fique trabalhando em média 7,29 minutos, sem o auxílio de um companheiro.

Este acúmulo de tarefas faz com que a porcentagem de utilização dos operadores, em geral, aumente e se a taxa de utilização está muito elevada, a empresa deve tentar de alguma maneira reduzi-la, pois, a sobrecarga de trabalho

causa estresse, podendo gerar problemas à saúde, ineficiência, faltas, atrasos constantes, entre outros.

Por isso, cabe à empresa motivar o funcionário, por meio de políticas de recompensa, aumentando seu sentimento de participação para com o sistema, impondo metas, aumentando a motivação pessoal, incentivando sua participação e a sua produtividade.

Assim, este cenário buscou mostrar a importância dos colaboradores para com o sistema.

### 5.3.2 Cenário 2.2

Visto o gargalo operacional que existe no setor de limpeza interna, este cenário buscou reduzir as filas ao melhorar o tempo de atendimento neste processo, reduzindo assim o tempo total que os veículos ficam no sistema. Para isso, foi modificada a capacidade do espaço de limpeza interna, que aumentou de três para quatro vagas e foi incluído uma dupla de Operadores B para trabalhar neste local.

Sendo assim, este cenário contém a partir de agora, oito operadores B que trabalham em duplas nas quatro vagas de limpeza interna.

Tabela 13 – Tabela cenário 2.2

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>	
Média	Variância
27,70	0,15

<b>Porcentagem de uso do recurso</b>	
Espaço de abastecimento	25,36
Bomba S10	12,71
Bomba S500	17,28
Espaço da lavagem externa	11,63
Espaço da pré-lavagem	16,22
Espaço limpa banheiro	4,7
Espaço limpeza interna	47,53

Operador A	43,01
Operador B	47,19

Fonte: O Autor (2017)

Com a adição dos dois operadores B e a quarta vaga no setor de limpeza, conseguiu-se eliminar o gargalo no local, reduzindo assim, as filas no setor, visto que, o tempo de espera médio passou de 5,69 minutos para 1,15 minutos, isto representa uma redução de 80,70%.

Assim, se comparar os principais indicadores deste cenário com o cenário base obtém-se.

Tabela 14 – Percentuais em Relação ao cenário base

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>		
Média Cenário Base	Média Cenário 2.2	Percentual de redução
32,35	27,70	14,37

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 15 – Comparação entre cenário base e cenário 2.2

<b>Porcentagem de uso dos recursos</b>		
Recurso	Cenário base	Cenário 2.2
Espaço de abastecimento	25,34	25,36
Bomba S10	12,64	12,71
Bomba S500	17,32	17,28
Espaço da lavagem externa	12,01	11,63
Espaço da pré-lavagem	16,22	16,22
Espaço limpa banheiro	5,07	4,7
Espaço limpeza interna	63,32	47,53
Operador A	43,30	43,01
Operador B	62,86	47,19

Fonte: O Autor (2017)

Como se pode ver na comparação entre os cenários, mostrado pela tabela 14 e 15, houve uma melhora de 14,37% no tempo médio dos veículos no sistema e

uma redução na utilização dos recursos. Mas, ao analisar o percentual de utilização dos operadores B, de 47,19%, percebemos que mais da metade do seu tempo de trabalho, eles ficam ociosos.

Quando buscamos redimensionar um sistema, buscando eliminar os gargalos operacionais, precisamos saber ponderar a quantidade de funcionários em cada setor, visto seus percentuais de ocupação.

Desta forma, concluímos que, o investimento de mais dois funcionários e mais uma vaga para o setor de limpeza interna, não é um investimento atrativo para a empresa. Mesmo eliminando os gargalos operacionais, pois, ao fazer este investimento, o sistema se tornará muito ocioso.

Por fim, as tabelas 16 e 17, a seguir, comparam o cenário base, onde temos 6 operadores B e 3 vagas de limpeza interna, com o cenário 2.1, onde se tem um operador B faltando e o cenário 2.2 que possui oito operadores B e quatro vagas para o setor de limpeza.

Tabela 16 – Comparação entre cenários

<b>Tempo médio no sistema (minutos)</b>		
Cenário Base	Cenário 2.1	Cenário 2.2
32,35	59,15	27,70

Fonte: O Autor (2017)

Tabela 17 – Comparação entre a ocupação dos cenários

<b>Porcentagem de uso dos recursos</b>			
Recurso	Cenário base	Cenário 2.1	Cenário 2.2
Espaço de abastecimento	25,34	25,46	25,36
Bomba S10	12,64	12,67	12,71
Bomba S500	17,32	17,27	17,28
Espaço da lavagem externa	12,01	20,46	11,63
Espaço da pré-lavagem	16,22	16,20	16,22
Espaço limpa banheiro	5,07	11,96	4,7

Espaço limpeza interna	63,32	85,81	47,53
Operador A	43,30	50,55	43,01
Operador B	62,86	87,68	47,19

Fonte: O Autor (2017)

Assim, analisando as tabelas 16 e 17, conclui-se que os sistemas do cenário base, embora apresente gargalos e filas em alguns processos, está bem dimensionado para a frota que atende atualmente, utilizando seus recursos de maneira eficiente. E os investimentos na busca de melhorias para este processo não são necessárias, porém, não podemos expandir estas conclusões para os outros processos realizados nesta garagem.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo realizar uma análise da capacidade operacional dos processos de abastecimento, lavação externa e limpeza interna, em uma das garagens da empresa de transportes Gidion, por meio da Simulação.

A simulação é uma importante aliada na análise e planejamento de sistemas, pois, através dela é possível fazer o correto dimensionamento dos recursos utilizados nos processos, na busca por um bom desempenho.

Na construção do modelo, a coleta e o tratamento dos dados são de fundamental importância, pois é preciso interpretar de maneira correta a forma de se coletar os dados, para que o modelo reflita corretamente a realidade.

O desenvolvimento do modelo requer uma sensibilidade para se representar cada peculiaridade do mundo real em um modelo lógico, esta simplificação, muitas vezes, não é fácil.

O cenário base foi utilizado para representar a situação dos processos aplicados pela empresa nos dias de hoje, e após a validação dos dados, com o cenário atual, se propor algumas modificações a fim de obter melhorias. O primeiro cenário analisou as mudanças do sistema na instalação de mais uma bomba de abastecimento S10, visto que este projeto já está em estudo pela empresa, e o segundo cenário tratou dos impactos que ocorrem no sistema quando alteramos a quantidade de funcionários, operadores B, mostrando a sensibilidade do sistema sob estas alterações.

Desta forma, o trabalho se mostrou de grande utilidade para análise da capacidade do sistema, redimensionando os seus recursos e facilitando a tomada de decisões, sob o sistema, para a empresa. Visto que a simulação traz uma estimativa do comportamento futuro do sistema sob possíveis cenários empregados.

Este trabalho analisou exclusivamente um dos processos que ocorrem durante o dia na garagem, assim para trabalhos futuros sugere-se a simulação de todos os processos da empresa, possibilitando uma simulação considerando às 24 horas de operação dos sistemas de abastecimento, lavação externa e limpeza interna.



Também como sugestão para trabalhos futuros: dividir a coleta de dados no setor de limpeza interna, coletando o tempo necessário para realização de cada tarefa neste setor, para melhor alocar cada atividade do processo e melhor representar o sistema. E também fazer as análises utilizando as formulações exatas de teoria das filas para assim comparar os resultados obtidos na simulação do arena ou utilizando outros softwares.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, Thiago Fernando Pires et al. Aplicação da teoria das filas para análise do desempenho do processo produtivo em uma lavanderia industrial. In: IX ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA. Unicesumar. 03 a 06 de novembro de 2015. Anais... Maringá, PR, 2015.
- ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para análise da decisões. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- BARBETTA, Pedro Alberto, REIS, Menezes, BORNIA, Cezar. *Estatística: Para Cursos de Engenharia e Informática*, 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- BRITO, Thiago Barro, Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. Artigo. ABEPRO, 2009. p. 1 – 13.
- BRUNS, Rafael de; SONCIM, Sergio Pacífico; SINAY, Maria Cristina Fogliatti. Pesquisa operacional: uma aplicação da teoria das filas a um sistema de atendimento. Instituto Militar de Engenharia (IME), Mestrado em Engenharia de Transportes, [s. d.].
- CAMELO, Gustavo Rossa et al. Teoria das Filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. 12 a 15 de outubro de 2010. Anais... São Carlos, SP, 2010.
- CASTRO NETO, Laherce Ribeiro de. Modelagem e simulação da cadeia produtiva do minério de ferro. 2006. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas Logísticos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CARRIÓN, Edwin Arturo. Teoria das filas como ferramenta para análise de desempenho de sistemas de atendimento: estudo de caso de um servidor da UECE. 2007. Dissertação (Mestrado) – Curso de Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.
- CHAO, Wisley. Identificação de gargalos na cadeia logística utilizando técnicas de simulação: avaliação da malha de distribuição de GLP em São Paulo. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- CHRISPIM, Eduardo Mathiasi. Análise da operação ferroviária do porto Rio de Janeiro utilizando simulação de eventos discretos. 2007. TCC (Grauação) – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

FERREIRA FILHO, Virgílio José Martins. Processos Estocásticos e Teoria das Filas. Programa de Engenharia da Produção (PEP), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, [s. d.].

FREITAS FILHO, Paulo José de. Introdução Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações Arena. 2. ed. Florianópolis: VisualBooks, 2008.

GEIER, Leandro Antonio et al. Dimensionamento do número de caixas executivos em relação à demanda e tempo de atendimento: um estudo de caso em uma agência bancária no interior do estado de mato grosso. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Maturidade e desafios da Engenharia de Produção: competitividade das empresas, condições de trabalho, meio ambiente. 12 a 15 de outubro de 2010. Anais... São Carlos, SP, 2010.

HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J.. Introdução a Pesquisa Operacional. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

IGLESIAS, Fabio. *Comportamento em Filas de Espera: uma análise multimétodos*. 2007. 148 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Psicologia, Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

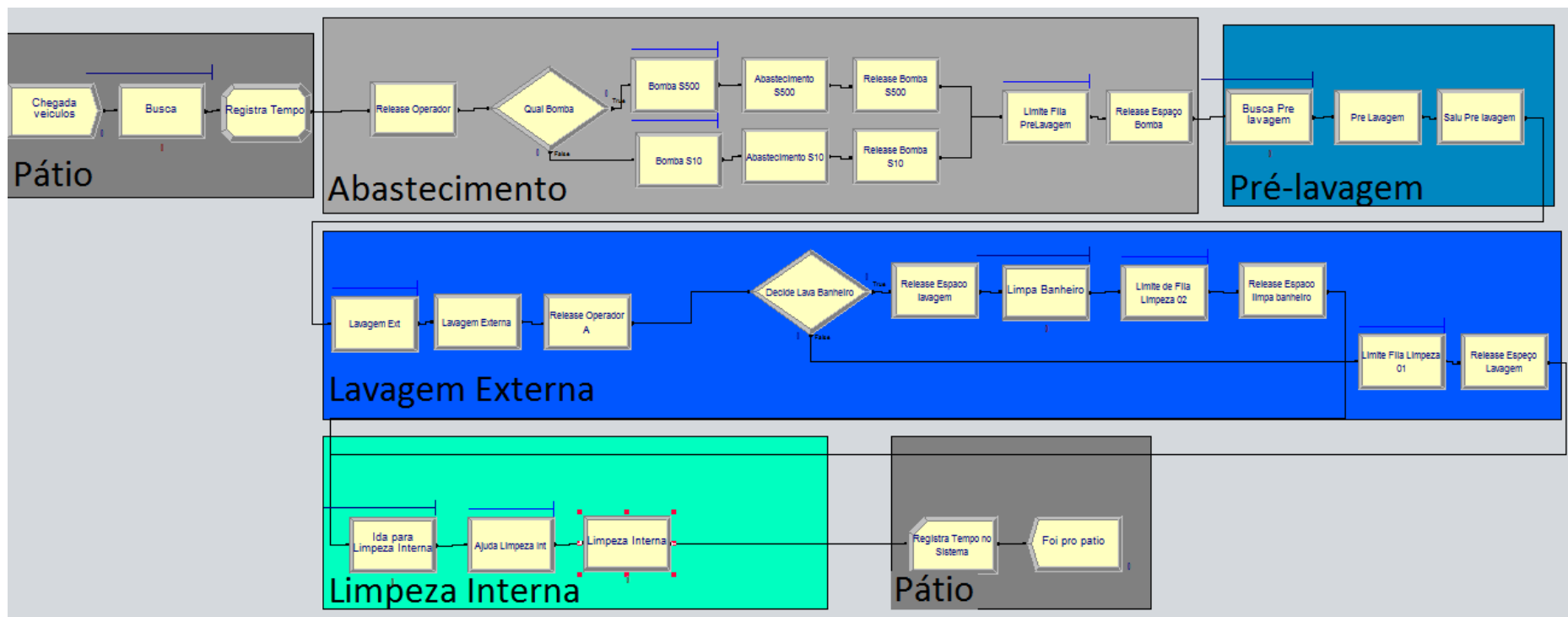
PRADO, Darci Santos do. Teoria das Filas e da Simulação. Belo Horizonte, MG: Editora FALCONI, v. 2, 2014.

SCARP, Luiz Paulo da Cruz et al. Simulação como ferramenta de tomara de decisão do processo de atendimento em uma empresa de varejo. RACE, Unoesc, v. 12, p. 395 – 430, Julho/Dezembro 2013.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2001.

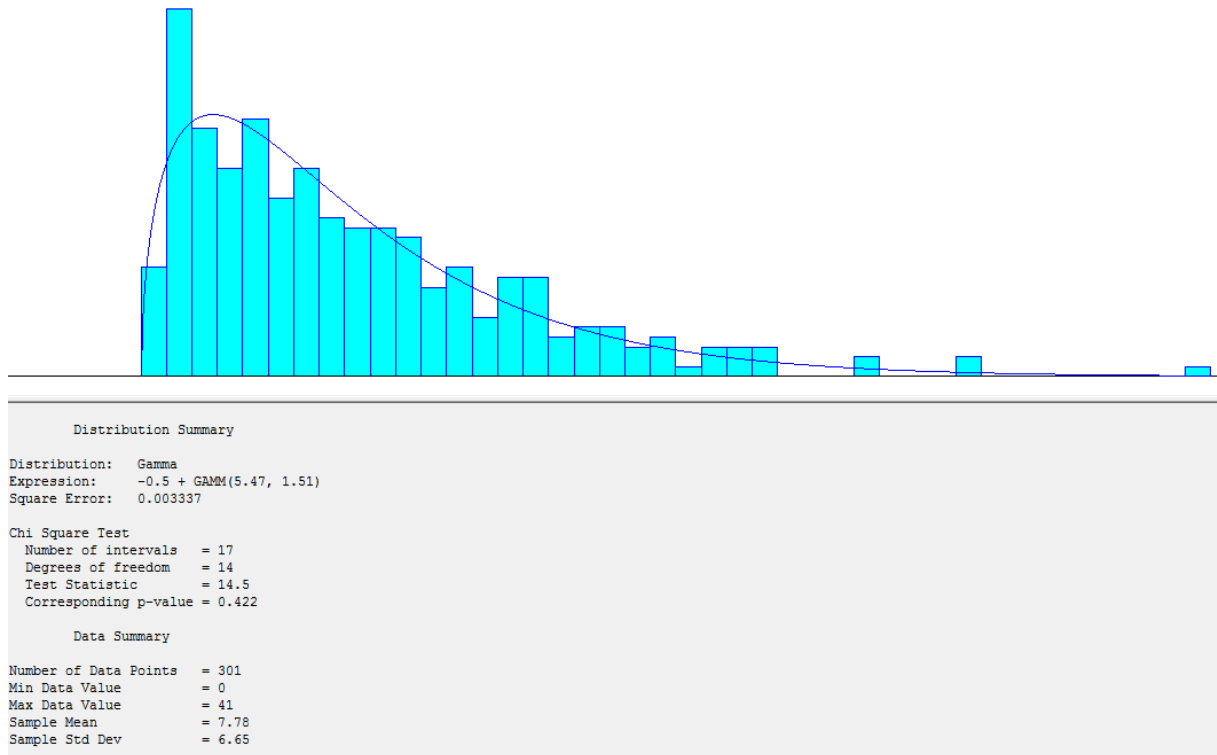
TAHA, Handy A., Pesquisa Operacional, 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

## APÊNDICE A – Modelo Arena



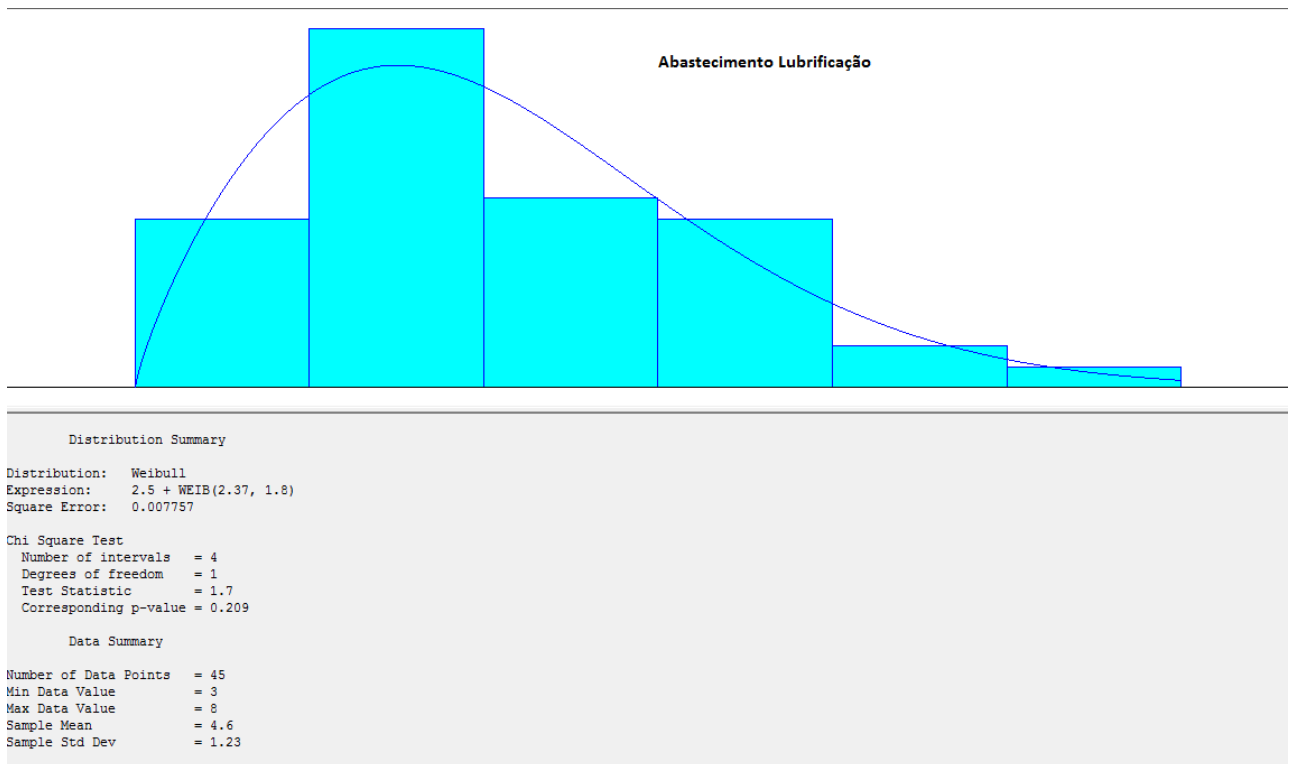
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE B – Taxa de chegada “Input Analyzer”



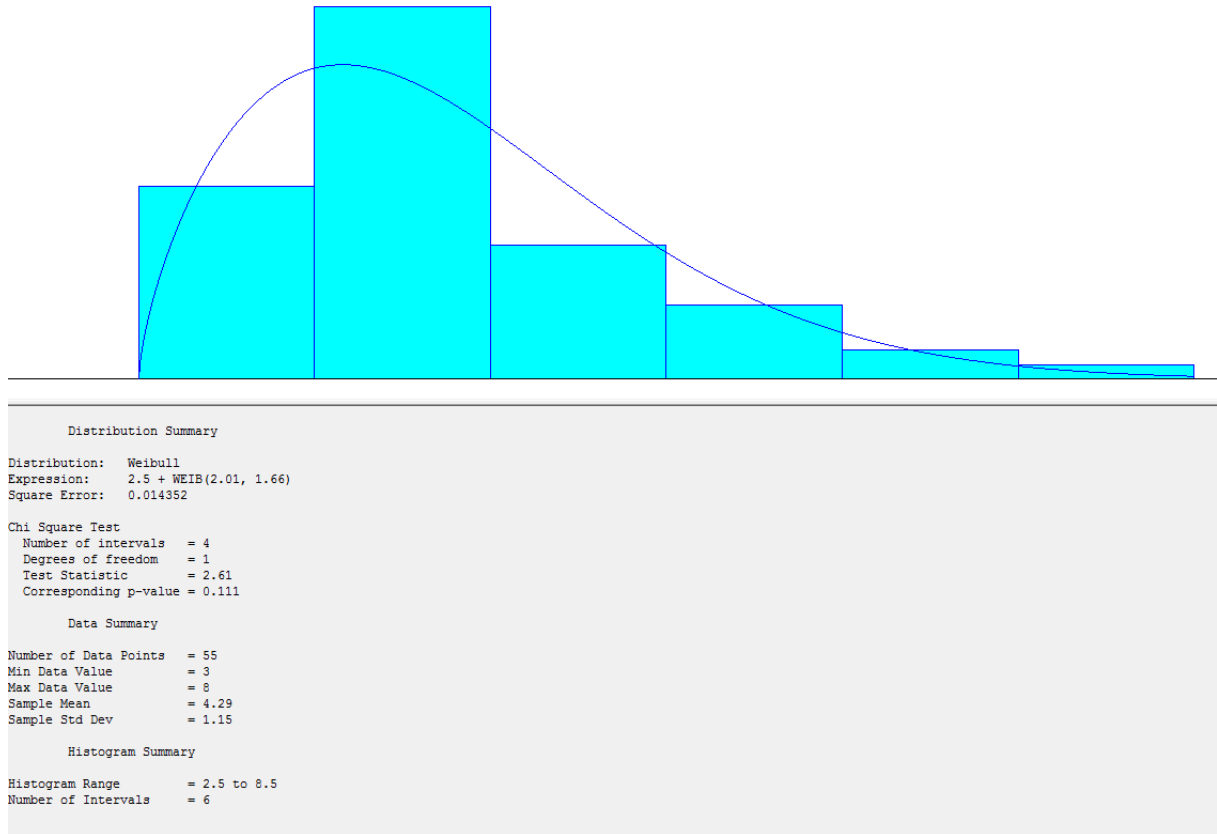
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE C – Abastecimento Lubrificação “Input Anayzer”



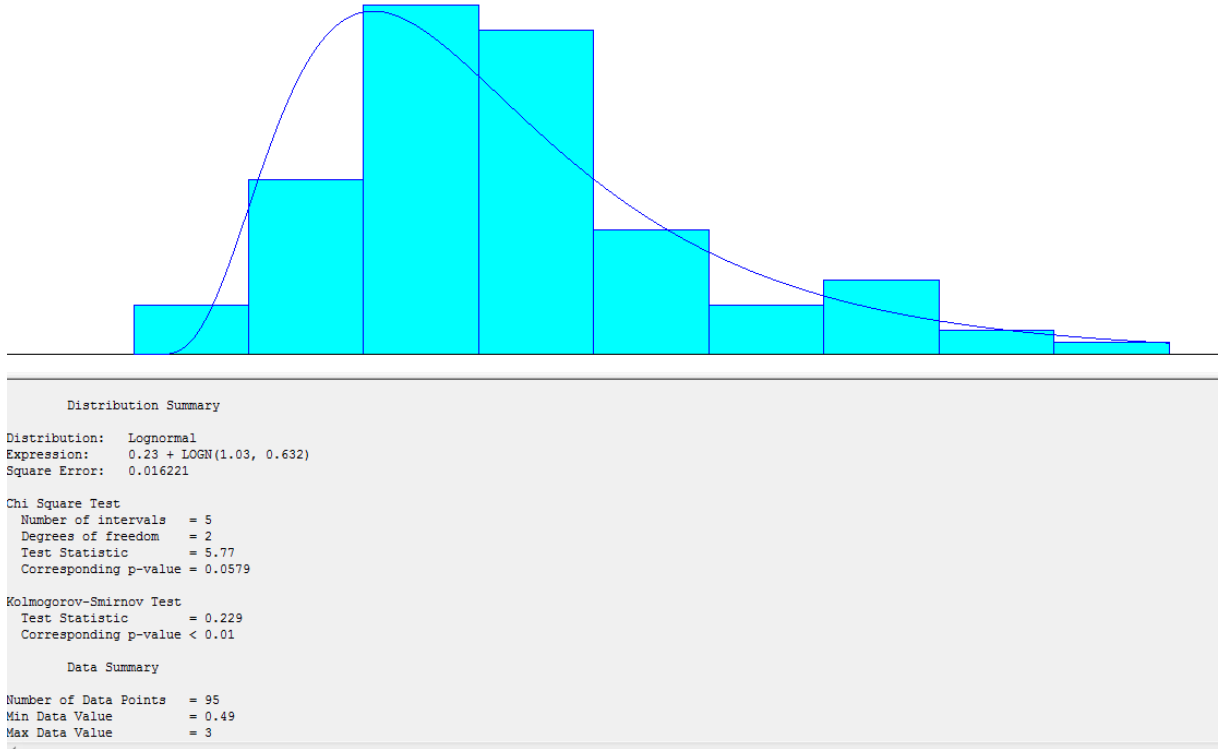
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE D – Abastecimento água+óleo “Input Anayzer”



Fonte: O Autor (2017)

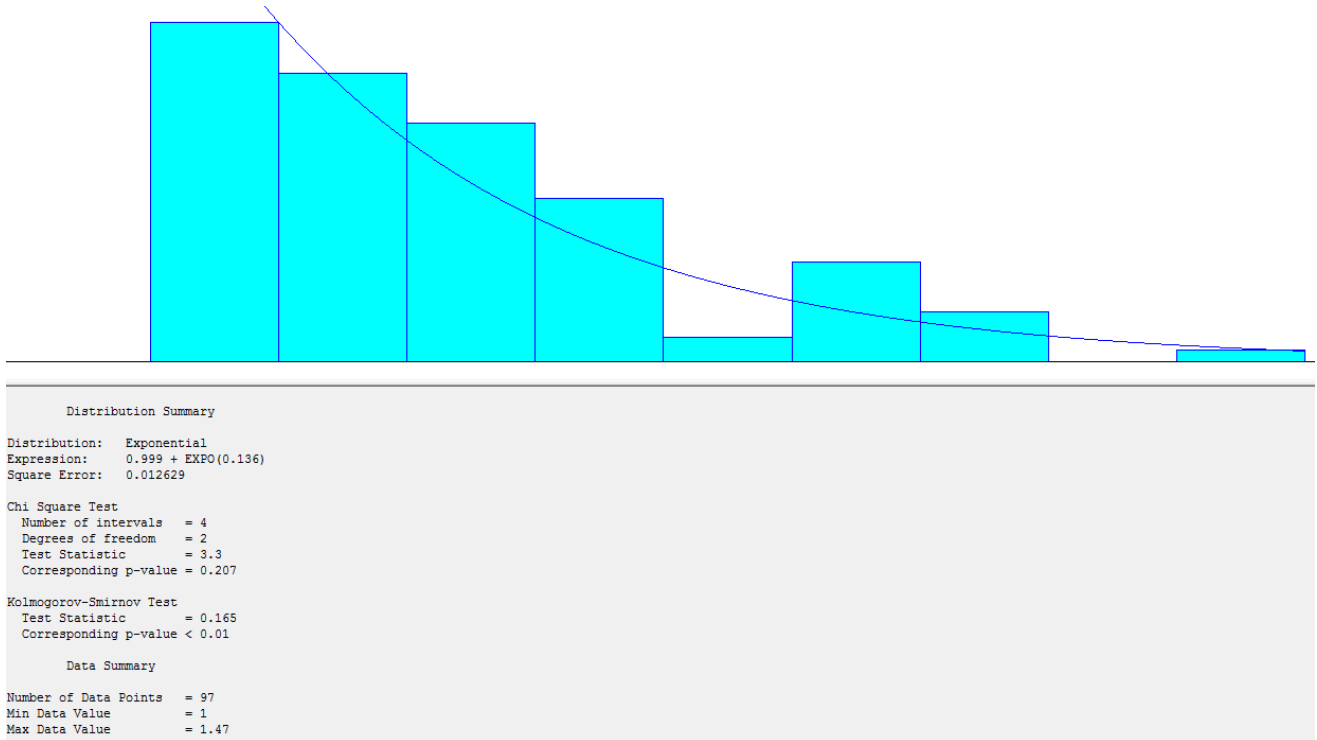
## APÊNDICE E – Pré-lavagem “Input Anayzer”



Fonte: O Autor (2017)

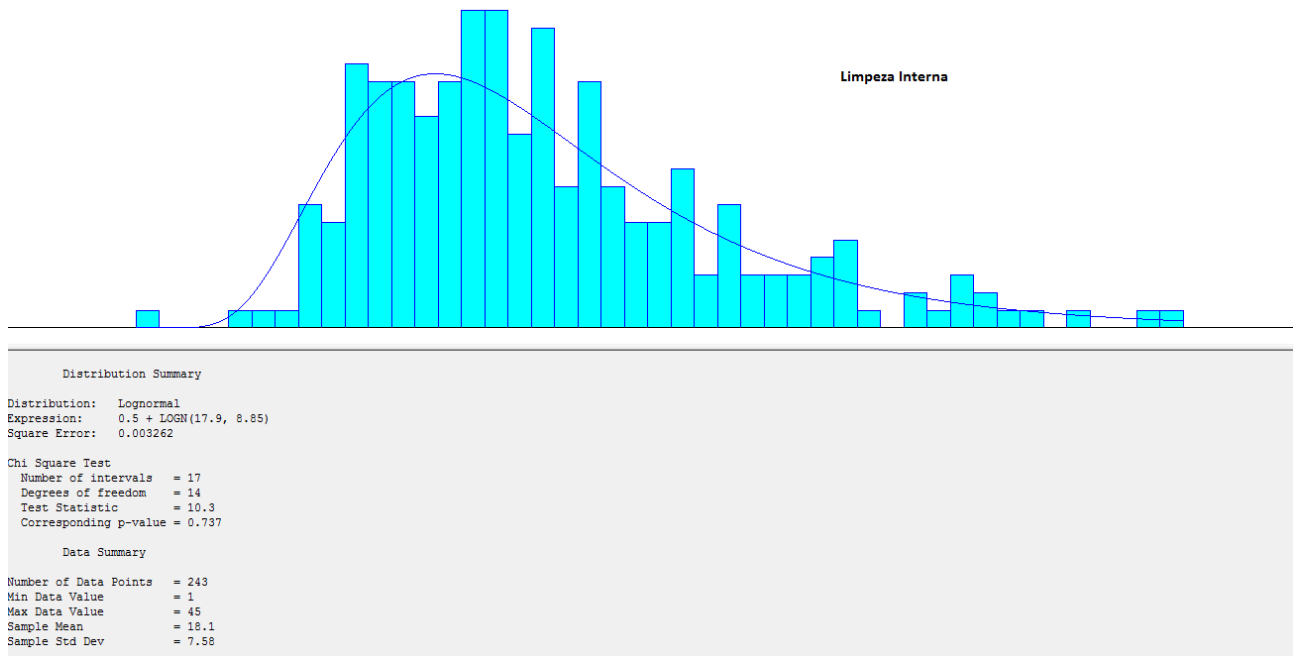


## APÊNDICE F – Lavagem automática “Input Anayzer”



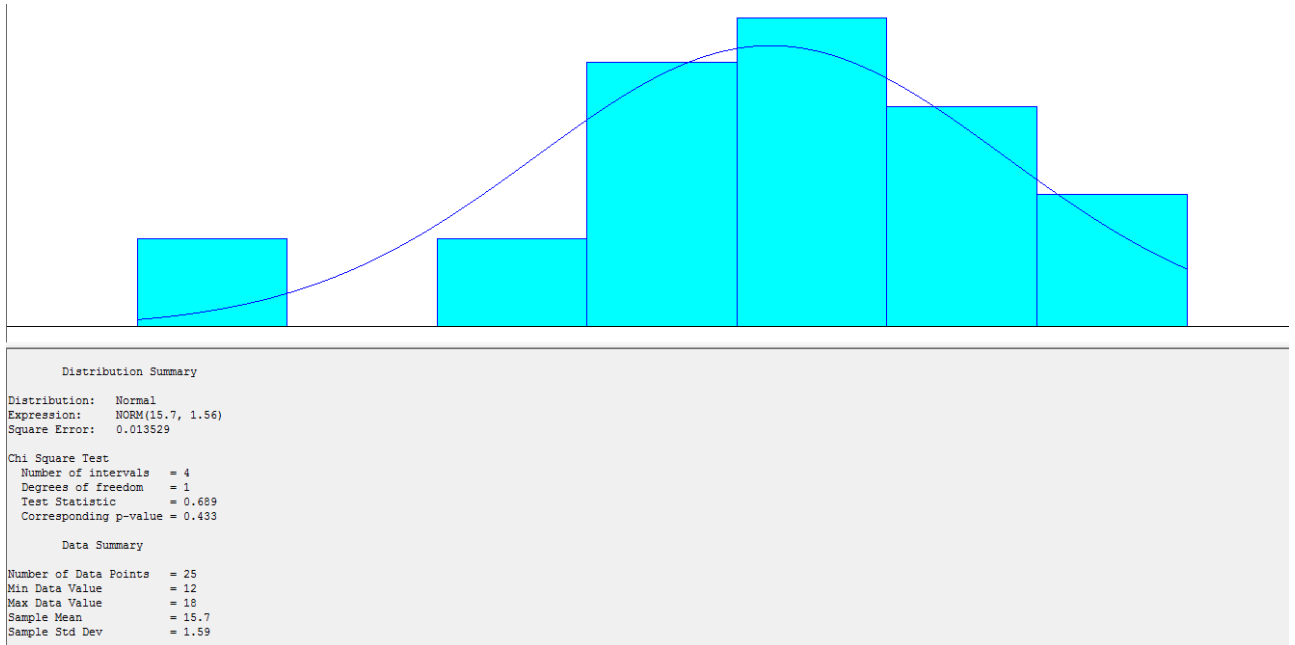
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE G – Limpeza interna “Input Anayzer”



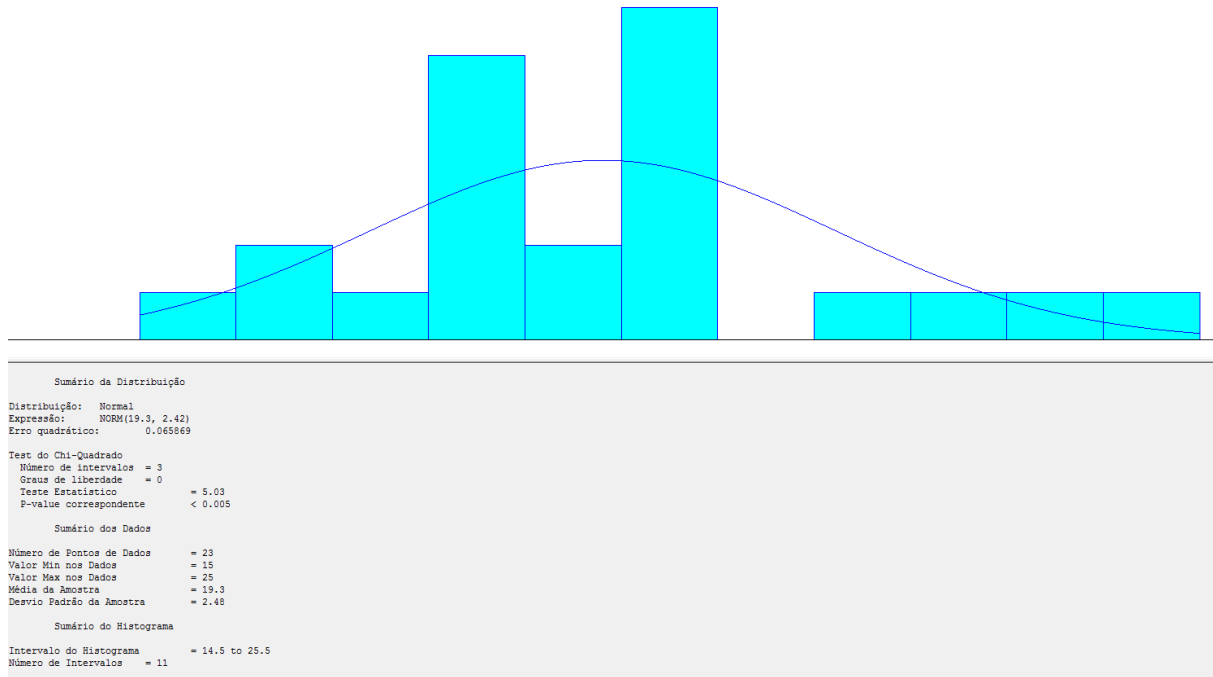
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE H – Busca veículo pátio “Input Anayzer”



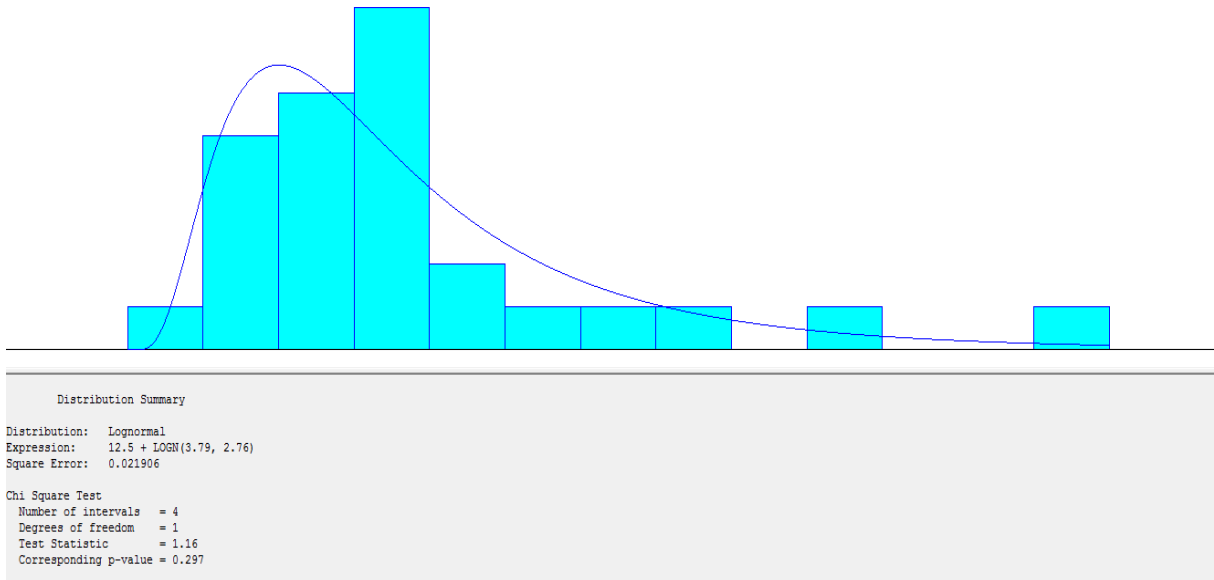
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE I – Busca pré-lavagem “Input Anayzer”



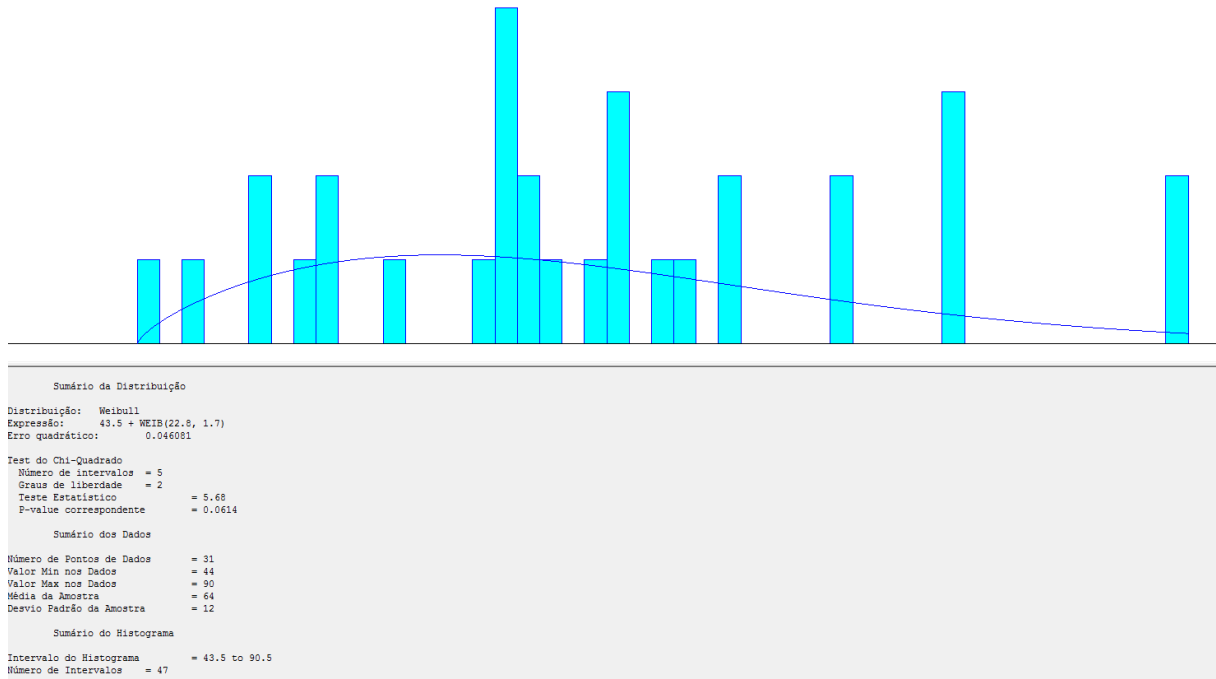
Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE J – Limpeza interna “Input Anayzer”



Fonte: O Autor (2017)

## APÊNDICE K – Limpar banheiro “Input Anayzer”



Fonte: O Autor (2017)