



SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA REDUÇÃO DO TEMPO TOTAL DE  
MANUTENÇÃO DAS VIATURAS BLINDADAS PIRANHA DO CORPO DE  
FUZILEIROS NAVAIS

Fabricio Baroni de Carvalho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda  
Glaydston Mattos Ribeiro

Rio de Janeiro  
Novembro de 2016

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA REDUÇÃO DO TEMPO TOTAL DE  
MANUTENÇÃO DAS VIATURAS BLINDADAS PIRANHA DO CORPO DE  
FUZILEIROS NAVAIS

Fabricio Baroni de Carvalho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO  
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE  
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE  
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Edilson Fernandes de Arruda, D.Sc.

---

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

---

Prof. Lino Guimarães Marujo, D.Sc.

---

Cmt. Leonardo Antonio Monteiro Pessôa, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
NOVEMBRO DE 2016

Carvalho, Fabricio Baroni de

Simulação computacional na redução do tempo total de manutenção das viaturas blindadas PIRANHA do Corpo de Fuzileiros Navais/Fabricio Baroni de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XVII, 105 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda

Glaydston Mattos Ribeiro

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Produção, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 65 – 68.

1. Simulação.      2. Fuzileiros Navais.      3. Blindados.      I. Arruda, Edilson Fernandes de *et al.*  
II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

*A minha esposa Érika e ao meu  
filho Pedro.*

# Agradecimentos

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pela minha família, pelas bênçãos recebidas e pela misericórdia diante das minhas faltas.

À minha esposa Érika e ao meu filho Pedro, agradeço o companheirismo, a força e compreensão para suportar minhas ausências inerentes a vida militar e ao curso de mestrado.

Agradeço ao Professor Edilson Fernandes de Arruda pela orientação segura e pela especial fidalguia na forma com que sempre se dirigiu a todos os alunos.

Agradeço ao Professor Glaydston Mattos Ribeiro pelos conhecimentos transmitidos e apoio inestimável ao desenvolvimento da minha dissertação.

Aos membros do corpo administrativo do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, em especial à Roberta e ao Pedro, agradeço o apoio sem o qual a vida dos alunos seria extremamente complicada.

Ao Vice-Almirante (FN) Alexandre José Barreto de Mattos, Comandante do Pessoal de Fuzileiros Navais por ocasião de minha designação para o curso de mestrado em Pesquisa Operacional, agradeço a confiança em mim depositada.

Ao Contra-Almirante Alfredo Martins Muradas, Comandante do Centro de Análises de Sistemas Navais, agradeço a estrutura e apoio disponibilizados durante o curso.

Ao Capitão-de-Mar-e-Guerra (FN) Paulo Ricardo Lins Barbosa e ao Capitão-de-Fragata (FN) Sérgio Nishigushi agradeço a receptividade e disponibilidade dos dados necessários para desenvolvimento da minha pesquisa.

À tripulação do Batalhão de Blindados de Fuzileiros Navais, fonte de inspiração e motivação para este trabalho, agradeço pelo apoio e por todos os anos que passamos juntos cumprindo missões em todas as regiões do Brasil e em locais distantes como o Haiti.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NA REDUÇÃO DO TEMPO TOTAL DE  
MANUTENÇÃO DAS VIATURAS BLINDADAS PIRANHA DO CORPO DE  
FUZILEIROS NAVAIS

Fabricio Baroni de Carvalho

Novembro/2016

Orientadores: Edilson Fernandes de Arruda  
Glaydston Mattos Ribeiro

Programa: Engenharia de Produção

O Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) é uma Força que opera em território hostil, submetendo a tropa a alto risco. Em tal situação, é fundamental o emprego da ação de choque: um trinômio composto pela mobilidade, proteção blindada e poder de fogo. Essa ação de choque é fornecida por blindados como a viatura PIRANHA. Os blindados são viaturas capazes de resistir à disparos de armamentos de até um determinado calibre e explosões. Com o crescente apoio às operações policiais e com a intenção manifestada pela Presidência da República em fazer o Brasil ocupar uma vaga no Conselho de Segurança da Organização das Nações Unidas, a demanda pelo emprego desse tipo de viatura tende a crescer. Com isso, a demanda pelos serviços de manutenção acompanhará esse crescimento. Este trabalho usa modelos de simulação de eventos discretos que representam diversos cenários de manutenção submetidos a variações do número de mecânicos e da taxa de demanda. O objetivo é permitir a redução do tempo total em manutenção das viaturas. Todos os modelos consideram a particularidade do segmento militar em que o mecânico e os sobressalentes eventualmente não estão disponíveis. Os resultados obtidos demonstram que pequenas equipes cuidadosamente organizadas podem apresentar desempenho mais interessante que grandes equipes.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

COMPUTER SIMULATION TO REDUCE TOTAL TIME OF MARINE CORPS  
ARMORED VEHICLE PIRANHA MAINTENANCE PROCESS

Fabricio Baroni de Carvalho

November/2016

Advisors: Edilson Fernandes de Arruda  
Glaydston Mattos Ribeiro

Department: Production Engineering

The Brazilian Marine Corps is a military force that operates in hostile territory with their troops at risk. In this kind of situation it is very important to use shock action: a triad composed of mobility, armor protection and firepower. This shock action is provided by armored vehicles such as the PIRANHA armored personnel carrier. The armored vehicles are able to resist gunfire and explosions. In the current scenario of increased demand for police operations support and Brazil's intention to participate in the United Nation Security Council, the demand for maintenance is expected to increase. This work uses discrete-event simulation models to simulate different scenarios under different demand rates with the aim of reducing total maintenance time. All models consider a particular military issue in which mechanics and spare parts are unavailable. The results show that small carefully organized teams may obtain better results than large teams.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Relevância . . . . .	1
1.2 Objetivos . . . . .	2
1.3 Delimitação do problema . . . . .	3
1.4 Organização do trabalho . . . . .	3
<b>2 Revisão da literatura</b>	<b>4</b>
2.1 Manutenção em geral . . . . .	4
2.2 Manutenção no ramo militar . . . . .	8
2.3 Análise das diferenças e lacunas encontradas . . . . .	10
<b>3 Teoria das filas</b>	<b>11</b>
3.1 Elementos de uma fila . . . . .	12
3.2 Distribuições probabilísticas . . . . .	13
3.2.1 Distribuição normal . . . . .	13
3.2.2 Distribuição lognormal . . . . .	13
3.2.3 Distribuição triangular . . . . .	14
3.2.4 Distribuição exponencial . . . . .	15
3.2.5 Distribuição de Poisson . . . . .	16
3.2.6 Distribuição Binomial . . . . .	17
3.2.7 Distribuição Uniforme . . . . .	18
3.2.8 Distribuição Weibull . . . . .	19
3.2.9 Distribuição Gama . . . . .	19
3.3 Terminologia e notação . . . . .	20
3.4 Processo de nascimento e morte . . . . .	21
<b>4 Simulação</b>	<b>23</b>
4.1 Modelos . . . . .	23



4.1.1	Modelos de simulação . . . . .	23
4.2	A metodologia da simulação . . . . .	24
4.3	Modelagem dos dados de entrada . . . . .	25
4.3.1	Coleta de dados . . . . .	25
4.3.2	Tratamento de dados . . . . .	25
4.3.2.1	Outliers . . . . .	25
4.3.2.2	Análise de correlação . . . . .	26
4.3.2.3	Inferência . . . . .	28
4.3.3	Testes de aderência . . . . .	28
4.3.3.1	Teste Qui-quadrado . . . . .	28
4.3.3.2	Teste de Kolmogorov-Smirnov . . . . .	28
4.3.3.3	Softwares de ajuste de dados . . . . .	29
4.4	Criação do modelo conceitual . . . . .	29
4.5	Implementação computacional . . . . .	30
4.6	Verificação e validação dos modelos . . . . .	31
4.6.1	Técnicas de Verificação . . . . .	31
4.6.2	Técnicas de Validação . . . . .	32
<b>5</b>	<b>O processo de manutenção</b>	<b>33</b>
5.1	O modelo conceitual . . . . .	33
5.2	O modelo computacional . . . . .	35
5.2.1	Cenário 1 . . . . .	36
5.2.2	Cenário 2 . . . . .	39
5.2.3	Cenário 3 . . . . .	39
5.2.4	Cenário 4 . . . . .	40
5.2.5	Cenário 5 . . . . .	41
5.2.6	Cenário 6 . . . . .	41
<b>6</b>	<b>Experimentos computacionais</b>	<b>43</b>
6.1	Coleta e análise de dados . . . . .	43
6.2	Determinação do tempo de aquecimento, tempo de simulação e número de replicações . . . . .	49
6.3	Verificação e Validação . . . . .	52
6.4	Resultados numéricos . . . . .	53
6.4.1	Resultados do Cenário 1 . . . . .	53
6.4.2	Resultados do Cenário 2 . . . . .	54
6.4.3	Resultados do Cenário 3 . . . . .	55
6.4.4	Resultados do Cenário 4 . . . . .	56
6.4.5	Resultados do Cenário 5 . . . . .	57
6.4.6	Resultados do Cenário 6 . . . . .	58

6.4.7	Comparação dos cenários . . . . .	59
<b>7</b>	<b>Conclusões</b>	<b>63</b>
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>65</b>
<b>A</b>	<b>Dados de cada viatura no sistema</b>	<b>69</b>
A.1	Cenário 1 . . . . .	69
A.2	Cenário 2 . . . . .	75
A.3	Cenário 3 . . . . .	81
A.4	Cenário 4 . . . . .	87
A.5	Cenário 5 . . . . .	93
A.6	Cenário 6 . . . . .	99

# Lista de Figuras

1.1	PIRANHA IIIC . . . . .	2
2.1	Sistema de filas multiestágio . . . . .	5
2.2	Políticas de Manutenção . . . . .	6
2.3	Presença dos elementos modelados em 28 artigos . . . . .	7
2.4	Uso das técnicas de simulação baseado na análise de 59 artigos . . . . .	8
2.5	Estatística de objetivos de otimização com base em 59 artigos . . . . .	8
3.1	Sistema de filas . . . . .	11
3.2	Modelo de decisão baseado em custo . . . . .	12
3.3	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Normal . . . . .	13
3.4	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Lognormal . . . . .	14
3.5	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Triangular . . . . .	15
3.6	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Exponencial . . . . .	16
3.7	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição de Poisson: (a) $\lambda = 1$ (b) $\lambda = 10$ . . . . .	17
3.8	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição binomial: (a) Bin(10;0,4) (b) Bin(20;0,1) . . . . .	18
3.9	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição uniforme . . . . .	18
3.10	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Weibull . . . . .	19
3.11	Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Gama . . . . .	20
3.12	Diagrama de taxas para processo de nascimento e morte . . . . .	22
4.1	Metodologia da simulação . . . . .	24
4.2	Diagrama box-plot para identificação de outliers . . . . .	26
4.3	Diagrama de dispersão não apresentando correlação entre os dados . . . . .	27
4.4	Diagrama de dispersão não apresentando correlação entre os dados . . . . .	27
4.5	Elementos básicos de um <i>ACD</i> . . . . .	30
4.6	Exemplo de um <i>ACD</i> . . . . .	30
4.7	Exemplo de um <i>ACD</i> . . . . .	31
5.1	Mapa conceitual do processo de manutenção das viaturas PIRANHA . . . . .	34

5.2	Diagrama do ciclo de atividades do processo de manutenção . . . . .	34
5.3	Mapa mental dos fatores de influência no manutenção das viaturas PIRANHA . . . . .	35
5.4	Processo de ausência do mecânico . . . . .	36
5.5	Chegada das viaturas ao sistema e abertura de Ordem de Serviço . .	37
5.6	Processo de aquisição de sobressalentes . . . . .	37
5.7	Entrada das viaturas na oficina no Cenário 1 . . . . .	38
5.8	Processo de manutenção no Cenário 1 . . . . .	38
5.9	Registro de atividades no Cenário 1 . . . . .	38
5.10	Módulo <i>Assign</i> aumentando o valor das viaturas demandando corre- tiva no Cenário 2 . . . . .	39
5.11	Filas para a oficina e ocupação das equipes no Cenário 3 . . . . .	40
5.12	Processos de manutenção e desocupação das equipes no Cenário 3 . .	40
5.13	Divisão de tarefas entre as equipes no Cenário 4 . . . . .	40
5.14	Encaminhamento das viaturas para que sejam mantidas nos padrões de tempo adequados ao tipo de serviço no Cenário 4 . . . . .	41
5.15	Tempos de serviço variando de acordo com o tamanho da fila e com- posição da equipe . . . . .	42
6.1	Box-plot para identificação de outliers no tempo entre chegadas (cor- retivas) . . . . .	45
6.2	Box-plot para identificação de outliers no tempo de serviço (corretivas)	46
6.3	Box-plot para identificação de outliers no tempo de serviço (preventivas)	46
6.4	Correlação dos tempos entre chegadas das manutenções corretivas . .	46
6.5	Correlação dos tempos de serviço das manutenções corretivas . . . . .	47
6.6	Correlação dos tempos de serviço das manutenções preventivas . . . .	47
6.7	Análise dos dados de tempo entre chegadas das manutenções corretivas	47
6.8	Análise dos dados de tempo de serviço corretivo . . . . .	48
6.9	Análise dos dados de tempo de serviço preventivo . . . . .	48
6.10	Tempo de manutenção corretiva para 5 replicações e 365 dias. . . . .	50
6.11	Tempo de manutenção corretiva para 5 replicações e 365 dias. . . . .	50
6.12	Amostra piloto: 50 replicações . . . . .	52
6.13	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 1 . . . . .	54
6.14	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 2 . . . . .	55
6.15	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 3 . . . . .	56

6.16	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 4 . . . . .	57
6.17	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 5 . . . . .	58
6.18	Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 6 . . . . .	59
6.19	Tempo médio de manutenção corretiva para cada cenário. . . . .	60
6.20	Tempo médio de manutenção preventiva para cada cenário. . . . .	60
6.21	Número médio de viaturas no sistema para cada cenário. . . . .	61
6.22	Taxas de ocupação das equipas para cada cenário. . . . .	61
A.1	Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	69
A.2	Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	70
A.3	Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	70
A.4	Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	71
A.5	Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	71
A.6	Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	72
A.7	Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	72
A.8	Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	73
A.9	Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 1 . . . . .	73
A.10	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 1 . . . . .	74
A.11	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 1 . . . . .	74
A.12	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 1 . . . . .	75
A.13	Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	75
A.14	Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	76
A.15	Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	76

A.16 Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	77
A.17 Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	77
A.18 Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	78
A.19 Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	78
A.20 Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	79
A.21 Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 2 . . . . .	79
A.22 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 2 . . . . .	80
A.23 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 2 . . . . .	80
A.24 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 2 . . . . .	81
A.25 Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	81
A.26 Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	82
A.27 Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	82
A.28 Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	83
A.29 Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	83
A.30 Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	84
A.31 Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	84
A.32 Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	85
A.33 Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 3 . . . . .	85
A.34 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 3 . . . . .	86
A.35 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 3 . . . . .	86
A.36 Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 3 . . . . .	87

A.37	Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 4 . . .	87
A.38	Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	88
A.39	Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	88
A.40	Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	89
A.41	Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 4 .	89
A.42	Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	90
A.43	Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	90
A.44	Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	91
A.45	Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 4 . . . . .	91
A.46	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 4 . . . . .	92
A.47	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 4 . . . . .	92
A.48	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 4 . . . . .	93
A.49	Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 5 . .	93
A.50	Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	94
A.51	Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	94
A.52	Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	95
A.53	Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 5 .	95
A.54	Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	96
A.55	Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	96
A.56	Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	97
A.57	Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 5 . . . . .	97

A.58	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 5 . . . . .	98
A.59	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 5 . . . . .	98
A.60	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 5 . . . . .	99
A.61	Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	99
A.62	Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	100
A.63	Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	100
A.64	Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	101
A.65	Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	101
A.66	Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	102
A.67	Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	102
A.68	Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	103
A.69	Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 6 . . . . .	103
A.70	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 6 . . . . .	104
A.71	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 6 . . . . .	104
A.72	Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 6 . . . . .	105



# Lista de Tabelas

1.1	Características da viatura PIRANHA . . . . .	2
4.1	CrITÉrios usuais para classificaÇão do p-valor . . . . .	29
5.1	Cenários . . . . .	36
6.1	Tempos entre chegadas (TEC) das manutenÇões corretivas . . . . .	43
6.2	Tempos de serviço das manutenÇões corretivas durante 3 anos . . . . .	44
6.3	Tempos de serviço das manutenÇões preventivas durante 3 anos . . . . .	45
6.4	Parâmetros de entrada . . . . .	49
6.5	Amostra piloto: 50 replicaÇões, 7300 dias de simulaÇão e 280 dias de aquecimento . . . . .	51
6.6	Resultados do Cenário 1 . . . . .	53
6.7	Resultados do Cenário 2 . . . . .	54
6.8	Resultados do Cenário 3 . . . . .	55
6.9	Resultados do Cenário 4 . . . . .	57
6.10	Resultados do Cenário 5 . . . . .	58
6.11	Resultados do Cenário 6 . . . . .	59
6.12	Cenário 5 sob aumentos de demanda superiores a mais 75%. . . . .	62
6.13	Cenário 6 sob aumentos de demanda superiores a mais 75%. . . . .	62

# Capítulo 1

## Introdução

Em 1808 a família real portuguesa deixou Lisboa em direção ao Rio de Janeiro para se resguardar da ameaça que representavam as tropas de Napoleão. Coube à Brigada Real da Marinha de Portugal (BRMP) escoltar a família real nesse trajeto. Em 7 de março de 1808 com a chegada ao Rio de Janeiro, a BRMP concluiu sua missão e nunca mais retornou para Portugal, sendo esse momento considerado o marco inicial na história do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Ao longo do tempo, o CFN participou de eventos importantes na história nacional e mundial como: a expedição à Guiana Francesa (1808), campanha do Prata (1851) e segunda guerra mundial (1943). Em Angola (1995), como Força de paz, atuou sob a égide da Organização das Nações Unidas (ONU), bem como no Haiti, onde atua desde 2004. Uma das principais tarefas do CFN é a projeção de poder sobre terra. No entanto, a Estratégia Nacional de Defesa[1] define o CFN como a força de caráter expedicionário por excelência. Ser expedicionário significa: mobilizar-se rapidamente, ser o primeiro a chegar em situações de conflito e operar em regiões dominadas pelo inimigo. Tal situação pede que a tropa possua ação de choque, um trinômio composto por: mobilidade, proteção blindada e poder de fogo. Essa ação de choque é fornecida pelos blindados, que são viaturas dotadas de capacidade de resistir à disparos de armamentos até um determinado calibre e explosões.

### 1.1 Relevância

Com a crescente participação do CFN no apoio às operações policiais e a intenção do Brasil em ocupar uma vaga no conselho de segurança da ONU, a demanda pelo apoio de blindados tem aumentado ao longo dos anos. Conseqüentemente a demanda por manutenção também aumenta. Nesse tipo de operação, as viaturas blindadas para transporte de pessoal são as mais utilizadas. O Corpo de Fuzileiros Navais dispõe da Viatura Blindada Especial Sobre Rodas 8x8 PIRANHA IIC, conforme ilustrado na Figura 1.1, fabricada pela empresa suíça MOWAG – integrante do grupo



Figura 1.1: PIRANHA III C

Fonte: MOWAG [2]

A viatura PIRANHA foi amplamente testada em operação por diversos países e possui características que permitem que seja adequada para diferentes tipos de missão, conforme registrado na Tabela 1.1.

Tabela 1.1: Características da viatura PIRANHA

Velocidade Máxima	Tripulação	Militares transportados	Blindagem
100 km/h	2	11	Suporta calibre .50 pol a 800 metros
Comprimento	Largura	Altura	Autonomia
7,57 m	2,71 m	2,93 m	400 km
Armamentos			
Metralhadora 7,62 mm	Metralhadora 5,56 mm	Metralhadora .50 pol	Lançador de granadas 40mm

Fonte: MOWAG[2]

Outro aspecto que contribui para a relevância do problema é o fato de que nas indústrias em geral, o mecânico realiza exclusivamente a função para a qual foi contratado (manutenção de equipamentos). O mecânico militar é antes de tudo um soldado e possui tarefas inerentes à esta condição. Dessa forma, o mecânico tem como obrigação realizar as atividades de manutenção, realizar exercícios militares como todos os outros soldados, representar a Organização Militar em que serve nos diversos eventos em que for designado e outras atividades colaterais. Sendo assim, a modelagem dessa situação de forma analítica torna-se complexa.

## 1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar formas de aumentar a eficiência do processo de manutenção reduzindo o tempo total médio de cada viatura no sistema e responder as seguintes perguntas (além das que surgirem durante o estudo):

- a O modelo atual é adequado?
- b Qual o nível de prejuízo causado ao processo pelas atividades alheias à manutenção em que os mecânicos estão envolvidos?
- c Qual o efeito de priorizar um tipo de atividade?
- d Qual o efeito de aumentar o número de equipes?
- e Qual o efeito de uma variação de demanda nas diferentes configurações analisadas?

Para responder a essas perguntas este trabalho utiliza simulação computacional a eventos discretos para identificar formas de reduzir o tempo total da viatura no sistema de manutenção. Os parâmetros de saída a serem utilizados como variáveis da decisão serão o tempo total das viaturas no sistema (pois cada dia que uma viatura está parada representa um grupo de militares operando nas ruas sem proteção blindada) e o número de viaturas no sistema (pois caso esse número seja elevado não haverá viaturas suficientes para atender a diversas demandas de operação simultâneas).

### **1.3 Delimitação do problema**

Este trabalho visa identificar um cenário que aumente a produtividade sem que haja desperdício de mão-de-obra ou outros recursos. Não faz parte do escopo a análise de viabilidade para implantação dos cenários analisados.

### **1.4 Organização do trabalho**

Para atingir o objetivo proposto, este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 2 traz uma revisão da literatura onde são apresentados alguns trabalhos realizados que contribuiriam para a evolução do assunto estudado e a relação com algumas ideias deste trabalho. O capítulo 3 traz conceitos importantes sobre teoria das filas, assim como o capítulo 4 o faz sobre simulação. O capítulo 5 apresenta o processo de manutenção dos blindados, abordando a política de manutenção do CFN, o modelo conceitual do processo e os modelos computacionais para os diferentes cenários. O capítulo 6 trata da execução dos experimentos, desde a coleta de dados até os resultados obtidos. O capítulo 7 traz uma análise dos resultados simulados. O capítulo 8 apresenta as conclusões e ao final do trabalho está listada a bibliografia.

# Capítulo 2

## Revisão da literatura

A análise do processo de manutenção de equipamentos visando o aumento da eficiência é uma preocupação de vários segmentos produtivos. Embora a pesquisa operacional tenha sua origem no segmento militar, poucos institutos e pesquisadores se dedicam a essa área de aplicação. Pode-se citar o *Centre for Operational Research and Analysis* do *Defense Research and Development Canada*, o *Royal Military College of Science at Shrivenham* no Reino Unido, a *Military Operations Research Society* e a *Naval Postgraduate School* nos Estados Unidos. No oriente há grande estudo dirigido, no entanto ainda há barreiras para divulgação das informações. Destacam-se: *College of Management* em Taiwan e a *University of Aeronautics and Astronautics* da China. Naturalmente muitos dos estudos desenvolvidos não são publicados devido ao caráter estratégico. De maneira geral, diversas abordagens têm sido adotadas. Alguns trabalhos foram selecionados e serviram como referência para este artigo devido à significativa contribuição para o estudo do tema, apesar das diferentes abordagens adotadas. No entanto nenhum deles contempla o caráter especial do mecânico militar, que além das atividades de manutenção executa também atividades alheias à sua função, não sendo o seu tempo disponível para o trabalho integralmente dedicado à manutenção. Para melhor entendimento das abordagens realizadas, dividiu-se a revisão da literatura em três partes principais: manutenção em geral, manutenção no ramo militar e análise das diferenças e lacunas encontradas.

### 2.1 Manutenção em geral

Há uma vasta literatura que trata de problemas de manutenção e reparo [3, 4] e que empregam diversas técnicas de pesquisa operacional para atingir objetivos como a redução do tempo total de manutenção ou a otimização dos custos e recursos de manutenção. Para alcançar esses objetivos a indústria de serviços tem realizado, segundo JIN *et al.*[5], contratações com base em desempenho, permitindo ao decisor maximizar o lucro do fornecedor e minimizar o custo de ativos do cliente com a

disponibilidade do sistema. Eles afirmam que a maioria dos estudos aborda unicamente uma das partes interessadas e propõem então uma abordagem por teoria dos jogos onde ambos os interesses sejam contemplados.

No entanto é preciso ressaltar que, segundo PHAM e WANG [6] a manutenção de um sistema frequentemente é imperfeita. O equipamento não retorna integralmente às suas condições anteriores ao uso. Apenas apresenta um desempenho bom como em um instante antes da falha. Dessa forma a manutenção pode ser classificada de acordo com o estado do equipamento após o reparo: reparação perfeita (restaura as condições de quando o equipamento era novo), reparação mínima (restaura o sistema para a taxa de falha que tinha quando falhou – troca de uma correia por exemplo), reparação imperfeita (restaura o equipamento para uma condição anterior ao momento da falha), reparo ruim (coloca o equipamento em uma condição pior ao momento da falha, mas faz com que funcione) e pior reparo (não repara o sistema).

ANTONIOL *et al.* [7] estruturam o processo de manutenção como um sistema de filas pode ser descrito como clientes chegando para um serviço, esperando por ele caso não esteja disponível, e deixando o sistema após serem atendidos pelos servidores. Afirmam também que o termo cliente é usado de maneira genérica e não está necessariamente associado a um ser humano: solicitações de manutenção são consideradas clientes. Segundo os autores, entre os parâmetros importantes para o sistema estão: tráfico de chegada, tempo de execução dos serviços, capacidade da fila e sua disciplina. Os parâmetros a serem verificados são enumerados como: tempo médios de espera, tempo médio no sistema, número médio de clientes esperando e número médio de clientes no sistema. Descrevem ainda que em um processo de manutenção multiestágios modelado por filas, cada etapa pode envolver vários centros de manutenção com diferentes números de servidores. As solicitações de manutenção entram no sistema com uma determinada taxa e são processadas sequencialmente por um ou mais nós. Cada nó é composto por uma fila e um ou mais agentes, representando um passo no processo de manutenção, conforme ilustrado na Figura 2.1.

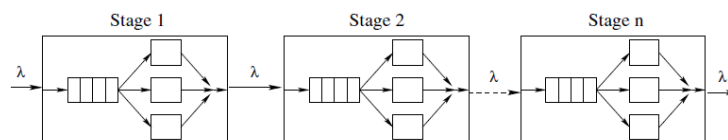


Figura 2.1: Sistema de filas multiestágio  
 Fonte: adaptado de ANTONIOL *et al.* [7]

Quanto às políticas de manutenção utilizadas, ZIO e COMPARE [8] descrevem que quando sujeitos a uma política de manutenção corretiva os componentes operam até falhar, sendo então reparados. Esta política ainda é amplamente utilizada

em equipamentos que não comprometem a segurança e que não são críticos para o sistema de produção. Acerca da manutenção preventiva, afirmam que o objetivo é manter os equipamentos nas condições especificadas realizando substituições periódicas. No que diz respeito à manutenção preditiva ou baseada nas condições, afirmam que são realizadas através do monitoramento, que leva a prever as condições dos equipamentos, permitindo uma abordagem dinâmica de antecipação de falhas. Tais políticas são ilustradas na Figura 2.2.

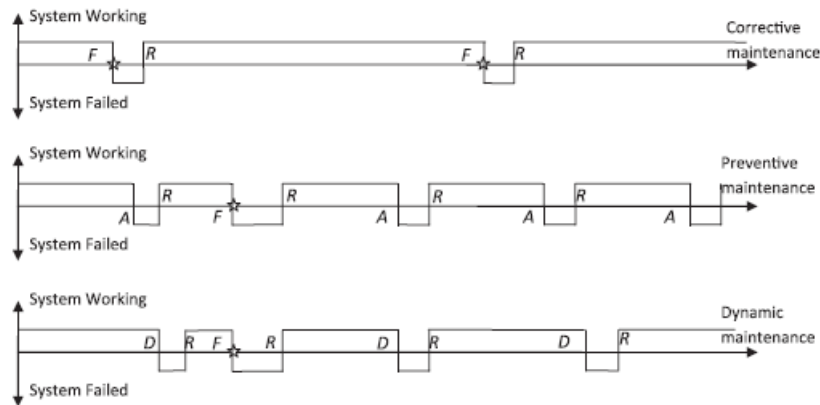


Figura 2.2: Políticas de Manutenção  
 Fonte: ZIO e COMPARE [8]

Com o objetivo de otimizar as políticas de manutenção e de controle de estoques, REZG *et al.* [9] propõem um método integrado combinando simulação e algoritmos genéticos. Validado por comparações com soluções analíticas, essa abordagem apresenta resultados interessantes. No entanto, a pesquisa não contempla eventuais faltas de mecânicos ou sobressalentes. Em outra linha de pesquisa, IGHRAVWE e OKE [10] utilizam um modelo de programação inteira não-linear para resolver um problema de força de trabalho bi-objetivo.

Devido a sua flexibilidade e capacidade de lidar com a incerteza e com situações complexas, a simulação torna-se uma técnica interessante para problemas de manutenção e reparo. Na verdade, segundo KRUGER [11], modelos bem concebidos são fundamentais para a compreensão e busca de soluções para os problemas do mundo real. Quanto aos elementos modelados, ALRABGHI e TIWARI [12] descrevem que em uma simulação eles variam de acordo com a pesquisa. Afirmam que se deve balancear entre a fiel observância do comportamento do sistema real e as simplificações razoáveis. Apresentam estatísticas de elementos modelados em simulação, conforme ilustrado na Figura 2.3. Chamam a atenção para o fato que embora os sobressalentes e a equipe de manutenção tenham efeito direto no processo de manutenção, poucos pesquisadores os incluem no processo. De fato, considerar que os recursos estão sempre disponíveis é muito comum, mas não é verdade principalmente no caso de um sistema militar.

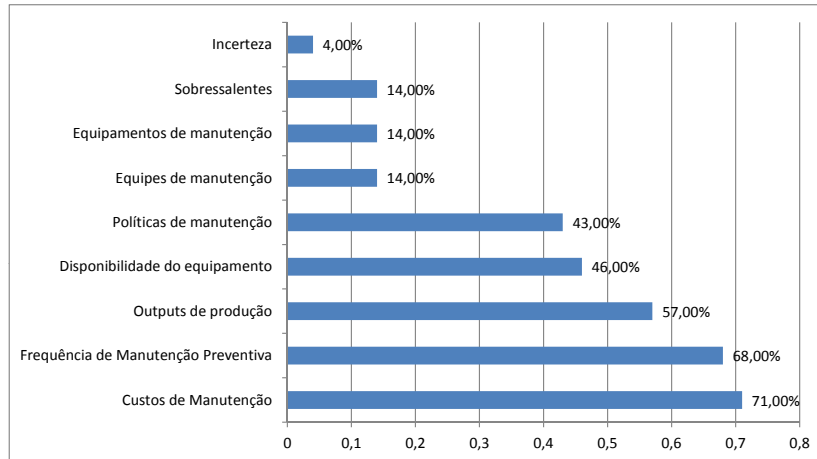


Figura 2.3: Presença dos elementos modelados em 28 artigos  
 Fonte: adaptado de ALRABGHI e TIWARI [12]

Nessa linha de pesquisa, WALES e MARINOV [13] utilizaram simulação de eventos discretos para investigar gargalos que causam atrasos no sistema de metrô da cidade de Newcastle. Utilizando a mesma técnica, SARKER e HAQUE [14] determinaram políticas de manutenção e de estoques. Afirmam que tratar manutenção e estoque de forma separada tende a elevar os custos. Naturalmente estoques inadequados elevam os custos seja por manter um equipamento indisponível pela falta de sobressalentes ou seja por imobilizar recursos mantendo um estoque superdimensionado. Vale lembrar que o custo total mínimo é definido pelo nível ótimo de serviço onde há a interseção da curva de custo de cliente em espera e a curva de custo operacional da unidade. Técnicas de simulação também foram utilizadas por FONSECA *et al.* [15], que empregaram simulação baseada em agentes para dimensionar a estrutura para um novo terminal de passageiros no aeroporto de Barcelona.

Estudos na literatura abordando modelos para problemas de manutenção e reparo afirmam que simulação de eventos discretos é a técnica dominante [4], sendo empregada sozinha ou em conjunto com outras técnicas em cerca de 68% dos trabalhos, conforme ilustrado na Figura 2.4. De acordo com essa fonte, a minimização dos custos é o objetivo em 71% dos trabalhos, seguido pela maximização da disponibilidade dos equipamentos, conforme ilustrado na Figura 2.5. Os autores também apresentam o fato de que a maioria das pesquisas abordam situações estritamente acadêmicas e que os artigos que tratam de problemas reais são na sua grande maioria relacionados ao setor energético, a indústria automotiva, indústria plástica e infraestrutura de transportes.



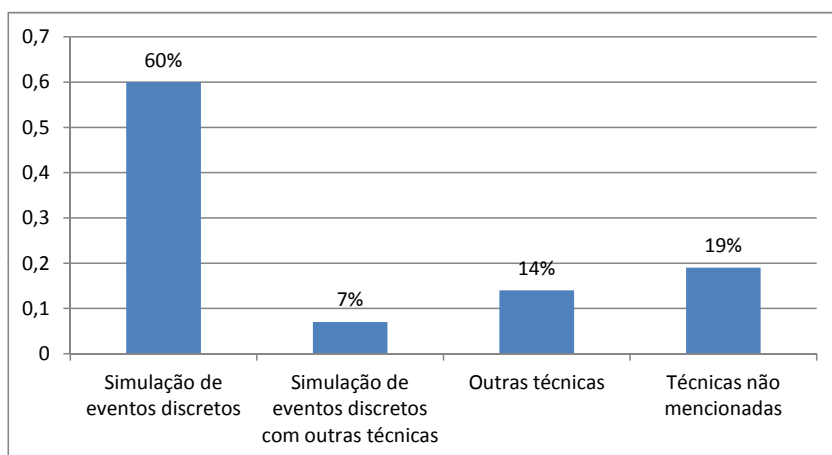


Figura 2.4: Uso das técnicas de simulação baseado na análise de 59 artigos

Fonte: adaptado de ALRABGHI e TIWARI [4]

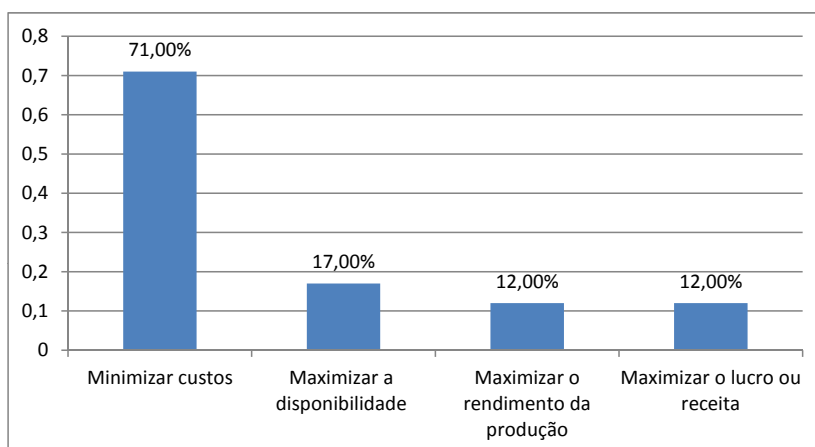


Figura 2.5: Estatística de objetivos de otimização com base em 59 artigos

Fonte: adaptado de ALRABGHI e TIWARI [4]

## 2.2 Manutenção no ramo militar

Em relação às aplicações militares, problemas de manutenção e reparo são inerentes às operações das Forças Armadas. Uma aplicação no Exército de Taiwan é apresentada por SUN [16], que em seu trabalho estudou o processo de manutenção de oito oficinas do Exército de Taiwan durante um ano e empregou análise envoltória de dados para avaliar os dados obtidos nos seis primeiros meses. Baseado em parâmetros de eficiência estabelecidos pela análise foram feitas modificações nos procedimentos das oficinas ineficientes, o que levou a uma melhora na performance no semestre seguinte. Esse estudo levou à adoção da análise envoltória de dados como ferramenta oficial de avaliação pelo Exército de Taiwan. Outro estudo, rea-

lizado por ZHAN e GHANMI [17], analisou o planejamento da manutenção diante da incerteza e da possibilidade de canibalização, definida como o uso de equipamentos defeituosos como fonte de sobressalentes para outro equipamento. Os autores argumentam que a canibalização é a forma mais rápida de recuperar equipamentos demandando manutenção e que isso incluiu dificuldades adicionais ao problema. O artigo propõe um modelo analítico para as decisões de reparo em um ambiente de incertezas multi-estágio, sujeito à canibalização e tempos de reparo aleatórios. O objetivo é maximizar a confiabilidade da frota sob restrições de custos de operação. Por sua vez, YILDIRIM *et al.* [18] utilizam simulação de eventos discretos para resolver o problema logístico de transportar diversos batalhões de suas bases originais para os seus destinos, utilizando diferentes configurações de transporte multimodal. A disponibilidade de equipamentos das Forças Armadas Canadenses sob diferentes regimes de manutenção foi avaliada por BOUKHTOUTA e GHANMI [19] através de simulação de eventos discretos.

Aplicações de pesquisa operacional nas Forças Armadas Brasileiras são encontradas em COLLAZO *et al.* [20], que modelaram o serviço de distribuição de medicamentos do Hospital Naval Marcílio Dias e utilizaram simulação a eventos discretos para reduzir o tempo de espera para recebimento da medicação. Também PRAIA e GOMES [21] utilizaram simulação a eventos discretos para dimensionar o número de profissionais de um centro de compras com o objetivo de reduzir o tempo médio de processamento dos pedidos de recompletamento de estoques realizados pelo Centro de Obtenção da Marinha. Anteriormente, PASTORE *et al.* [22] modelaram o processo de atendimento aos pedidos de uniforme de um centro de distribuição da Marinha do Brasil, propondo soluções para aumento da eficácia e eficiência.

Problemas relacionados com o presente trabalho foram estudados por YONG *et al.* [23] e MATTILA *et al.* [24]. O primeiro desenvolveu um modelo de simulação para o processo de manutenção de blindados baseado em teoria das filas, enquanto o segundo estabeleceu um modelo de simulação de eventos discretos para os processos de operação e manutenção dos aviões de caça da Força Aérea Finlandesa. Avaliando os efeitos das variações nos tempos entre missões e na disponibilidade da frota, os autores determinaram as estruturas necessárias de manutenção em tempo de paz e em tempo de guerra (quando o tempo entre missões é menor e a demanda de manutenção é maior que em tempo de paz). Outros estudos relacionados foram desenvolvidos por PALL [25] e MARLOW e NOVAK [26]. O primeiro autor avaliou a disponibilidade de helicópteros de busca e salvamento da Força Aérea Canadense através de simulação de eventos discretos. Da mesma forma os últimos autores empregaram a mesma técnica para determinar o tamanho da frota de helicópteros de combate naval nas Forças Australianas. Já MACKENZIE *et al.* [27] utilizaram simulação baseada em agentes para analisar a manutenção de aeronaves considerando

que os mecânicos não possuem a mesma habilidade e possuem diferentes curvas de aprendizado e comportamento. No entanto, nenhum desses estudos considerou uma eventual falta de sobressalentes ou de mecânicos.

## 2.3 Análise das diferenças e lacunas encontradas

Observando os trabalhos que tratam de manutenção em geral pode-se constatar que a preocupação dos pesquisadores é em geral minimizar os custos do processo. Essa minimização envolve redução de recursos e também redução de tempos de parada. Quando analisados os trabalhos que envolvem o segmento militar nota-se a preocupação em aumentar a disponibilidade de equipamentos sensíveis ou fazer com que uma determinada taxa de disponibilidade seja sempre atendida. No entanto todos os trabalhos analisados consideram que o mecânico (seja civil ou militar) desenvolve apenas atividades relacionadas ao reparo dos equipamentos durante toda a sua jornada laborativa. Também consideram uma perfeita integração entre os processos de manutenção e aquisição de sobressalentes, de modo que os estoques nunca apresentam falta de componentes. A contribuição deste trabalho, que foi parcialmente publicado em CARVALHO *et al.* [28], é reduzir o tempo total das viaturas no sistema e aumentar a disponibilidade da frota considerando: diferentes formações de equipes de manutenção, eventuais indisponibilidades de sobressalentes, eventuais ausências dos mecânicos e variações de demanda que são esperadas devido ao desgaste da frota pelo uso. Outro aspecto considerado foram os diferentes tipos de demandas que podem ser apresentar, cada uma requerendo uma quantidade de viaturas. Nesse caso, foi analisada a pior hipótese: todas as demandas ocorrendo simultaneamente. Com essa consideração foi possível determinar o número máximo de viaturas que podem estar indisponíveis em um determinado momento.

# Capítulo 3

## Teoria das filas

Uma abordagem possível para tratar qualquer problema de manutenção é a resolução analítica por teoria das filas. O objetivo da análise das filas é oferecer um serviço razoavelmente satisfatório a clientes em espera [29]. No entanto, também devem ser atendidas as expectativas do fornecedor do serviço em termos de custos de operação do sistema. O estudo do sistema de filas é levado tão a sério que algumas organizações como os parques temáticos localizados em Orlando, nos Estados Unidos da América, não só buscam melhorar o desempenho de seus sistemas como também criam atrações secundárias para que a espera seja mais agradável.

Segundo HILLIER e LIEBERMAN [30] o processo básico suposto pela maioria dos modelos de fila é composto por clientes chegando por uma fonte de entradas. Ao chegarem ao sistema eles entram em uma fila. Periodicamente um cliente é selecionado para atendimento segundo a disciplina da fila. Este atendimento é realizado pelo mecanismo de atendimento, após o qual o cliente deixa o sistema. Esse processo é ilustrado na Figura 3.1.

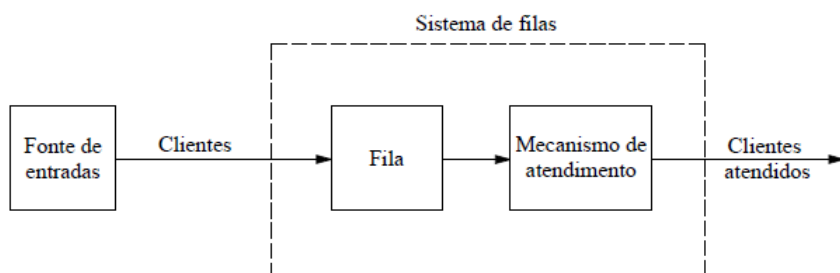


Figura 3.1: Sistema de filas

Fonte: HILLIER e LIEBERMAN [30]

Segundo TAHA [29] os resultados da análise do sistema podem ser utilizados no contexto de um modelo de otimização, que no caso de um modelo de custo busca minimizar o custo de oferecer o serviço e o custo de espera. Conforme ilustrado na Figura 3.2, o custo do serviço aumenta com o nível de serviço (número de servidores

por exemplo) e o custo de espera diminuiu diante do mesmo aumento.

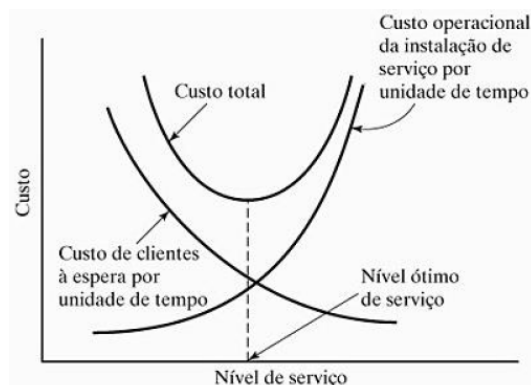


Figura 3.2: Modelo de decisão baseado em custo

Fonte: TAHA [29]

### 3.1 Elementos de uma fila

Um sistema de filas possui elementos importantes que ditam o seu fluxo. Quando analisados os elementos do modelo observa-se que o sistema tem início na fonte de entradas. Nela chegam os clientes segundo uma determinada distribuição de intervalo de tempo conhecida como tempo entre chegadas. Segundo HILLIER e LIEBERMAN [30] cada tipo de cliente pode ter um tempo entre chegadas diferente. A população de clientes demandando atendimento pode ser finita ou infinita [29]. A fila é o local onde os clientes aguardam antes do atendimento e também pode ser finita ou infinita [30]. Quanto à disciplina das filas, pode-se dizer que representa o critério segundo o qual os clientes saem da fila e tem o seu atendimento iniciado. Segundo Taha [29] existem diversas disciplinas como por exemplo: o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido (FCFS – *first come, first served*), o último a chegar é o primeiro a ser servido (LCFS – *last come, first served*), a ordem de serviço é aleatória (SIRO – *service in random order*) ou existe alguma ordem de prioridade. Essa prioridade pode ser do tipo preemptiva (onde o cliente com prioridade é atendido imediatamente quando não há outro cliente com prioridade no sistema) ou não preemptiva (onde o cliente é atendido assim que o primeiro atendente ficar disponível). Segundo HILLIER E LIEBERMAN [30] o mecanismo de atendimento é formado por uma ou mais instalações de atendimento, cada uma com um ou mais canais de atendimento (atendentes). O tempo entre o início e o fim do atendimento para cada cliente é denominado tempo de atendimento. Cada atendente pode ter uma distribuição probabilística de tempos de atendimento diferente, assim como ocorre com o tempo entre chegadas de cada tipo de cliente.

## 3.2 Distribuições probabilísticas

Os sistemas reais podem apresentar diversas distribuições probabilísticas em seus tempos entre chegadas de clientes e nos tempos de atendimento de seus atendentes. A aproximação para distribuições exponenciais nem sempre representa adequadamente o sistema. A seguir são apresentadas as distribuições mais comuns nos sistemas de filas.

### 3.2.1 Distribuição normal

Segundo TAHA [29] a distribuição normal descreve muitos fenômenos do dia a dia como pontuações em teste. CHWIF e MEDINA[31] afirmam que tal distribuição modela situações onde a distribuição do processo é a soma de um conjunto de processos, como por exemplo um tempo de execução de serviço composto pela soma dos tempos de diversas etapas. A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.1)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \mu \quad (3.2)$$

$$Var(x) = \sigma^2 \quad (3.3)$$

A distribuição normal tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.3.

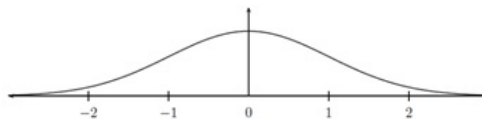


Figura 3.3: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Normal

Fonte: WASSERMAN [32]

### 3.2.2 Distribuição lognormal

Segundo Navidi [33] a distribuição Lognormal é aplicada a modelagem de dados altamente enviesados ou que possuam *outliers*.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x \leq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(Y) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad (3.5)$$

$$Var(Y) = e^{2\mu + 2\sigma^2} - e^{2\mu + \sigma^2} \quad (3.6)$$

CHWIF e MEDINA [31] afirmam que a distribuição Lognormal modela situações onde a distribuição do processo pode ser considerada como uma multiplicação de um conjunto de processos.

A distribuição Lognormal tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.4.

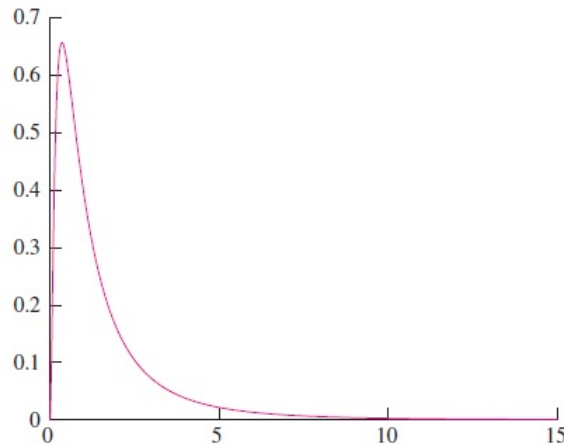


Figura 3.4: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Lognormal

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.3 Distribuição triangular

Segundo CHWIF e MEDINA [31] a distribuição é aplicada a situações onde não se conhece a forma exata da distribuição, mas têm-se estimativas para o menor valor, para o valor mais provável e para o maior valor.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{se } a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)} & \text{se } m \leq x \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.7)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \frac{a + m + b}{3} \quad (3.8)$$

$$Var(x) = \frac{a^2 + m^2 + b^2 - ma - ab - mb}{18} \quad (3.9)$$

A distribuição triangular tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.5.

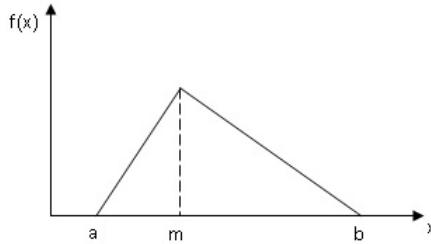


Figura 3.5: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Triangular

Fonte: adaptado de CHWIF e MEDINA [31]

### 3.2.4 Distribuição exponencial

Segundo NAVIDI [33] a distribuição exponencial modela o tempo entre a ocorrência de eventos sucessivos. Existe uma relação entre a distribuição exponencial e a distribuição de Poisson. A distribuição exponencial modela o intervalo entre eventos quando o número de eventos em um intervalo de tempo obedece uma distribuição de Poisson.

Segundo CHWIF e MEDINA [31] a distribuição exponencial é utilizada quando há grande variabilidade de valores com muitos valores baixos e poucos valores altos. NAVIDI [33] afirma que a distribuição exponencial possui uma característica importante de falta de memória. Isso significa por exemplo que um equipamento que está em operação há 2 anos tem a mesma probabilidade de falhar que um equipamento novo.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{se } x \geq 0 \\ 0 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (3.10)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (3.11)$$



$$Var(x) = \frac{1}{\lambda^2} \quad (3.12)$$

A distribuição exponencial tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.6.

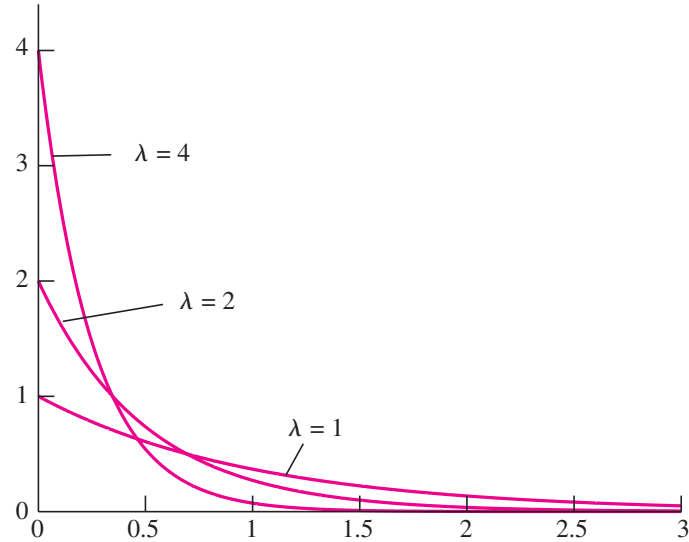


Figura 3.6: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Exponencial  
Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.5 Distribuição de Poisson

Segundo CHWIF e MEDINA [31] a distribuição de Poisson modela o número de eventos independentes que ocorrem em um intervalo de tempo fixo e resulta necessariamente em um tempo entre ocorrências exponencialmente distribuído.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} & \text{se } x = 0, 1, 2, 3, \dots \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.13)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \lambda \quad (3.14)$$

$$Var(x) = \lambda \quad (3.15)$$

A distribuição de Poisson tem a função densidade de probabilidade conforme

ilustrado na Figura 3.7.

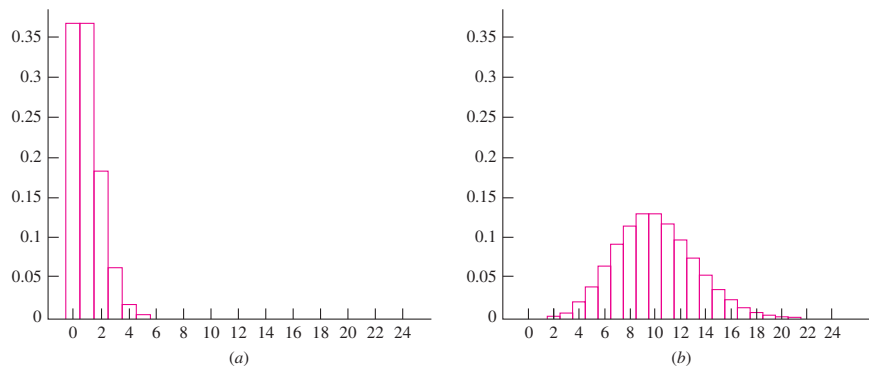


Figura 3.7: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição de Poisson: (a)  $\lambda = 1$  (b)  $\lambda = 10$

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.6 Distribuição Binomial

Segundo CHWIF e MEDINA [31] a distribuição binomial tem como principal aplicação a modelagem do número de sucessos em um conjunto de  $n$  tentativas, como por exemplo o número de defeitos de um lote. A função de densidade de probabilidade (probabilidade de  $k$  sucessos em  $n$  tentativas) é dada por:

$$f(x) = P(x = k) = C_k^n p^k (1 - p)^{n-k} \quad (3.16)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = np \quad (3.17)$$

$$Var(x) = np(1 - p) \quad (3.18)$$

A distribuição binomial tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.8.

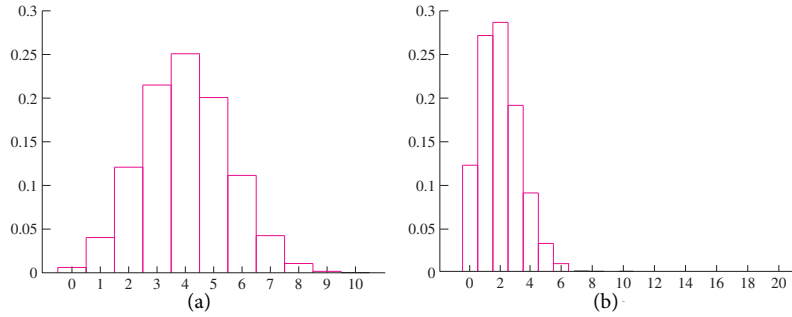


Figura 3.8: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição binomial: (a)Bin(10;0,4) (b)Bin(20;0,1)

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.7 Distribuição Uniforme

Segundo NAVIDI [33] a distribuição uniforme é a mais simples das distribuições. É utilizada quando todos os valores em uma intervalo  $[a, b]$  têm igual probabilidade de ocorrência [31].

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{se } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.19)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \frac{a+b}{2} \quad (3.20)$$

$$Var(x) = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (3.21)$$

A distribuição uniforme tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.9.

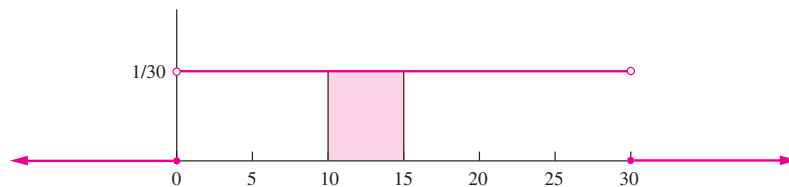


Figura 3.9: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição uniforme

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.8 Distribuição Weibull

Segundo NAVIDI [33] a distribuição de Weibull é utilizada em várias situações como ciclo de vida de rolamentos, materiais cerâmicos e componentes elétricos. CHWIF e MEDINA[31] afirmam que a distribuição modela os tempos de vida ou falhas de equipamento, sendo a distribuição exponencial um caso particular da distribuição de Weibull para  $\lambda = 1$  e  $\lambda = \beta$ .

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta^{-\alpha}x^{\alpha-1}e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x \leq 0 \end{cases} \quad (3.22)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \text{ onde : } \Gamma(\alpha) = \int_0^1 t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (3.23)$$

$$Var(x) = \frac{\beta^2}{\alpha} \left\{ 2\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \left[ \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\} \quad (3.24)$$

A distribuição de Weibull tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.10.

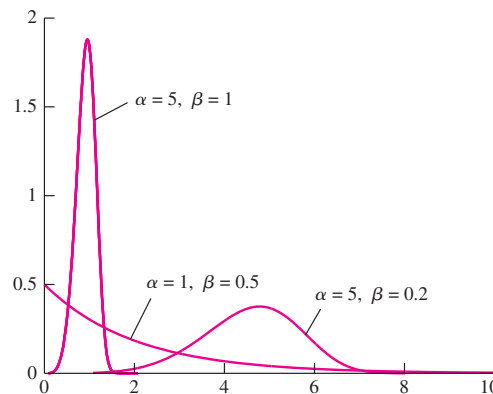


Figura 3.10: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Weibull

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.2.9 Distribuição Gama

NAVIDI [33] afirma que uma das funções da distribuição gama é ampliar o uso da distribuição exponencial nos tempos de espera.

A função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda^r x^{r-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(r)} & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x \leq 0 \end{cases} \quad \text{onde : } \Gamma(\alpha) = \int_0^1 t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (3.25)$$

A média e a variância são dadas por:

$$E(x) = \frac{\alpha}{\beta} \quad (3.26)$$

$$Var(x) = \frac{\alpha}{\beta^2} \quad (3.27)$$

A distribuição Gama tem a função densidade de probabilidade conforme ilustrado na Figura 3.11.

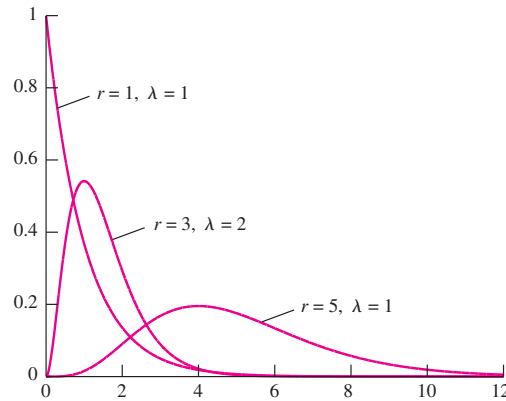


Figura 3.11: Função Densidade de Probabilidade da Distribuição Gama

Fonte: NAVIDI [33]

### 3.3 Terminologia e notação

Para representar os sistemas de filas utiliza-se a notação de Kendall:  $A/S/m/K/N/Q$  onde  $A$  é a distribuição probabilística dos tempos entre chegadas,  $S$  é a distribuição probabilística dos tempos de atendimento,  $m$  é o número de servidores,  $K$  é a capacidade do sistema,  $N$  é o tamanho da população e  $Q$  é a disciplina de atendimento. HILLIER e LIEBERMAN [30] adotam o seguinte padrão de terminologia e notação:

$L$  = número de clientes esperado no sistema =  $\sum_{n=0}^{\infty} nP_n$ ;

$L_q$  = comprimento esperado da fila =  $\sum_{n=s}^{\infty} (n-s)P_n$ ;

$\mathbb{W}$  = tempo de espera no sistema para cada cliente, sendo  $W = E(\mathbb{W})$ ;

$\mathbb{W}_q$  = tempo de espera na fila para cada cliente, sendo  $W_q = E(\mathbb{W}_q)$ ;

$P_n(t)$  = probabilidade de haver no sistema  $n$  clientes no instante  $t$ ;

$S$  = número de atendentes no sistema em canais paralelos;  
 $\lambda_n$  = taxa de chegada dos clientes quando já há  $n$  clientes no sistema;  
 $\mu_n$  = taxa de atendimento do sistema quando há  $n$  clientes no sistema;  
 $\rho$  = fator de utilização do sistema.

Se  $\lambda_n$  é constante então, segundo LITTLE e GRAVES [34]:

$$L = \lambda W \quad (3.28)$$

$$L_q = \lambda W_q \quad (3.29)$$

Se  $\lambda$  não for constante pode-se utilizar a taxa média de chegada a longo prazo. Se o tempo médio de atendimento for constante, então:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (3.30)$$

### 3.4 Processo de nascimento e morte

HILLIER e LIEBERMAN [30] definem o termo nascimento como sendo a chegada de um cliente ao sistema e o termo morte como sendo a partida. Afirmam também que o processo de nascimento-morte descreve probabilisticamente como o número de clientes no sistema muda com o passar do tempo. Apontam ainda que o processo é baseado em três hipóteses:

- Hipótese 1 – Dado um número de clientes no sistema, a distribuição probabilística atual do tempo remanescente até o próximo nascimento (chegada) é exponencial com parâmetro  $\lambda_n$ ;
- Hipótese 2 – Dado um número de clientes no sistema, a distribuição probabilística atual do tempo remanescente até a próxima morte (término do atendimento) é exponencial com parâmetro  $\mu_n$ ;
- Hipótese 3 – A variável aleatória da hipótese 1 (o tempo remanescente até o próximo nascimento) e a variável aleatória da hipótese 2 (o tempo remanescente até a próxima morte) são mutuamente independentes. Isto significa que a próxima transição será um único nascimento ou uma única morte.

HILLIER e LIEBERMAN [30] afirmam que em virtude dessas hipóteses, o processo de nascimento e morte é um tipo especial de cadeia de Markov de tempo contínuo. Como as taxas de chegada e atendimento são taxas médias as hipóteses

podem ser sintetizadas conforme observado na Figura 3.12, onde se observam as transições possíveis.

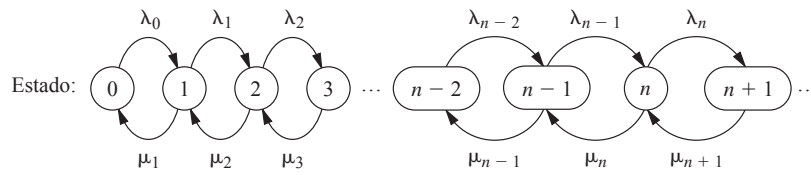


Figura 3.12: Diagrama de taxas para processo de nascimento e morte

Fonte: HILLIER e LIEBERMAN [30]

Cabe ressaltar que nem sempre as distribuições são exponenciais, logo nem sempre este processo se aplica. Apesar da vasta aplicação da teoria das filas, a solução analítica do problema de manutenção nem sempre é a mais interessante uma vez que impõe uma série de aproximações no que diz respeito às distribuições probabilísticas e simplificações ao modelo propriamente dito. Nestes casos pode-se utilizar a simulação computacional para resolver o problema.

# Capítulo 4

## Simulação

Segundo KELTON *et al.* [35] a simulação é uma coletânea de métodos que buscam imitar o comportamento dos sistemas reais. Em uma abordagem menos tradicional, CHWIF e MEDINA [31] definem o que não é simulação:

- a Simulação não é um instrumento para prever o futuro, mas sim para prever o comportamento de um sistema;
- b Simulação não é um modelo matemático pois não há uma expressão analítica fechada;
- c Simulação não é uma ferramenta estritamente de otimização, sendo sim uma ferramenta de análise de cenários;
- d Simulação não é uma técnica de último recurso para quando todas as outras técnicas falharem.

### 4.1 Modelos

Segundo KELTON *et al.* [35] a simulação computacional trabalha com modelos de sistemas. Um sistema é um processo, um negócio, como por exemplo o sistema de caixas registradoras para atendimento aos clientes de um mercado. Segundo CHWIF e MEDINA [31], um modelo é uma representação, simplificada ou detalhada, das diversas interações entre as partes desse sistema.

#### 4.1.1 Modelos de simulação

O mundo real é extremamente complexo. Quase nada ocorre de maneira determinística. O componente aleatório está presente na maioria das atividades rotineiras e especiais. Modelos matemáticos (analíticos) têm uma série de limitações devido



às simplificações necessárias. Os modelos computacionais são capazes de capturar com maior fidelidade as características dos sistemas [31].

Para realizar a simulação pode-se empregar a simulação de Monte Carlo, simulação contínua e simulação de eventos discretos. Segundo CHWIF e MEDINA [31], a simulação de Monte Carlo utiliza a geração de números aleatórios e o tempo não é considerado uma variável. Segundo KELTON *et al.* [35] a simulação contínua considera que o estado do sistema pode mudar continuamente durante o tempo, já a simulação de eventos discretos o estado muda em momentos específicos. A simulação de eventos discretos é, conforme relatado por ALRABGHI e TIWARI [4], a técnica mais utilizada para analisar sistemas de manutenção.

## 4.2 A metodologia da simulação

O desenvolvimento de um modelo de simulação compõe-se de três grandes etapas: concepção ou formulação do modelo, implementação do modelo e análise dos resultados do modelo [31], conforme ilustrado na Figura 4.1.

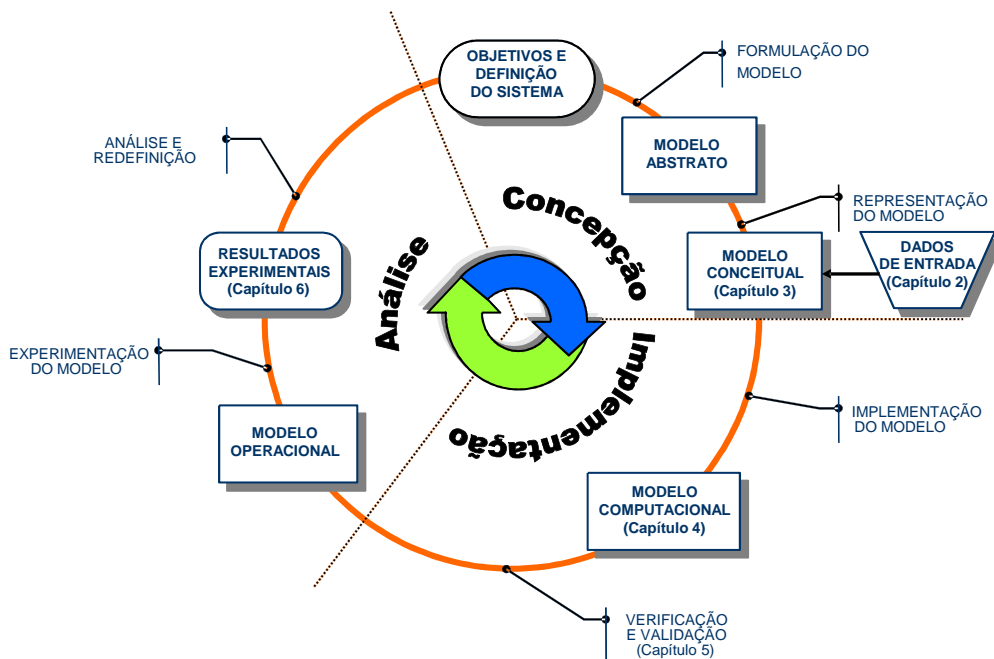


Figura 4.1: Metodologia da simulação

Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

CHWIF e MEDINA [31] descrevem que na concepção, cabe ao analista entender o problema, extraindo as informações dos especialistas. É estabelecido um modelo conceitual do problema e é realizada a coleta de dados. Na implementação o modelo conceitual é convertido em um modelo computacional, que deve ser validado

diante do modelo conceitual. Na análise, o modelo conceitual está pronto para os experimentos dando origem ao modelo experimental ou operacional. Alguns pontos deste processo possuem aspectos teóricos que merecem destaque.

## 4.3 Modelagem dos dados de entrada

A modelagem dos dados de entrada busca a inferência estatística, isto é, inferir os parâmetros de um evento aleatório. CHWIF e MEDINA [31] definem como modelagem de dados o processo de escolher a melhor representação destes eventos. Definem também as etapas do estudo da modelagem de dados: coleta de dados, tratamento de dados e inferência. A coleta de dados é o processo de coleta das informações. O tratamento busca descrever os dados e identificar falhas. A inferência busca determinar o comportamento da população a partir da amostra.

### 4.3.1 Coleta de dados

Segundo VINCENT [36] alguns aspectos devem ser observados na construção de uma amostra:

- a A amostra deve conter entre 100 e 200 observações. Valores inferiores a 100 não refletem a realidade e superiores a 200 não trazem ganhos significativos;
- b A coleta e anotação deve ocorrer na ordem em que os eventos acontecem para permitir a análise de correlação;
- c Caso os dados se alterem em função de horário ou dia deve haver coleta em dias e horários distintos.

### 4.3.2 Tratamento de dados

O tratamento de dados consiste em aplicar as ferramentas estatísticas disponíveis para obter as medidas de posição e dispersão da amostra. *Softwares* como o ARENA<sup>®</sup> 14 possuem ferramentas como o *it Input Analyzer* que fazem esta avaliação.

#### 4.3.2.1 Outliers

Segundo CHWIF e MEDINA [31] os valores não usuais que compõem a amostra são conhecidos como outliers. Podem ter origem em erros de coleta de dados na ocorrência de um evento inesperado. Para os casos de erros de coleta o outlier deve ser simplesmente eliminado. No caso de eventos inesperados é preciso verificar se

trata-se de um evento atípico mas que representa uma situação que de fato pode ocorrer durante o processo. Estabelecem também uma forma para identificação de outliers utilizando intervalos de valores dos quartis da amostra. Dada a amplitude interquartil ( $A$ ), definida pela diferença entre o terceiro quartil ( $Q_3$ ) e o primeiro quartil ( $Q_1$ ), considera-se fora do padrão qualquer valor abaixo de  $Q_1-3A$  ou acima de  $Q_3+3A$ , conforme ilustrado na Figura 4.2.

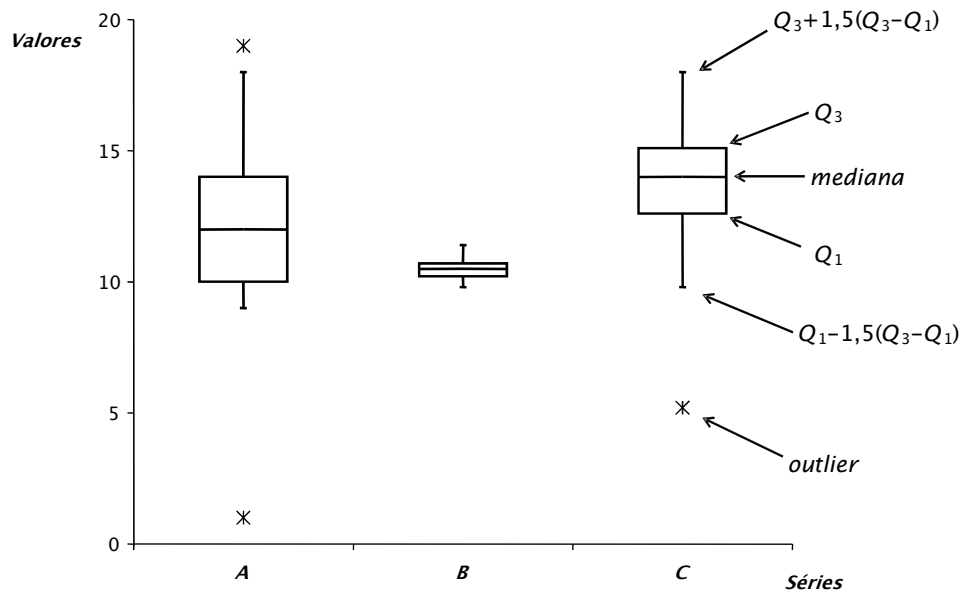


Figura 4.2: Diagrama box-plot para identificação de outliers  
 Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

#### 4.3.2.2 Análise de correlação

Segundo a sistemática estabelecida por CHWIF e MEDINA [31] ainda é necessário verificar se a amostra é uma sequência de valores independente e identicamente distribuídos. Isso significa verificar se não há correlação entre as observações da amostra. Eles propõem a construção de um diagrama de dispersão com as observações  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . O gráfico é formado pelos pontos de coordenadas  $(x_1, x_2); (x_2, x_3) \dots (x_{n-1}, x_n)$ . Quando não há correlação os pontos se dispersam aleatoriamente conforme ilustrado na Figura 4.3. Quando há eles se concentram em linhas de tendência, conforme ilustrado na Figura 4.4. Caso seja verificada a dependência é preciso realizar um estudo para definir se há algum problema na coleta ou se há variáveis correlacionadas.

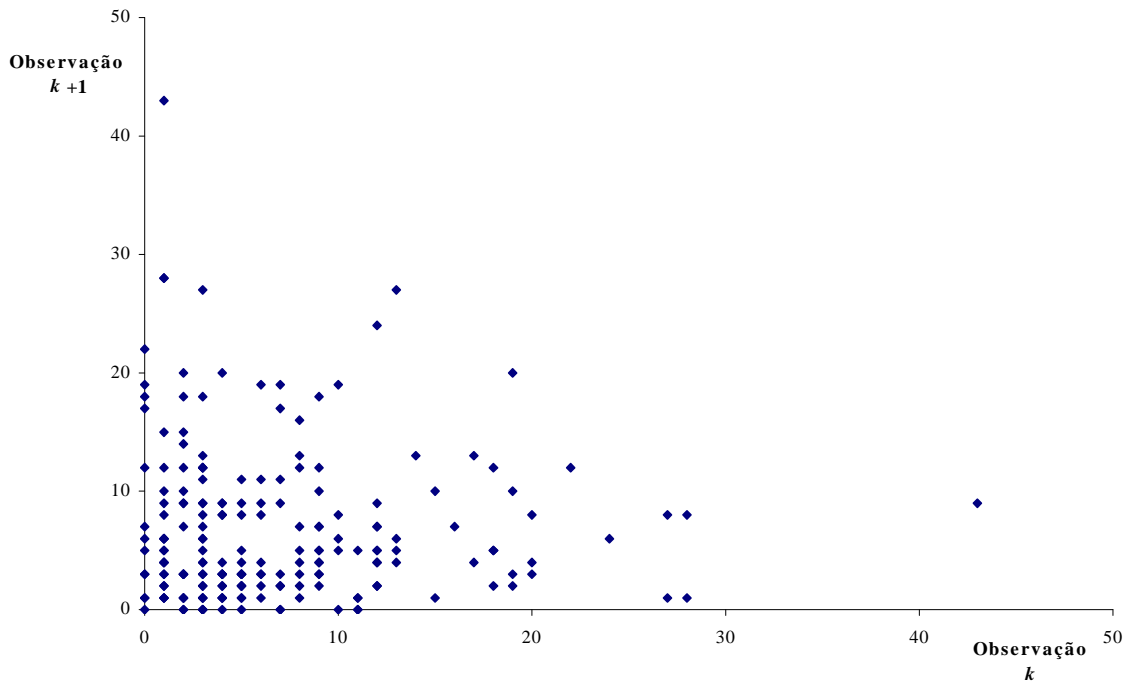


Figura 4.3: Diagrama de dispersão não apresentando correlação entre os dados  
 Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

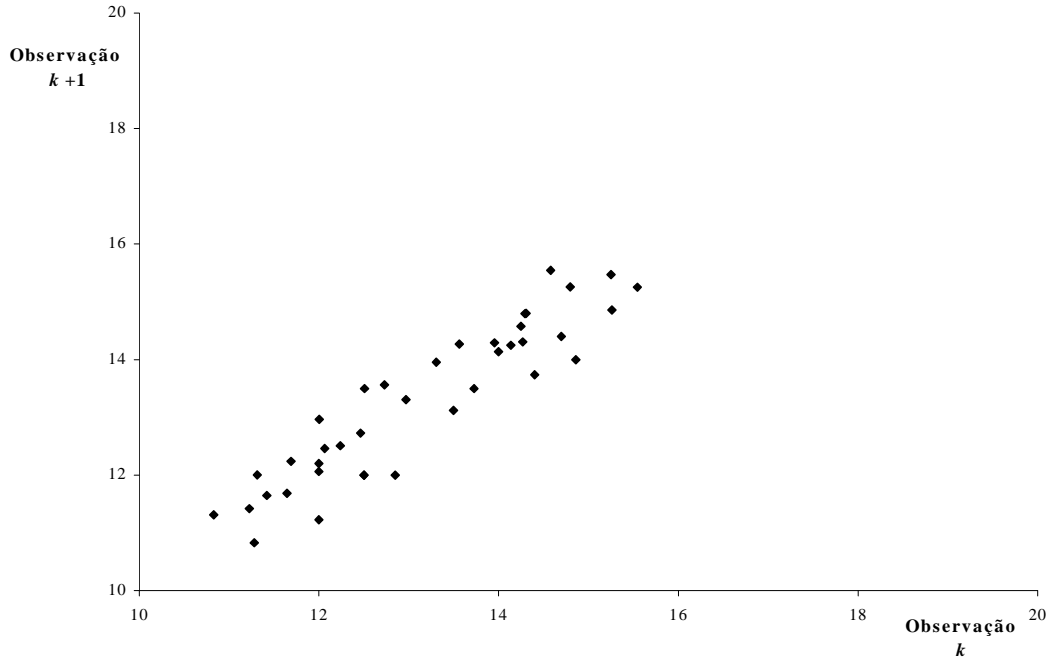


Figura 4.4: Diagrama de dispersão não apresentando correlação entre os dados  
 Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

### 4.3.2.3 Inferência

Uma vez que a amostra esteja pronta, deve-se encontrar uma distribuição de probabilidades que esteja adequada aos eventos. CHWIF e MEDINA [31] apontam a construção de um histograma da amostra. O número de classes pode ser definido pela regra de Sturges com base no número de observações:

$$K = 1 + 3,3 \log_{10} n \quad (4.1)$$

O tamanho de cada classe é definido por:

$$h = \frac{\text{amplitude da amostra}}{k} \quad (4.2)$$

Mais uma vez a ferramenta *Input Analyzer* do ARENA<sup>®</sup> 14 pode realizar essa tarefa a partir da inserção dos dados da amostra.

### 4.3.3 Testes de aderência

Entre os testes disponíveis, destacam-se o teste qui-quadrado e o teste Kolmogorov-Smirnov.

#### 4.3.3.1 Teste Qui-quadrado

Segundo CHWIF e MEDINA [31] o teste verifica os desvios entre as frequências acumuladas teóricas e as empíricas em cada classe. A diferença é dada pela subtração do número de elementos observados e o valor teórico da classe.

$$E_k = \frac{(O_k - T_k)^2}{T_k} \quad (4.3)$$

A estatística E é dada por:

$$E = \sum_{k=1}^k E_k \quad (4.4)$$

Se E for maior que o valor de  $E_{crítico}$  obtido da tabela de distribuição Qui-quadrado a hipótese nula é rejeitada.

#### 4.3.3.2 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste busca verificar a hipótese nula de que a distribuição da amostra segue uma determinada distribuição selecionada. Verifica a diferença entre a função de distribuição teórica e a empírica. A distância máxima é dada por:

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(x)| \quad (4.5)$$

Onde:

$F(x)$  é a função de distribuição acumulada teórica.

$F_n(x)$  é a função de distribuição acumulada empírica.

Quanto menor o valor de  $D_n$  mais aderente é a distribuição selecionada.

#### 4.3.3.3 Softwares de ajuste de dados

Diversos *softwares* de simulação possuem ferramentas para ajuste de dados. O *software* de simulação ARENA<sup>®</sup> possui o *Input Analyzer*. Essa ferramenta verifica a aderência do modelo probabilístico selecionado aos dados. Além disso pode sugerir a distribuição que melhor se adéqua aos dados da amostra. O processo de aceitação ou rejeição da distribuição é feito através do p-valor. Para cada distribuição proposta o *software* calcula o p-valor. Na prática, quanto menor o p-valor menos aderente é a distribuição selecionada, conforme ilustrado na Tabela ???. Os níveis adequados para cada p-valor depende da aplicação analisada. Aplicações que envolvam risco à vida humana ou sejam críticas para o processo produtivo irão demandar maiores níveis de confiança.

Tabela 4.1: Critérios usuais para classificação do p-valor

Valor	Critério
$p\text{-valor} < 0,01$	Evidência forte contra a hipótese nula.
$0,01 \leq p\text{-valor} < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese nula.
$0,05 \leq p\text{-valor} < 0,10$	Evidência potencial contra a hipótese nula.
$0,10 \leq p\text{-valor}$	Evidência fraca contra a hipótese nula.

Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

## 4.4 Criação do modelo conceitual

Na criação de um modelo conceitual o primeiro passo é criar um modelo abstrato. Esse modelo irá representar o fluxo do processo estudado, no entanto não tem a preocupação de obedecer escalas ou detalhar aquilo que não será analisado. Esse modelo abstrato dará vida ao modelo conceitual, que deve ser registrado através de fluxogramas ou através de um Diagrama de ciclo de atividades (ACD).

O ACD é, segundo PAUL [37], uma forma de modelagem das interações dos objetos de sistemas com forte estrutura de filas. Utiliza apenas dois símbolos para descrever o ciclo de vida das entidades ou objetos do sistema, conforme ilustrado na Figura 4.5.

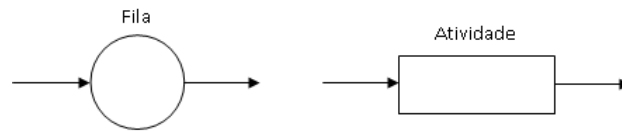


Figura 4.5: Elementos básicos de um *ACD*

Fonte: adaptado de PAUL [37]

CHWIF e MEDINA [31] relatam que a um estado ativo (atividade) envolve a cooperação entre classes de entidades diferente do estado passivo (fila) onde a entidade está aguardando um evento. PAUL [37] afirma que o ciclo de vida das filas e atividades é definido para cada tipo de entidade, sendo um *ACD* completo uma combinação dos ciclos individuais das entidades, conforme ilustrado na Figura 4.6.

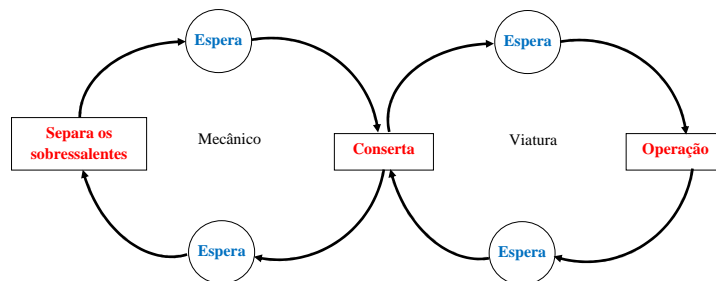


Figura 4.6: Exemplo de um *ACD*

Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

Segundo CHWIF e MEDINA [31] uma maneira de representar de forma mais completa o modelo conceitual é a elaboração da Especificação da modelagem conceitual, que deve conter os seguintes elementos:

- Objetivos: identificação dos problemas;
- Conteúdo: contendo o escopo e nível de detalhamento;
- Entrada: parâmetros que alimentam a simulação;
- Saídas: medidas de desempenho do sistema;
- Hipóteses e simplificações;
- Definições de rodadas: cenários a serem simulados.

## 4.5 Implementação computacional

O modelo computacional é construído a partir do modelo conceitual. Pode ser feito em alguma linguagem de simulação (que exigem conhecimentos matemáticos e

de programação mais profundos) ou por simuladores que possuem em geral interfaces interativas que facilitam a construção do modelo. No entanto, a seleção do simulador envolve a análise de características importantes como: preço, tipo de animação, erros e travamentos no sistema, credibilidade do fabricante e facilidade de uso, além de possuir análise de dados de entrada e análise estatística dos resultados [31].

## 4.6 Verificação e validação dos modelos

Segundo SARGENT [38] a validação do modelo conceitual consiste em determinar se as teorias e pressupostos assumidos estão corretos e se a representação do problema está de acordo com o propósito do modelo e a verificação do modelo computacional é a análise da correção da programação computacional em acordo com o modelo conceitual. KLEIJNEN [39] define a verificação como a busca por erros nos códigos de programação e a validação como sendo a avaliação para determinar se o modelo conceitual representa a realidade do sistema estudado. CHWIF e MEDINA [31] estabelecem uma relação entre o sistema real e os modelos, bem como o papel da validação e verificação, conforme ilustrado na Figura 4.7.

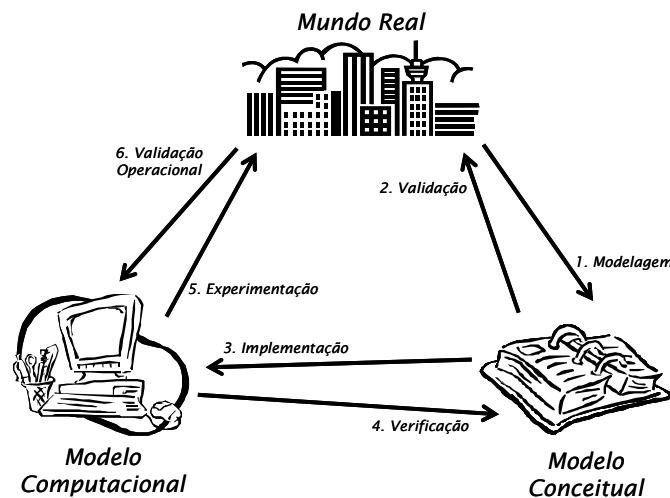


Figura 4.7: Exemplo de um *ACD*  
 Fonte: CHWIF e MEDINA [31]

### 4.6.1 Técnicas de Verificação

CHWIF e MEDINA [31] descrevem maneiras identificar erros no modelo computacional:

- Implementação modular: implementar e executar as partes do modelo separadamente;



- Simular os valores com distribuições determinísticas e comparar com cálculos manuais;
- Utilizar depurador: permitindo visualizar a simulação passo a passo de modo a facilitar a identificação do erro;
- Simulação manual: conferindo sensibilidade ao analista para perceber as correspondências entre os modelos computacional e conceitual.
- Animação gráfica: permite identificar erros através de fenômenos gráficos inexplicáveis no modelo;
- Revisão em grupo: delegar a revisão para outra pessoal que não o programador a fim de evitar vícios.

## 4.6.2 Técnicas de Validação

Para validação, CHWIF e MEDINA [31] enumeram as principais técnicas:

- Teste de Turing ou validação box-plot: alguém que conhece o sistema analisa dois conjunto de dados: um real e outro simulado. Caso não consiga distinguir entre os dois, o modelo é considerado válido. Também é possível comparar estatisticamente os resultados dispensando assim o especialista;
- Duplicação de modelos: duas equipes desenvolvem modelos independentes que são comparados;
- Comparação com modelos anteriores: comparação com modelos anteriormente desenvolvidos ou modelos simplificados;
- Análise de sensibilidade: identificar os parâmetros de entrada críticos que influenciam fortemente os resultados do modelo para que recebam maior atenção;
- Validação face a face: discussão entre analista e especialista.

# Capítulo 5

## O processo de manutenção

### 5.1 O modelo conceitual

Conforme descrito por PESSÔA *et al.* [40] o processo de estruturação do problema envolveu a definição do objetivo, seleção de pessoal chave especialista no processo de manutenção, entrevistas com os especialistas para identificação das questões principais e montagem de mapas conceituais.

O Batalhão de Blindados de Fuzileiros Navais é a Organização Militar responsável por operar e manter as viaturas PIRANHA. Em suas instalações são realizadas manutenções preventivas e corretivas. Dos tipos de manutenção possíveis de serem realizadas, o Batalhão não realiza apenas a Rotina Avançada de Sistemas (manutenção geral realizada a cada 4 anos). As tarefas de manutenção realizadas pelo batalhão são: Rotina Básica de Sistemas (preventiva) e Manutenções Corretivas. Não são realizadas manutenções preditivas. O pelotão dispõe de um Box e uma equipe de manutenção para a viatura PIRANHA, uma vez que também são mantidos a bordo mais dois outros modelos de blindados além das viaturas leves. Antes de iniciar o desenvolvimento do modelo conceitual é importante entender que existem demandas operacionais que podem ocorrer simultaneamente. A Força de Emprego Rápido necessita de 14 viaturas em sua composição e o efetivo para uma missão é de 5 viaturas. Os exercícios que visam manter a prontidão operacional da tropa exigem em torno de 6 viaturas. Se todos esses eventos ocorrerem simultaneamente restarão 5 viaturas de um total de 30. Conseqüentemente, o número máximo de viaturas no sistema de manutenção não pode ser superior a cinco. Para que isso ocorra o processo de manutenção é desenvolvido conforme o modelo conceitual descrito na Figura 5.1.

O processo de manutenção é na verdade composto por três atores principais: a viatura demandando manutenção, o mecânico que irá realizar o reparo e o sobres-

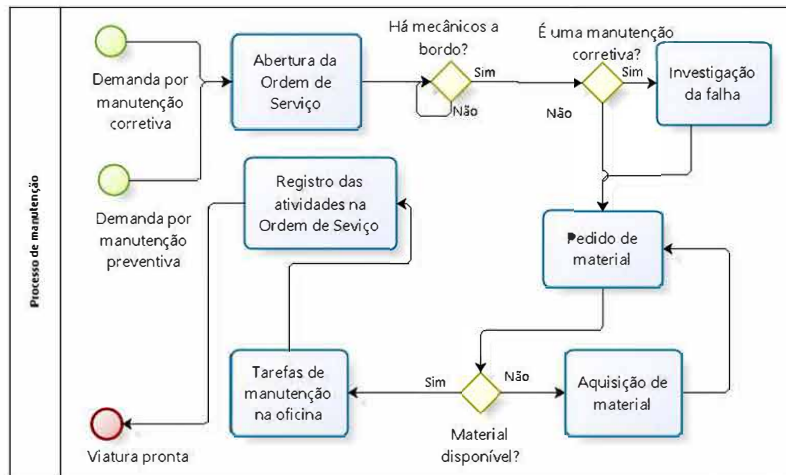


Figura 5.1: Mapa conceitual do processo de manutenção das viaturas PIRANHA

saliente que será instalado na viatura. A manutenção propriamente dita só pode ser executada quando estes três atores estão disponíveis simultaneamente. O Diagrama de ciclo de atividades do processo auxilia tal entendimento, conforme ilustrado na Figura 5.2.

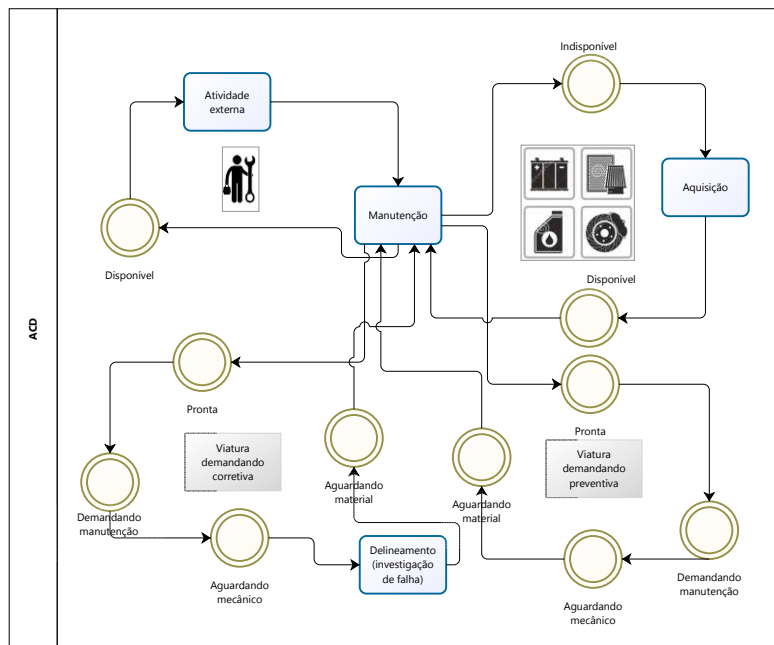


Figura 5.2: Diagrama do ciclo de atividades do processo de manutenção

Diversos fatores influenciam direta ou indiretamente o processo de manutenção. Desde a disponibilidade de recursos até os objetivos principais do Comandante do Batalhão, vários parâmetros regulam a forma como o processo se estabelece e o seu desempenho. Esses fatores de influência devem ser avaliados e aqueles julgados pertinentes devem integrar o modelo adotado. O mapa mental desses fatores é ilustrado na Figura 5.3.

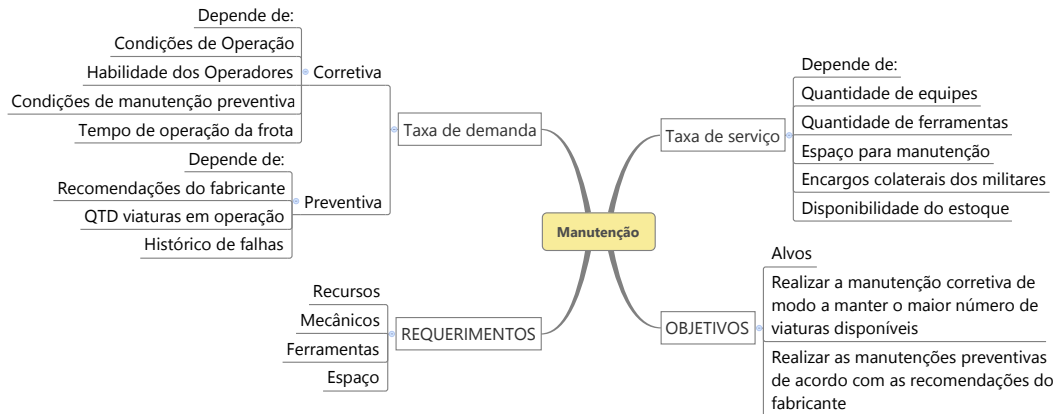


Figura 5.3: Mapa mental dos fatores de influência no manutenção das viaturas PIRANHA

Analisando o processo de manutenção, que atualmente opera sob a disciplina FIFO *First in, First out*, observamos que as viaturas demandando manutenção entram no sistema, onde inicialmente é aberta uma Ordem de Serviço (OS). A OS é o primeiro processo e também a primeira fila do sistema. Se não houver mecânicos a bordo, as viaturas esperam em uma segunda fila até que haja uma equipe disponível. As viaturas demandando manutenções corretivas seguem para o delineamento, que é um outro processo com fila própria, onde são investigadas as causas das falhas, e posteriormente para o pedido de material (processo também com fila independente). As viaturas demandando manutenção preventiva seguem direto para o pedido de material. Em ambos os casos, se os sobressalentes não estiverem disponíveis é realizada a aquisição, processo realizado por pessoal alheio ao setor de manutenção e com fila própria. Com os sobressalentes disponíveis, as viaturas seguem para a oficina para serem mantidas, onde encontram mais uma fila. No fim do processo as viaturas enfrentam sua última atividade e conseqüentemente última fila, onde são registradas as atividades realizadas e a viatura é liberada para fora do sistema de manutenção.

## 5.2 O modelo computacional

Foram desenvolvidos diversos modelos para diferentes cenários. Os modelos computacionais foram desenvolvidos utilizando o ARENA<sup>®</sup> 14 para seis cenários diferentes, cada um com uma configuração diferente de mecânicos, conforme ilustrado na Tabela 5.1. Particularmente, o cenário 5 foi uma sugestão dos mecânicos do batalhão, enquanto o cenário 6 foi uma sugestão da banca examinadora durante o processo de qualificação deste trabalho.

Tabela 5.1: Cenários

Cenário	Características
1	Uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas sob a disciplina: primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.
2	Uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas com prioridade para as corretivas.
3	Duas equipes compostas por três militares cada (uma realizando atividades corretivas e outra realizando atividades preventivas)
4	Duas equipes compostas por três militares cada, ambas realizando atividades corretivas e preventivas com prioridade para as corretivas.
5	Uma equipe composta por quatro militares realizando atividades preventivas e corretivas com prioridade para as corretivas.
6	Duas equipes (uma realizando atividades corretivas e outra realizando atividades preventivas). Cada equipe possui dois mecânicos fixos. Há um mecânico móvel que integra a equipe cuja fila de espera estiver maior

### 5.2.1 Cenário 1

O modelo computacional para uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas sob a disciplina: primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido foi o primeiro modelo a ser desenvolvido. A primeira parte do modelo trata da entidade Mecânico e suas saídas para atividades externas. Além de iniciar e terminar o processo de ausência do mecânico, esta parte do programa também garante que o mecânico irá terminar o serviço que estiver em execução antes de iniciar sua ausência, conforme ilustrado na Figura 5.4.

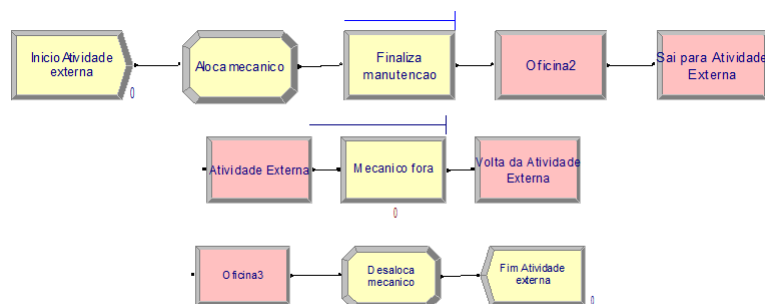


Figura 5.4: Processo de ausência do mecânico

Na Figura 5.5 observa-se a criação das entidades que serão mantidas: viaturas demandando corretiva e viatura demandando preventiva. As viaturas assim que

entram no sistema são postas em fila FIFO para que seja aberta a Ordem de Serviço, após o que são organizadas em uma fila FIFO esperando que o mecânico esteja a bordo.

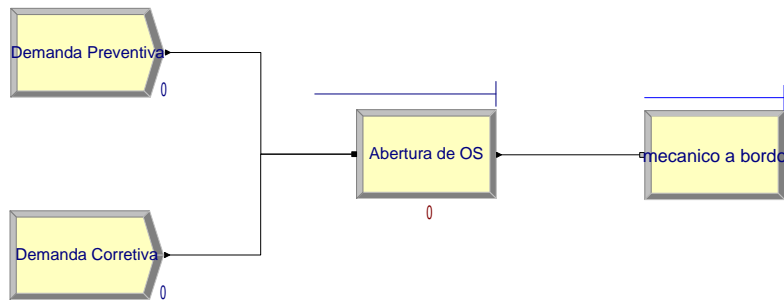


Figura 5.5: Chegada das viaturas ao sistema e abertura de Ordem de Serviço

Uma vez o mecânico a bordo, as viaturas demandando corretivas são encaminhadas para o processo de delineamento, onde é determinado qual o problema que está causando a pane, sendo em seguida realizado o pedido do material necessário ao reparo. As viaturas demandando preventiva passam direto para este último processo. Caso o material não esteja disponível a viatura entra na fila para que seus sobressalentes sejam adquiridos, retornando ao processo de pedido do material assim que ele estiver disponível no Batalhão, conforme ilustrado na Figura 5.6.

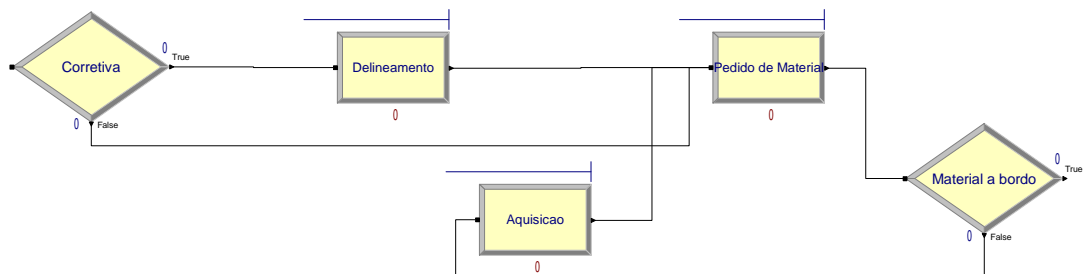


Figura 5.6: Processo de aquisição de sobressalentes

Uma vez os sobressalentes disponíveis, a viatura é encaminhada para a equipe de manutenção. Como a mesma equipe executa atividades corretivas e preventivas, é preciso registrar através de um módulo *Assign* o momento em que uma viatura entrou na oficina e a equipe passou a ficar ocupada. Assim, mesmo que esteja sendo realizada uma manutenção corretiva e chegue uma nova viatura demandando preventiva, esta aguardará na fila até que a equipe termine o serviço e fique disponível. As viaturas são separadas por um *Decide* conforme o tipo de serviço que demandem, uma vez que os tempos de execução são diferentes para as corretivas e preventivas. Tal recurso é ilustrado na Figura 5.7.

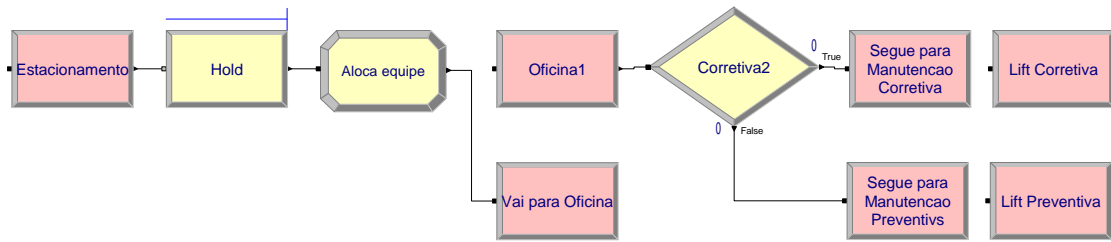


Figura 5.7: Entrada das viaturas na oficina no Cenário 1

O processo de manutenção dentro da oficina é então executado. Ao final do processo a equipe é liberada para a próxima viatura que está na fila, que pode estar demandando uma manutenção preventiva ou corretiva, conforme ilustrado na Figura 5.8.

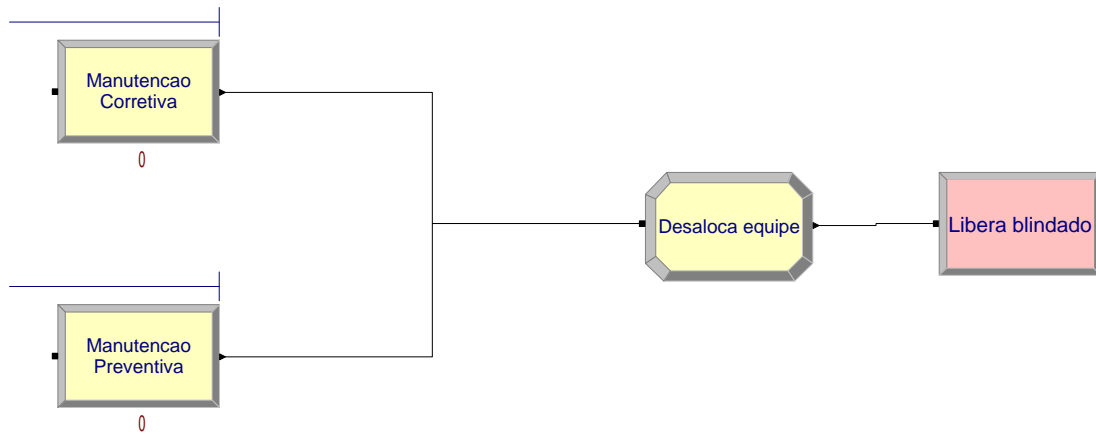


Figura 5.8: Processo de manutenção no Cenário 1

Após deixar a oficina, a viatura passa pelo processo de registro das atividades realizadas. As estatísticas de número total de viaturas no sistema, tempos totais das viaturas que realizaram corretiva e preventiva são registrados, após o que a viatura deixa o sistema de manutenção, conforme ilustrado na Figura 5.9.

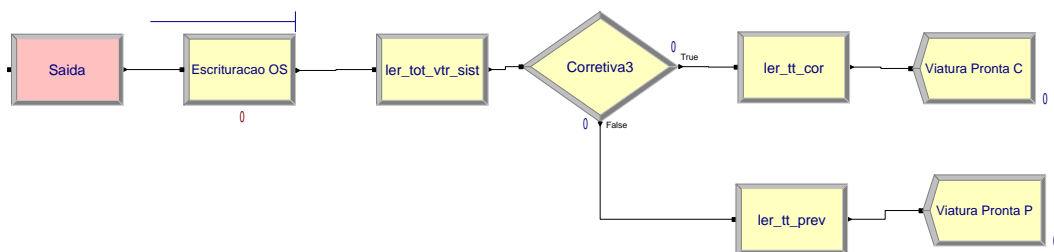


Figura 5.9: Registro de atividades no Cenário 1

## 5.2.2 Cenário 2

O modelo computacional para uma equipe composta por três militares realizando atividades preventivas e corretivas sob a disciplina de prioridade para a manutenção corretiva é idêntico ao modelo do Cenário 1 exceto pelo módulo *Assign*, ilustrado na Figura 5.10 que eleva o valor das viaturas demandando corretivas e pela disciplinas das filas que priorizam as manutenções corretivas.

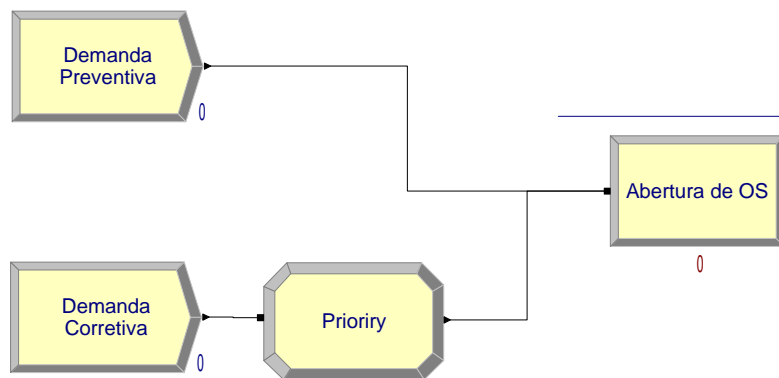


Figura 5.10: Módulo *Assign* aumentando o valor das viaturas demandando corretiva no Cenário 2

## 5.2.3 Cenário 3

O modelo computacional para duas equipes compostas por três militares cada (uma realizando exclusivamente corretivas e outra realizando exclusivamente preventivas) é idêntico ao Cenário 1 até o momento em que a viatura entra na oficina. Observa-se nas Figuras 5.11 e 5.12 que, por serem duas equipes diferentes (uma corretiva e outra preventiva), o processo de tornar a equipe ocupada ou desocupada é feito de forma independente. Isso porque o fato da equipe preventiva estar ocupada não impede que uma viatura demandando corretiva seja encaminhada para a equipe corretiva. As viaturas demandando corretiva são todas encaminhadas para uma fila e são atendidas por uma equipe, enquanto as preventivas são encaminhadas para outra fila e atendidas por outra equipe.



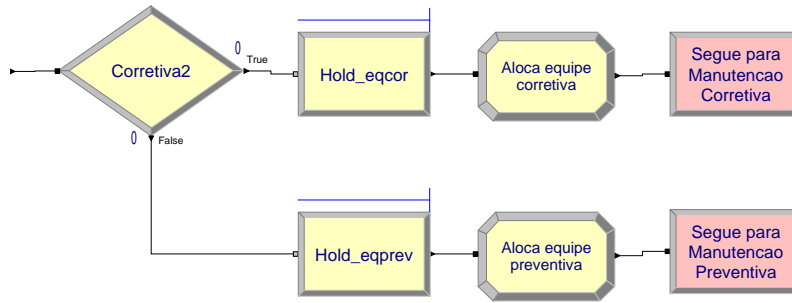


Figura 5.11: Filas para a oficina e ocupação das equipes no Cenário 3

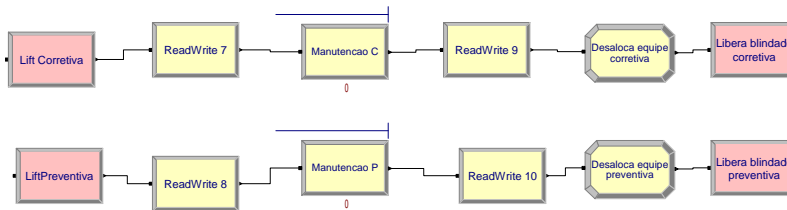


Figura 5.12: Processos de manutenção e desocupação das equipes no Cenário 3

### 5.2.4 Cenário 4

O modelo computacional para duas equipes compostas por três militares realizando tarefas corretivas e preventivas ambas com prioridade para a corretiva apresentada, assim como no Cenário 2, as viaturas demandando com um valor elevado através de um *Assign*, o que possibilita que sejam priorizadas. No entanto, diferente do que ocorre no Cenário 3, a escolha de qual equipe realizará o serviço não se dá com base no tipo de serviço a ser executado (preventivo ou corretivo). Conforme ilustrado na Figura 5.13, a distribuição de tarefas para as equipes é feita através de um *Decide* na proporção de 50% para cada uma, de modo a não sobrecarregar uma equipe e deixar a outra com menor taxa de ocupação.

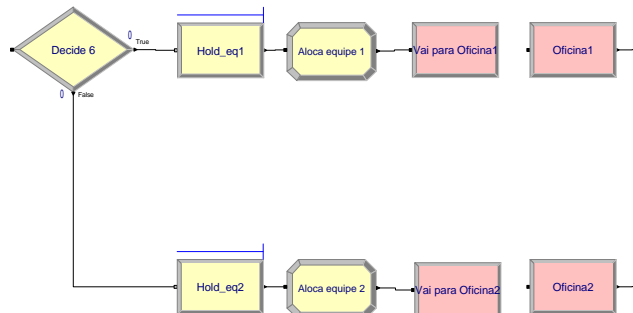


Figura 5.13: Divisão de tarefas entre as equipes no Cenário 4

Uma vez designada qual equipe realizará o serviço, as viaturas são divididas (dentro das tarefas internas de cada equipe) em corretivas e preventivas conforme

ilustrado na Figura 5.14. Tal divisão tem o propósito de encaminhar a viatura para o processo que tem o tempo de execução adequado, uma vez que a mesma equipe executa os serviços corretivos e preventivos em tempos diferentes. Naturalmente a alocação através de um *Assign* faz com que uma equipe que estiver realizando uma manutenção corretiva não possa realizar simultaneamente uma preventiva.

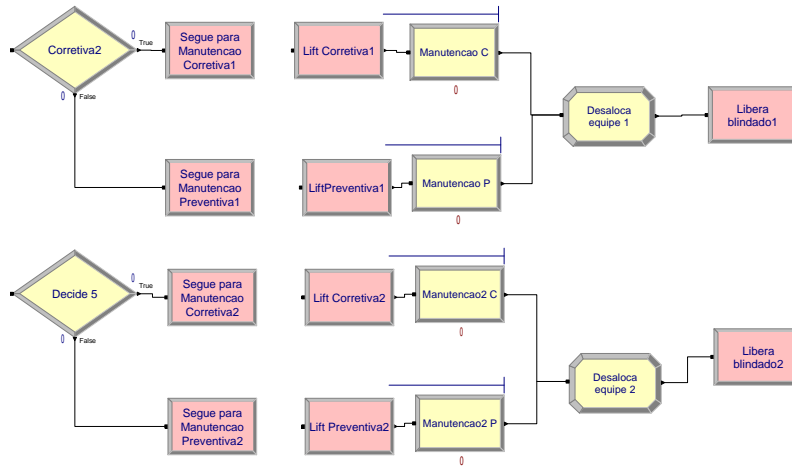


Figura 5.14: Encaminhamento das viaturas para que sejam mantidas nos padrões de tempo adequados ao tipo de serviço no Cenário 4

### 5.2.5 Cenário 5

O Cenário 5 é modelado de forma idêntica ao Cenário 2. Uma equipe realizando corretivas e preventivas com prioridade para as corretivas. No entanto o número de militares da equipe sobe de 3 para 4 mecânicos. Desta forma, considerando que todos os mecânicos têm o mesmo desempenho, o tempo de serviço de cada tarefa executada é reduzido em 25%.

### 5.2.6 Cenário 6

O Cenário 6 é modelado da mesma forma que o Cenário 3 (uma equipe realizando exclusivamente tarefas corretivas e outra realizando tarefas exclusivamente preventivas). No entanto ambas equipes são compostas por dois mecânicos fixos em cada, totalizando 4 mecânicos empregados. Há um quinto mecânico móvel que integra a equipe que estiver com o maior número de viaturas na fila de espera da oficina, fazendo assim que o tempo de serviço seja reduzido e a fila diminua. A modelagem dessa situação foi realizada através de módulos *Decide*, conforme ilustrado na Figura 5.15, que comparam o tamanho das filas e encaminham as viaturas para os *Process* que possuem o tempo de serviço adequado para cada situação (uma vez que os tempos são diferentes nos momentos em que uma equipe conta com dois ou

três mecânicos). Considerando que os mecânicos possuem o mesmo desempenho, as equipes apresentam o seu tempo de serviço quando compostas por dois mecânicos aumentado em 50% em relação ao tempo de serviço quando compostas por três mecânicos.

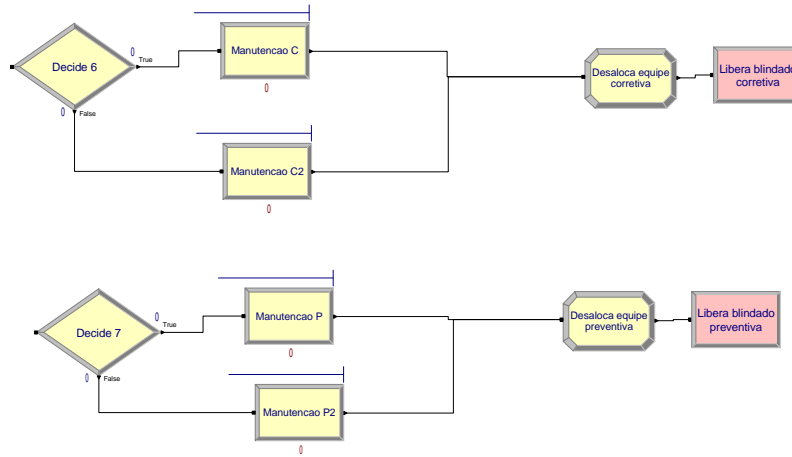


Figura 5.15: Tempos de serviço variando de acordo com o tamanho da fila e composição da equipe

# Capítulo 6

## Experimentos computacionais

### 6.1 Coleta e análise de dados

Utilizando os Relatórios de Avarias, o Programa Anual de Manutenção e as Ordens de Serviço de três anos consecutivos (2012, 2013 e 2014) foram obtidos os dados de demanda anual de serviços e os tempos de execução das manutenções (corretivas e preventivas), conforme descrito nas Tabelas 6.1, 6.2 e 6.3. Sabe-se que por serem 30 viaturas a sofrerem duas manutenções preventivas por ano cada uma, a taxa entre chegadas de viaturas para manutenção preventiva é de uma viatura a cada 6 dias.

Tabela 6.1: Tempos entre chegadas (TEC) das manutenções corretivas

2012			2013			2014		
Mês	Serviços	TEC	Mês	Serviços	TEC	Mês	Serviços	TEC
Jan	1	30	Jan	1	30	Jan	1	30
Fev	2	15	Fev	1	30	Fev	1	30
Mar	2	15	Mar	2	15	Mar	2	15
Abr	2	15	Abr	3	10	Abr	2	15
Mai	5	6	Mai	5	6	Mai	3	10
Jun	2	15	Jun	2	15	Jun	3	10
Jul	3	10	Jul	3	10	Jul	4	7,5
Ago	6	5	Ago	6	5	Ago	4	7,5
Set	5	6	Set	6	5	Set	5	6
Out	5	6	Out	6	5	Out	5	6
Nov	3	10	Nov	2	15	Nov	6	5
Dez	3	10	Dez	2	15	Dez	6	5

Tabela 6.2: Tempos de serviço das manutenções corretivas durante 3 anos

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1
1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1
	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
		2	1	2	2	2	1	2	1	1	1
			1	1	2	2	2	2	1	1	1
			1	1	1	2	1	2	1	2	1
				1	2	2	2	1	2	1	1
				1	2	1	2	1	1	1	1
					2	2	2	1	2	1	1
						2	2	1	1	2	1
						2	2	1	2	1	1
							2	2	2	1	1
								1	2	1	2
								2	2	1	2
									1	2	1
										2	1
											1
											2
											1
											2

Em relação à Tabela 6.2 cabe ressaltar que o aumento da quantidade de manutenções corretivas executadas ao longo do ano é ocasionado por um aumento no uso das viaturas ao longo do mesmo período. Dessa forma, é natural que sendo as viaturas empregadas em regimes mais severos seja observado um maior número de avarias.

Tabela 6.3: Tempos de serviço das manutenções preventivas durante 3 anos

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
5	5	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3
5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3
5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3
5	5	5	5	5	4	4	3	3	3	3	3
5	4	3	4	4	4	3	4	5	4	5	4
5	5	3	5	5	4	4	4	5	4	4	4
5	3	4	4	3	4	5	4	5	3	4	4
4	4	3	5	5	4	4	4	4	3	4	4
5	3	3	3	3	4	3	5	4	3	3	5
5	4	4	3	3	4	4	4	5	4	3	3
4	4	3	5	4	3	5	3	4	3	5	3
4	3	4	5	4	3	3	3	4	5	3	4
3	5	3	4	4	5	3	5	4	3	3	5
4	5	5	4	3	4	5	3	3	5	3	5

Esses dados foram analisados quanto à existência de outliers, descartando-se a possibilidade de erros na coleta uma vez que os dados foram extraídos de documentos de manutenção. Quanto a eventos que ocorrem com menor frequência, verifica-se que os valores se repetem sem gerar números absurdos, ficando os valores máximos e mínimos dentro dos limites superiores e inferiores, conforme ilustrado nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3. Desta forma não é o caso retirar qualquer valor da amostra.

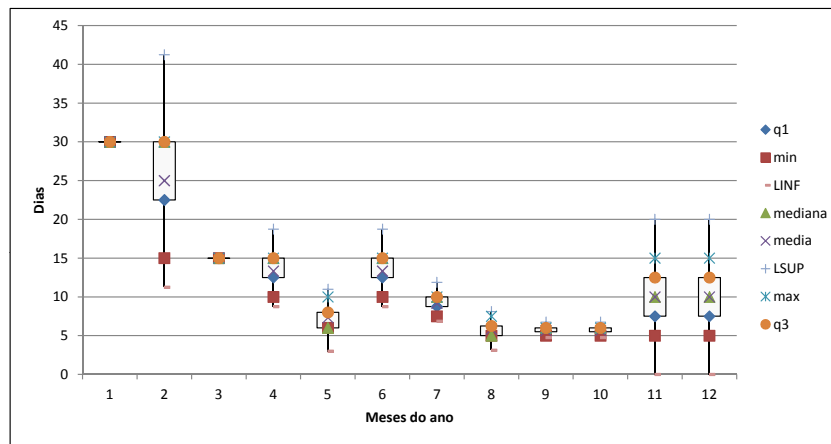


Figura 6.1: Box-plot para identificação de outliers no tempo entre chegadas (corretivas)

No que diz respeito à análise de correlação, observa-se pelos gráficos de dispersão, onde são plotados os pontos representados pelas observações  $(O_1, O_2)$ ;  $(O_2, O_3) \dots (O_{n-1}, O_n)$  que não existe correlação entre as observações, isto é, a amostra representa uma sequência de valores independentes identicamente distribuídos. Nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 observa-se a distribuição dos pontos de forma aleatória.

Os tempos entre chegadas e tempos de serviços foram analisados através do *Input Analyzer*, ferramenta que permite a inferência estatística de modo a determinar

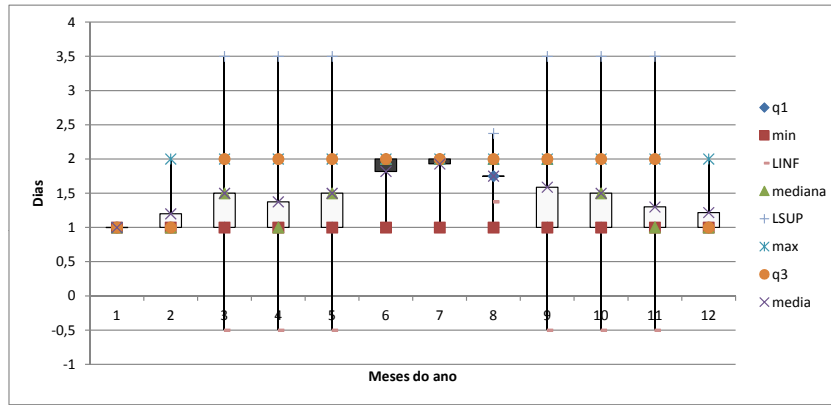


Figura 6.2: Box-plot para identificação de outliers no tempo de serviço (corretivas)

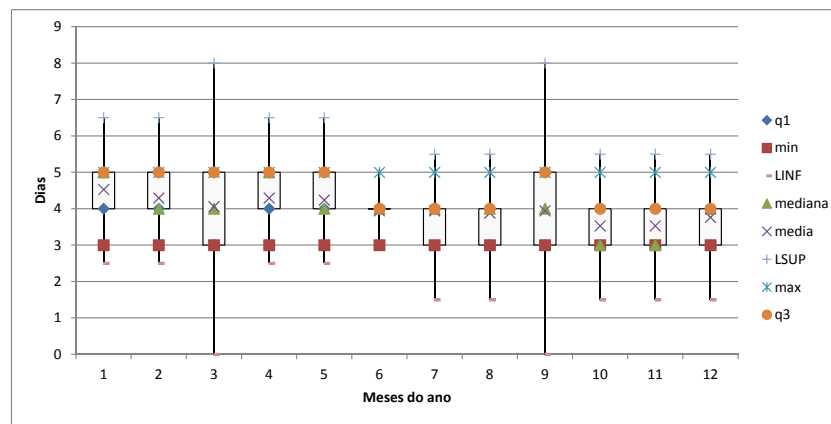


Figura 6.3: Box-plot para identificação de outliers no tempo de serviço (preventivas)

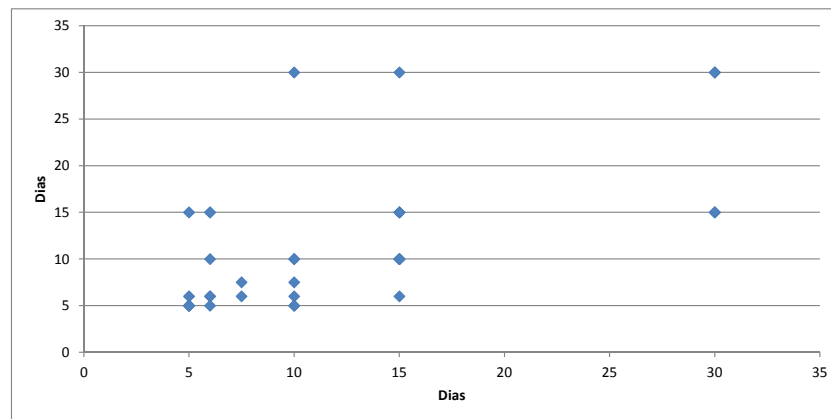


Figura 6.4: Correlação dos tempos entre chegadas das manutenções corretivas

a distribuição a qual os dados da amostra melhor se ajustam. Verifica-se, conforme ilustrado nas Figuras 6.7, 6.8 e 6.9, que a chegada de viaturas demandando manutenção corretiva segue uma distribuição exponencial com média de 12,5 dias; a taxa de serviço de manutenção corretiva obedece a uma distribuição triangular com parâmetros  $[0,5; 1,5; 2,5]$  dias e a taxa de serviço de manutenção preventiva segue

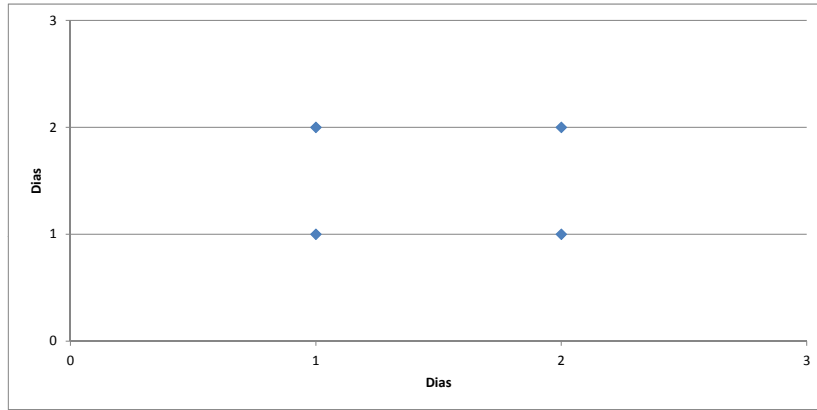


Figura 6.5: Correlação dos tempos de serviço das manutenções corretivas

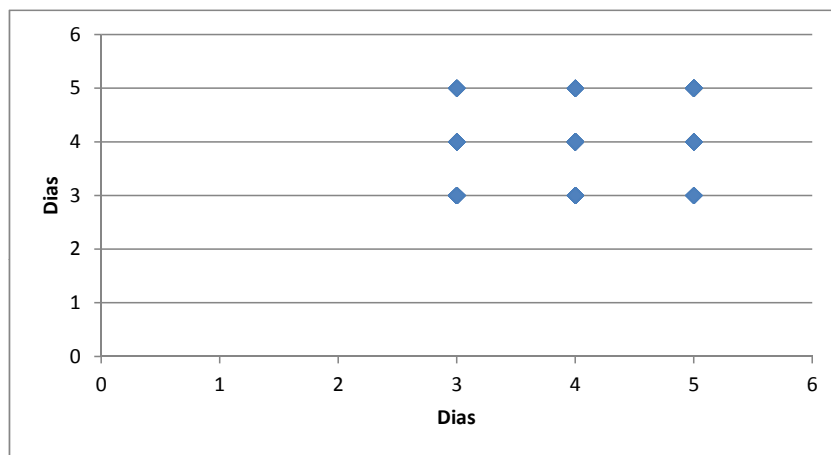


Figura 6.6: Correlação dos tempos de serviço das manutenções preventivas

uma distribuição uniforme com parâmetros  $[2,5 ; 5,5]$  dias. A taxa de demanda preventiva é constante com tempo entre chegadas de valor 6 dias. Os p-valores superiores a 0,10 indicam a aderência dos modelos probabilísticos às séries de dados.

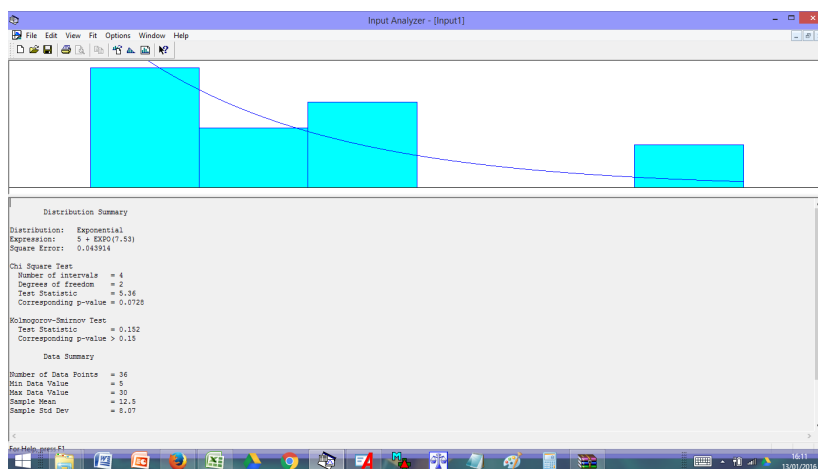


Figura 6.7: Análise dos dados de tempo entre chegadas das manutenções corretivas

Como nem todos os dados necessários estavam registrados nas documentações



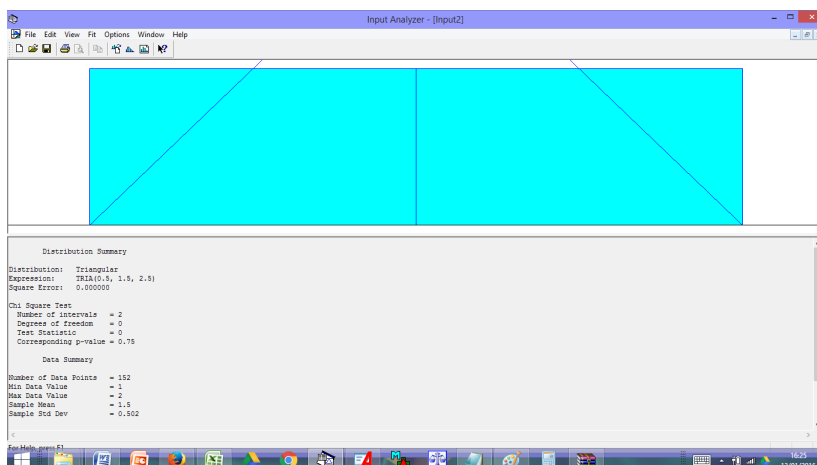


Figura 6.8: Análise dos dados de tempo de serviço corretivo



Figura 6.9: Análise dos dados de tempo de serviço preventivo

de manutenção, foi realizada uma entrevista com o Chefe da oficina. De acordo com a entrevista, a abertura de uma Ordem de Serviço leva em média 30 minutos. Além disso, a maioria das Ordens de Serviço consomem um tempo para abertura que está relativamente perto da média, enquanto eventualmente uma OS leva um mais de tempo para ser aberta. O processo descrito segue as características de uma distribuição exponencial [30]; Por isso, adotou-se uma distribuição exponencial com média de 30 minutos. As demais variáveis apresentam as mesmas características, assim foram selecionadas distribuições exponenciais para modelar cada uma delas. As equipes de manutenção deixam o Batalhão uma vez a cada 90 dias para realizar atividades externas, permanecendo fora em média por 10 dias. Nenhuma manutenção é realizada nesse período. A investigação de falhas (delineamento) leva em média 1 dia, enquanto o pedido de material consome em média duas horas. Além disso, quando um sobressalente não está disponível (cerca de 10% dos casos), leva-se em média 2 dias para que seja disponibilizado a partir do depósito central localizado no Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN). As distribuições

estatísticas empregadas neste trabalho são apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Parâmetros de entrada

<b>Evento</b>	<b>Características</b>
Tempo entre chegadas das manutenções corretivas	Distribuição exponencial com parâmetro $\lambda = 12,5$ dias: $Exp(12,5)$ .
Tempo entre chegadas das manutenções preventivas	Distribuição constante (6 dias).
Tempo entre chegadas para as solicitações de atividade externa	$Exp(90)$ dias.
Duração das atividades externas para as equipes de manutenção	$Exp(10)$ dias.
Tempo de abertura da Ordem de Serviço	$Exp(30)$ minutos.
Tempo de investigação de falha	$Exp(1)$ dia.
Tempo de pedido de material	$Exp(2)$ hora.
Tempo de aquisição de material	$Exp(2)$ dias.
Tempo de serviço de manutenção corretiva	Distribuição triangular com parâmetros $[0,5; 1,5; 2,5]$ dias.
Tempo de serviço de manutenção preventiva	Uniforme $\sim [2,5; 5,5]$ dias.
Tempo de escrituração de ordem de serviço	$Exp(2)$ horas.

Este trabalho não aborda a possibilidade dos sobressalentes não estarem disponíveis no depósito central do CTecCFN, uma vez que pedidos de aquisição feitos ao fabricante podem levar até 6 meses para se concretizar. Para evitar problemas, os níveis de estoque do CTecCFN devem ser constantemente verificados para evitar desabastecimento.

## 6.2 Determinação do tempo de aquecimento, tempo de simulação e número de replicações

O computador usado para executar a simulação possui um processador Intel Core i5, 1.8Ghz e 4Gb RAM. Para determinar o período de aquecimento, uma simulação inicial com duração de 365 dias e 5 replicações foi executada. Usando a média da amostra e as médias móveis variando o parâmetro  $m$ , conforme ilustrado nas Figuras 6.10 e 6.11, o sistema atinge o estado permanente antes de 280 dias para as

manutenções preventivas e antes de 260 dias para as corretivas. Assim, o período de aquecimento foi estabelecido em 280 dias.

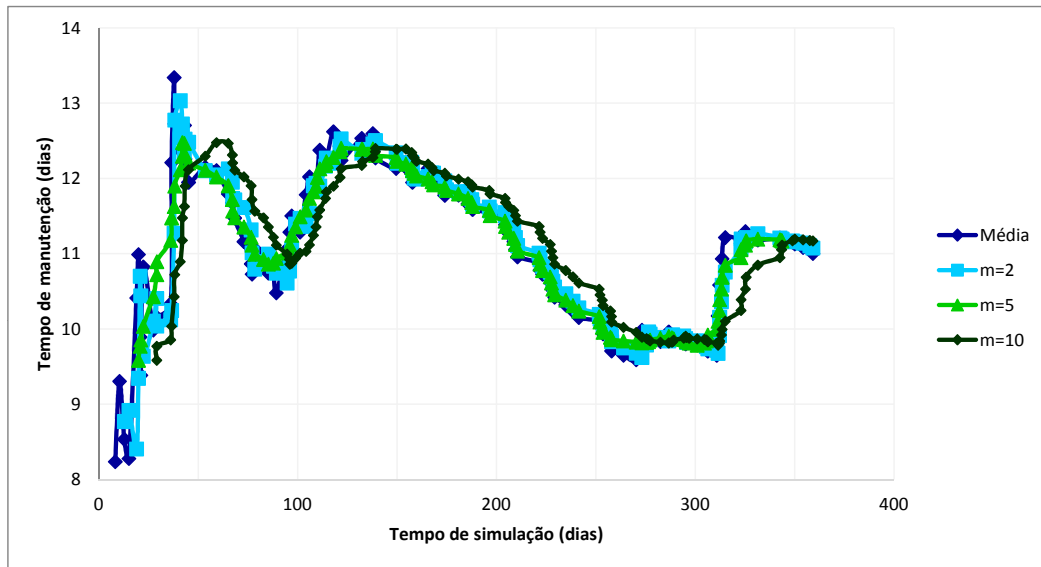


Figura 6.10: Tempo de manutenção corretiva para 5 replicações e 365 dias.

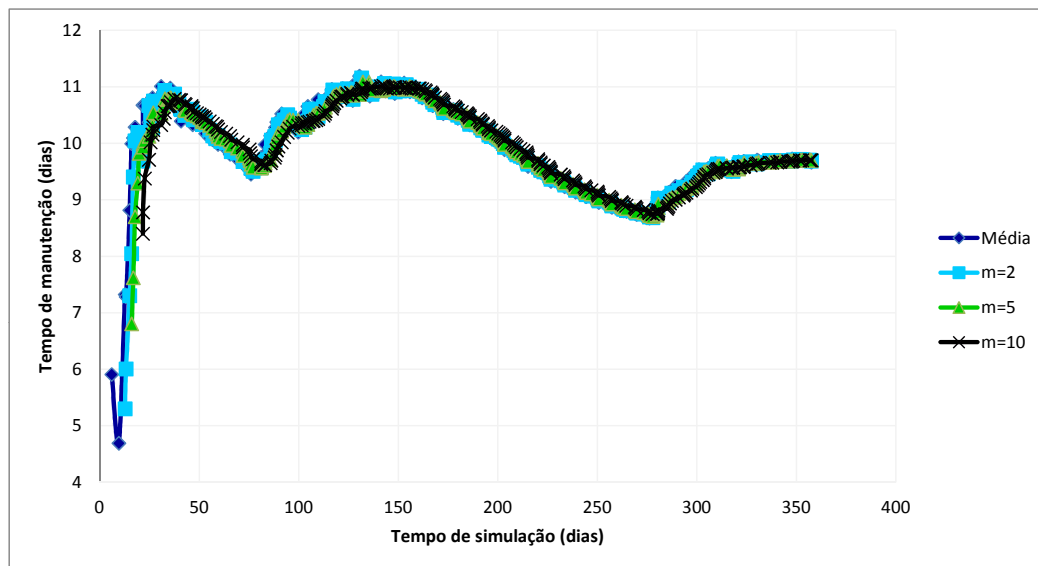


Figura 6.11: Tempo de manutenção corretiva para 5 replicações e 365 dias.

O tempo de simulação foi arbitrado então em 7300 dias por questões práticas: a vida útil da viatura é de 20 anos. Assim é coerente simular o comportamento por igual período. O número de replicações foi estabelecido baseado no seguinte argumento: a confiança estatística desejada é de 95% e a precisão de 0,5 dias. A partir de períodos de aquecimento de 280 dias e de simulação de 7300 dias, foi construída uma amostra-piloto com 50 replicações conforme ilustrada na Tabela 6.5. Para facilitar o entendimento, esses resultados são também apresentados na

Figura 6.12, que contém médias de 50 replicações para manutenções corretivas e preventivas e também para a média total. O intervalo de confiança de 95% para a média é:

$$\left[ \bar{x} - \frac{1,96\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{x} + \frac{1,96\sigma}{\sqrt{n}} \right].$$

O intervalo de confiança de 95% para as manutenções preventivas é [11, 52; 13, 14] com 0,81 dias de precisão, e [12, 42; 14, 28] com 0,93 dias de precisão para as corretivas.

Tabela 6.5: Amostra piloto: 50 replicações, 7300 dias de simulação e 280 dias de aquecimento

Replicação	Tempo médio preventivo(dias)	Tempo médio corretivo(dias)
01	14,9123	15,9628
02	16,9541	18,9211
03	21,4278	22,4280
04	10,0201	9,9399
05	10,3684	11,1688
06	8,7745	9,5332
07	10,3140	11,5312
08	9,2737	10,0688
09	12,7077	13,7239
10	11,0545	11,9353
11	9,9263	10,6102
12	20,0291	21,9887
13	14,0740	15,2439
14	12,9543	13,9827
15	13,3545	14,3862
16	9,0514	9,3594
17	11,6906	14,1971
18	12,7571	13,9960
19	12,7332	10,5458
20	9,7059	11,6063
21	11,0834	21,0900
22	19,0017	13,2358
23	14,4950	12,9084
24	12,1561	15,4299
25	12,2778	12,2695
26	14,1037	17,9127
27	11,0611	14,1608
28	16,5939	11,8931
29	13,3301	12,4847
30	11,2621	17,8339
31	11,7794	11,6212
32	15,5326	12,9590
33	10,6695	8,4968
34	11,8056	13,6934
35	8,4768	14,5639
36	12,9649	9,2875
37	12,7607	15,5084
38	8,6359	10,0058
39	14,2269	10,0717
40	9,3171	12,9276
41	9,3568	15,4935
42	12,0815	13,5879
43	14,2029	11,4164
44	12,6522	16,2346
45	10,9597	14,1264
46	14,3296	9,3349
47	13,1880	7,6698
48	8,8996	11,1803
49	7,4218	15,5323
50	11,4654	15,6786
Média	12,33	13,35
Desvio padrão	2,94	3,35

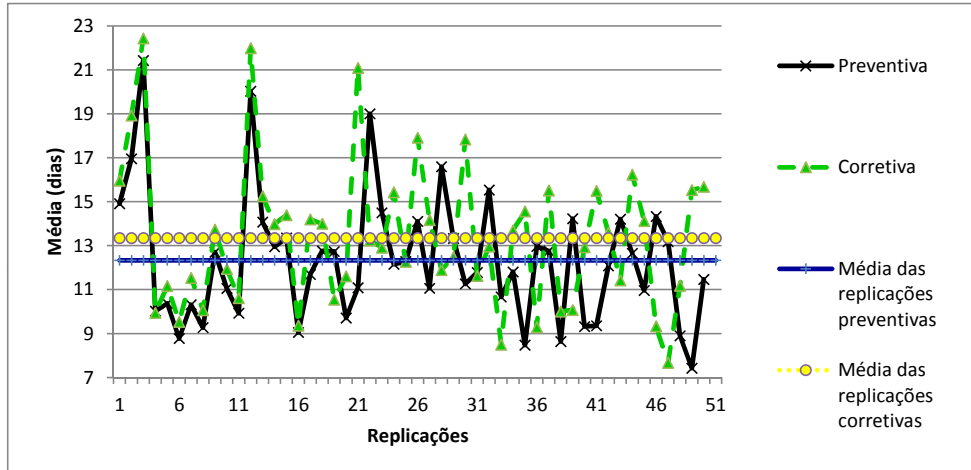


Figura 6.12: Amostra piloto: 50 replicações

De acordo com CHWIF e MEDINA [31], o número necessário de replicações é:

$$n^* = \left\lceil n \left( \frac{h}{h^*} \right)^2 \right\rceil, \quad (6.1)$$

onde  $n^*$  é o número necessário de replicações;  $n$  é o número de replicações da amostra;  $h$  é a precisão da amostra; e  $h^*$  é a precisão desejada.

Sob o ponto de vista das manutenções preventivas, de acordo com a Eq. (6.1), o número de replicações necessárias é 132, e sob o ponto de vista corretivo são necessárias 173 replicações. Rodando uma nova amostra com 173 replicações e fazendo os cálculos novamente, é possível verificar que a precisão é de 0,52 dias para as manutenções preventivas e 0,58 dias para as corretivas. O novo número de replicações necessárias passa então a 190 para as manutenções preventivas e 233 para as corretivas. Os cálculos e simulações se repetem até que para uma simulação com 282 replicações a precisão para as manutenções preventivas é de 0,5 dias e para as corretivas é de 0,5 dias. Cada replicação leva cerca de 3 segundos. Devido a isso e para minimizar problemas com período de aquecimento decidiu-se que seriam executadas 1000 replicações.

### 6.3 Verificação e Validação

A verificação do modelo computacional foi realizada através da análise gráfica do *software*. As viaturas demandando preventivas foram representadas graficamente por formulários verdes e as demandando corretiva por formulários vermelhos. Os formulários seguiram seus fluxos através das estações de trabalho sem sobressaltos. Também foi utilizado o depurador, o qual verificou a simulação passo a passo em

busca de possíveis erros.

A validação do modelo conceitual foi realizada através do Teste de Turing com o encarregado da manutenção. Foram apresentadas duas planilhas: uma com os dados de tempo total de manutenção e tempo de serviço integrantes da amostra coletada (valores reais) e outra com os dados gerados pelo modelo computacional. Foi solicitado ao encarregado que buscasse distinguir entre as duas, o que não foi possível.

## 6.4 Resultados numéricos

Para os todos os cenários foram avaliados os comportamentos diante da demanda atual e de um aumento de atividades corretivas de 25%, 50% e 75%. O aumento da demanda foi proposto devido ao ciclo de vida dos equipamentos, que tendem a apresentar maior número de falhas com o passar do tempo. A simulação foi executada para um período de aquecimento de 280 dias, durante 7300 dias e realizando 1000 replicações. Os detalhes dos resultados registrados para cada viatura são apresentados no Apêndice A.

### 6.4.1 Resultados do Cenário 1

Os resultados do Cenário 1 podem ser observados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Resultados do Cenário 1

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	13,5234	16,5738	22,4065	38,1115
Tempo total das preventivas (dias)	12,5095	15,4658	21,2464	36,8411
Tempo total em processos corretivos (dias)	2,9192	2,9168	2,9201	2,9208
Tempo total em processos preventivos (dias)	4,4191	4,4196	4,4179	4,4187
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1,1741	1,1788	1,1705	1,1726
Temp na fila da oficina (dias)	7,6828	10,7833	16,7000	32,4058
Taxa de ocupação da equipe com atividades de manutenção	78,66%	81,66%	84,55%	87,34%
Taxa de ocupação da equipe com atividades externas	11,15%	11,11%	11,09%	11,17%
Taxa total de ocupação da equipe	89,81%	92,77%	95,64%	98,51%
Número total de viaturas no sistema	3,7102	4,7873	6,8345	12,3553
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	24,70%	33,49%	46,60%	67,06%

Para o Cenário 1, pode-se observar que os tempos totais de manutenção (preventiva e corretiva) são elevados já para a demanda atual, requerendo uma ação imediata para melhoria do processo. Sob um aumento de demanda, esses tempos tornam-se proibitivos. Como exposto anteriormente, deve haver no máximo cinco viaturas no sistema. Isso faz o Cenário 1 adequado para a demanda atual mas

inapropriado para qualquer aumento de demanda, uma vez que a probabilidade de haver mais de cinco viaturas no sistema varia entre 24,70% e 67,06%, conforme ilustrado na Figura 6.13. Também pode-se observar que a taxa de ocupação da equipe é bem próxima a 100% e não há margem para absorver eventos inesperados.

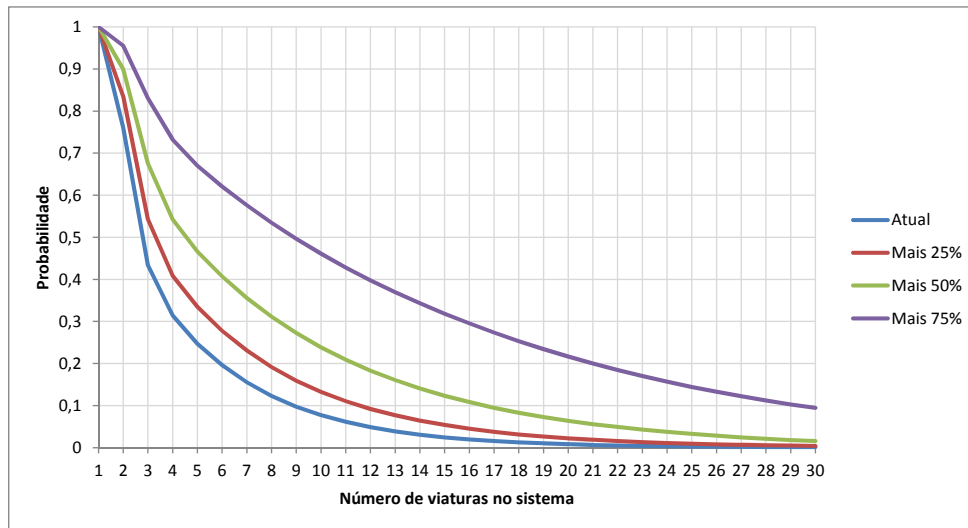


Figura 6.13: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 1

## 6.4.2 Resultados do Cenário 2

Os resultados do Cenário 2 podem ser observados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Resultados do Cenário 2

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	6,4163	6,5524	6,6784	6,8565
Tempo total das preventivas (dias)	13,8707	17,8786	24,9788	45,5517
Tempo total em processos corretivos (dias)	2,9162	2,9177	2,9195	2,9188
Tempo total em processos preventivos (dias)	4,4193	4,4203	4,4191	4,4201
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1,1734	1,174	1,178	1,1744
Temp na fila da oficina (dias)	6,2912	8,4062	12,272	22,7734
Taxa de ocupação da equipe com atividades de manutenção	77,87%	81,66%	84,54%	87,35%
Taxa de ocupação da equipe com atividades externas	11,99%	11,80%	11,85%	11,87%
Taxa total de ocupação da equipe	89,86%	93,46%	96,39%	99,22%
Número total de viaturas no sistema	3,3373	4,0873	5,5326	9,3018
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	21,77%	29,69%	41,71%	61,82%

Para o Cenário 2, o tempo total de manutenção corretiva é adequado devido a política de prioridade. No entanto, o tempo total de manutenção preventiva é alto para todas as demandas. Se considerarmos que não deve haver mais de 5 viaturas em reparo, podemos concluir que o Cenário 2 é adequado para a situação atual mas não resiste à qualquer aumento de demanda, uma vez que a probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema de manutenção é alta para qualquer demanda, variando

entre 21,77% e 61,82%, conforme ilustrado na Figura 6.14. A taxa de ocupação da equipe de manutenção está próxima à 100% e não há margem para absorver eventos imprevistos.

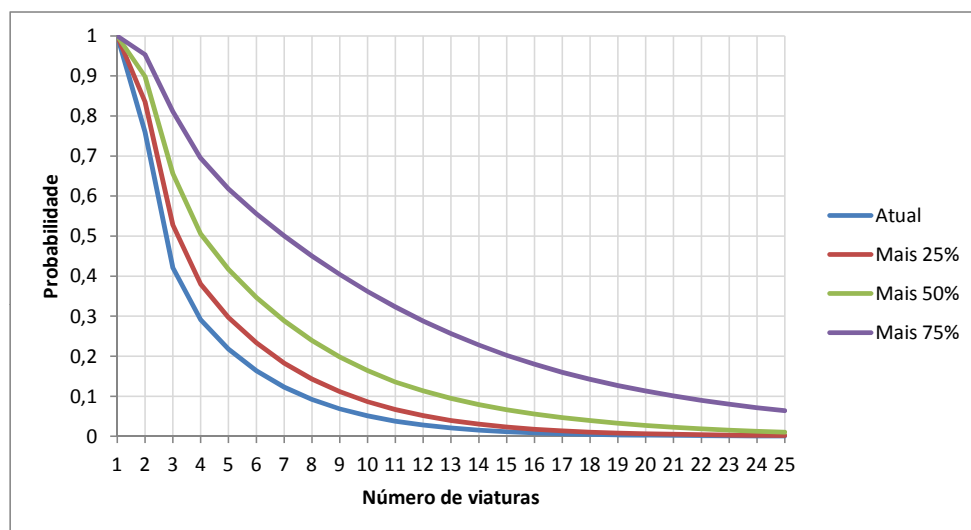


Figura 6.14: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 2

### 6.4.3 Resultados do Cenário 3

Os resultados do Cenário 3 podem ser observados na Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Resultados do Cenário 3

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	4,4012	4,4817	4,5602	4,6556
Tempo total das preventivas (dias)	8,1734	8,2582	8,2475	8,2271
Tempo total em processos corretivos (dias)	2,9149	2,9183	2,9165	2,9190
Tempo total em processos preventivos (dias)	4,4186	4,4186	4,4200	4,4172
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1,1519	1,1610	1,1586	1,1596
Tempo na fila da oficina para as corretivas (dias)	0,2273	0,2735	0,3167	0,3691
Tempo na fila da oficina para as preventivas (dias)	2,5823	2,6521	2,6474	2,6263
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe corretiva	12,00%	15,00%	17,99%	21,01%
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe preventiva	66,70%	66,68%	66,72%	66,69%
Taxa de ocupação com tarefas externas	11,06%	11,13%	11,15%	11,11%
Taxa de ocupação total da equipe corretiva	23,06%	26,13%	29,14%	31,12%
Taxa de ocupação total da equipe preventiva	77,76%	77,81%	77,87%	77,80%
Número total de viaturas no sistema	2,2293	2,3387	2,4251	2,5346
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	9,18%	9,89%	10,44%	11,06%

Para o Cenário 3 os tempos totais de manutenção (corretivas e preventivas) são adequados para todas as demandas. O número de viaturas dentro do sistema de



manutenção é melhor que nos Cenários 1 e 2. A probabilidade de haver pelo menos cinco viaturas no sistema é baixa para todas as demandas, variando entre 9,18% e 11,06%, conforme ilustrado na Figura 6.15. Pode-se observar que as taxas de ocupação são diferentes para cada equipe. A taxa de ocupação da equipe preventiva é adequada e ainda possui margem para absorver eventos imprevistos. No entanto, a taxa de ocupação da equipe corretiva é muito baixa, demonstrando que essa equipe é subempregada. Naturalmente tal situação é indicativo de que o referido cenário possui capacidade para aumento de demanda.

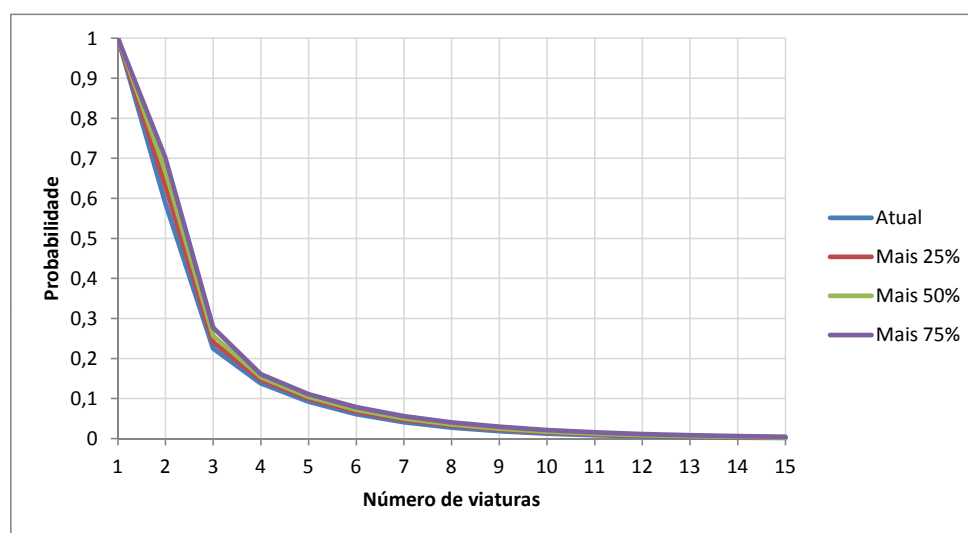


Figura 6.15: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 3

#### 6.4.4 Resultados do Cenário 4

Para o Cenário 4, os tempos totais de manutenção (preventivas e corretivas) são adequados para todas as demandas. O número de viaturas no sistema de manutenção é melhor que nos Cenários 1 e 2. A probabilidade de haver pelo menos cinco viaturas no sistema é baixa para todas as demandas, varianda entre 5,99% e 9,13%, conforme ilustrado na Figura 6.16. A taxa de ocupação das equipes de manutenção é melhor distribuída que no Cenário 3 e pode absorver aumentos de demanda superiores a 75%. Apesar da melhora de desempenho, a taxa de ocupação das equipes para a demanda atual é baixa, o que indica um subemprego da mão-de-obra, o que está em desacordo com o princípio da eficiência, tão discutido e exigido da administração pública. Os resultados do Cenário 4 podem ser observados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Resultados do Cenário 4

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	5,4137	5,4613	5,5209	5,6120
Tempo total das preventivas (dias)	6,6395	6,7521	6,8793	7,0464
Tempo total em processos corretivos (dias)	2,9183	2,9166	2,9180	2,9208
Tempo total em processos preventivos (dias)	4,4169	4,4200	4,4190	4,4174
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1,1583	1,1531	1,1506	1,1633
Tempo na fila da oficina para as corretivas (dias)	1,1107	1,1883	1,2867	1,3839
Tempo na fila da oficina para as preventivas (dias)	1,0939	1,1964	1,2794	1,3869
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe corretiva	39,36%	40,85%	42,41%	43,87%
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe preventiva	39,35%	40,86%	42,30%	43,83%
Taxa de ocupação com tarefas externas	11,15%	11,14%	11,07%	11,21%
Taxa de ocupação total da equipe corretiva	50,51%	51,99%	53,48%	55,08%
Taxa de ocupação total da equipe preventiva	50,50%	52,00%	53,37%	55,04%
Número total de viaturas no sistema	2,0242	2,1741	2,3133	2,4815
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	5,99%	7,02%	7,89%	9,13%

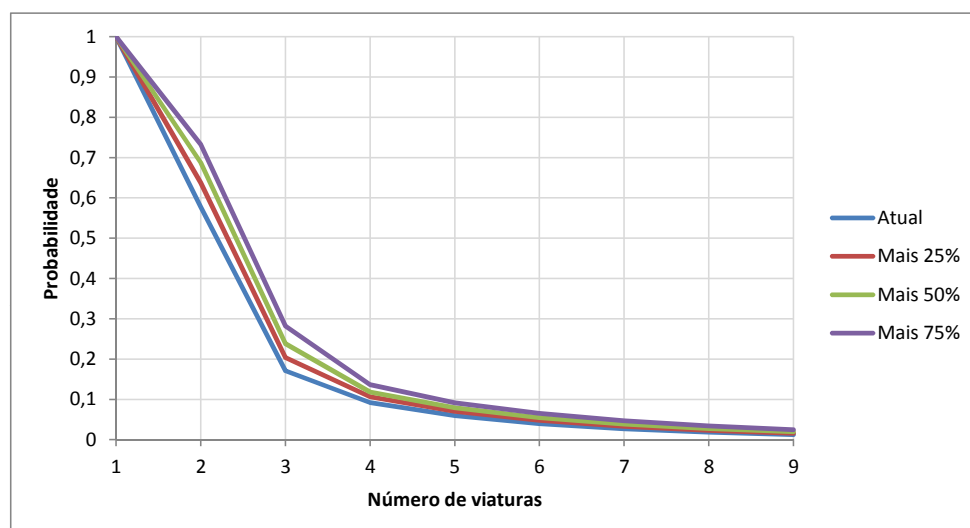


Figura 6.16: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 4

### 6.4.5 Resultados do Cenário 5

O Cenário 5 apresenta tempos de manutenção excelentes para todas as demandas. Nesse cenário, ao contrário do que ocorre com o Cenário 2, a política de prioridade para as manutenções corretivas não afeta significativamente as manutenções preventivas, que permanecem com bom desempenho. Isso ocorre devido ao trabalho do quarto mecânico que reduziu os tempos de manutenção. O número de viaturas em reparo está abaixo de três viaturas para todas as demandas e a probabilidade de haver pelo menos cinco viaturas em reparo no sistema varia entre 7,57% e 12,51%,

conforme ilustrado na Figura 6.17. A taxa de ocupação da equipe de manutenção é melhor que nos Cenários 3 e 4, indicando que o bom desempenho obtido não está baseado em um superdimensionamento da equipe. Apesar disso, a equipe de manutenção não está sobrecarregada como nos Cenários 1 e 2. Os resultados do Cenário 5 podem ser observados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Resultados do Cenário 5

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	5.0157	5.0862	5.1732	5.2675
Tempo total das preventivas (dias)	6.5596	6.9351	7.3888	7.8776
Tempo total em processos corretivos (dias)	2.5455	2.5418	2.5452	2.5423
Tempo total em processos preventivos (dias)	3.4159	3.4192	3.4192	3.4195
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1.0909	1.0926	1.0976	1.1042
Temp na fila da oficina (dias)	1.7882	1.9969	2.2292	2.4604
Taxa de ocupação da equipe com atividades de manutenção	59.02%	61.28%	63.54%	65.80%
Taxa de ocupação da equipe com atividades externas	11.12%	11.11%	11.14%	11.13%
Taxa total de ocupação da equipe	70.14%	72.39%	74.58%	76.93%
Número total de viaturas no sistema	2.0188	2.1942	2.3928	2.5843
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	7.57%	9.03%	10.86%	12.51%

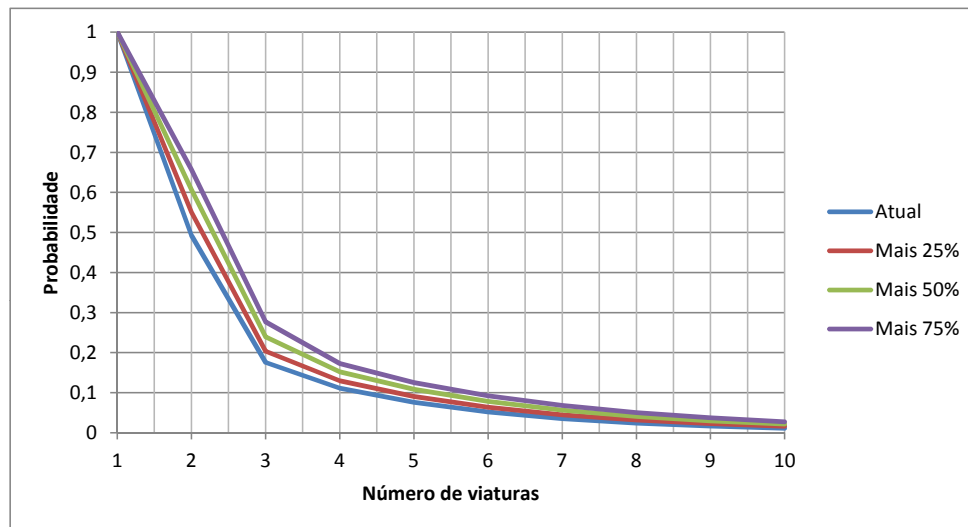


Figura 6.17: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 5

### 6.4.6 Resultados do Cenário 6

Para o Cenário 6, os tempos totais de manutenção (preventivas e corretivas) são adequados para todas as demandas, assim como o número de viaturas no sistema. Da mesma forma, a probabilidade de haver pelo menos cinco viaturas em manutenção é baixa, variando entre 9,63% e 12,40%. A taxa de ocupação da equipe preventiva é satisfatória e possui margem para absorver eventos imprevistos, no entanto a taxa

de ocupação da equipe preventiva é baixa, indicando subemprego da mão-de-obra. Apesar disso, as taxas de ocupação são melhores que no Cenário 3. Os resultados do Cenário 6 podem ser observados na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Resultados do Cenário 6

Parâmetros	Demanda Corretiva			
	Atual	Mais 25%	Mais 50%	Mais 75%
Tempo total das corretivas (dias)	5,2720	5,3933	5,5330	5,7353
Tempo total das preventivas (dias)	8,2819	8,3107	8,3330	8,4418
Tempo total em processos corretivos (dias)	3,6659	3,6689	3,6663	3,6649
Tempo total em processos preventivos (dias)	4,4221	4,4267	4,4370	4,4494
Tempo esperando os mecânicos retornarem de atividade externa (dias)	1,1681	1,1712	1,1705	1,1858
Tempo na fila da oficina para as corretivas (dias)	0,3260	0,4167	0,5260	0,6732
Tempo na fila da oficina para as preventivas (dias)	2,6708	2,6879	2,7021	2,7827
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe corretiva	18,01%	22,50%	27,02%	31,47%
Taxa de ocupação com tarefas de manutenção - equipe preventiva	66,75%	66,84%	67,00%	67,23%
Taxa de ocupação com tarefas externas	11,14%	11,16%	11,08%	11,20%
Taxa de ocupação total da equipe corretiva	29,15%	33,66%	38,10%	42,67%
Taxa de ocupação total da equipe preventiva	77,89%	78,00%	78,08%	78,43%
Número total de viaturas no sistema	2,2958	2,4173	2,5536	2,7094
Probabilidade de haver mais de 5 viaturas no sistema	9,63%	10,38%	11,32%	12,40%

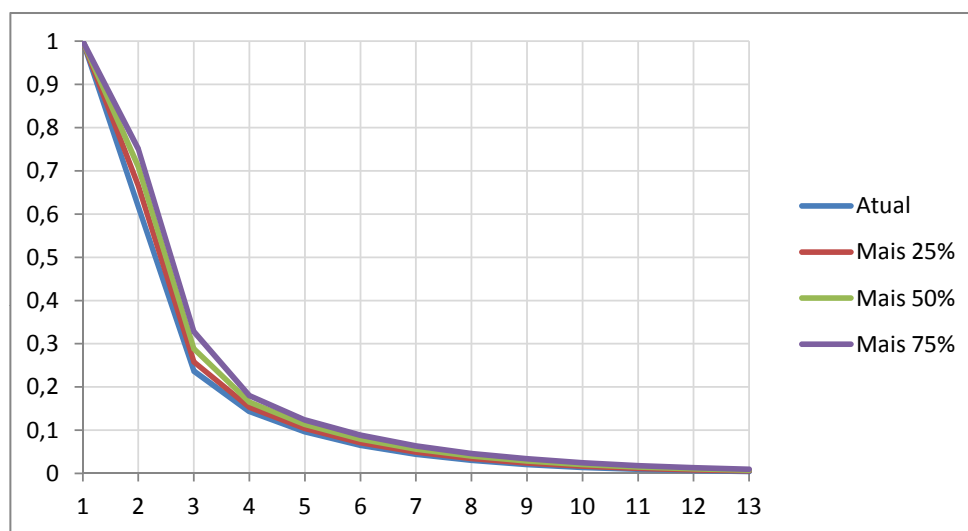


Figura 6.18: Probabilidade de haver pelo menos n viaturas no sistema sob o Cenário 6

### 6.4.7 Comparação dos cenários

Os resultados de cada cenário podem ser melhor compreendidos quando os indicadores de performance são comparados em todos os cenários. A Figura 6.19 demonstra a o tempo médio das manutenções corretivas. É evidente que apenas o Cenário 1 apresenta uma performance insatisfatória.

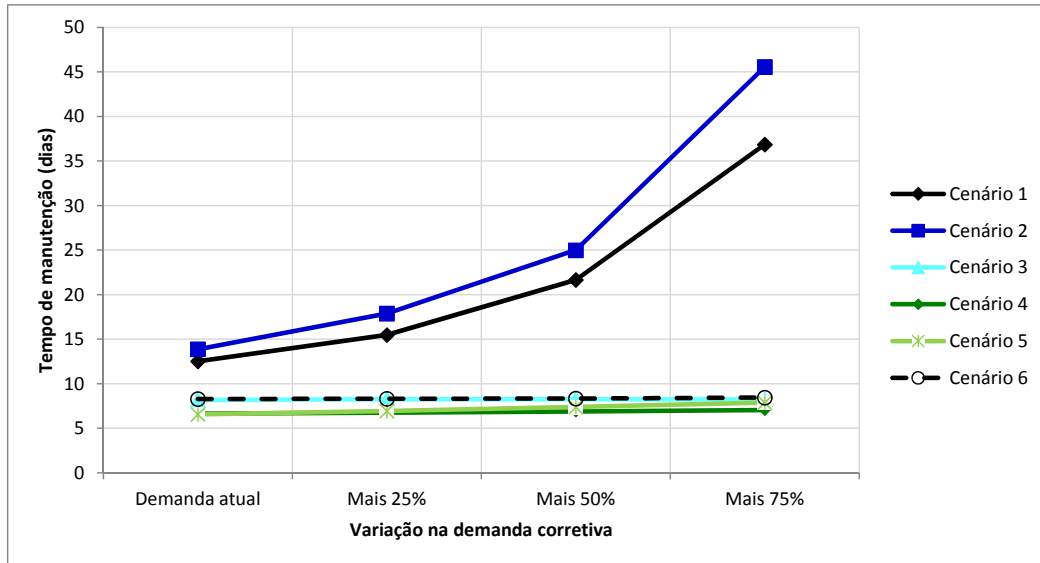


Figura 6.19: Tempo médio de manutenção corretiva para cada cenário.

A Figura 6.20 demonstra o tempo médio das manutenções preventivas, insatisfatório para os Cenários 1 e 2 para demandas maiores ou iguais a 25%.

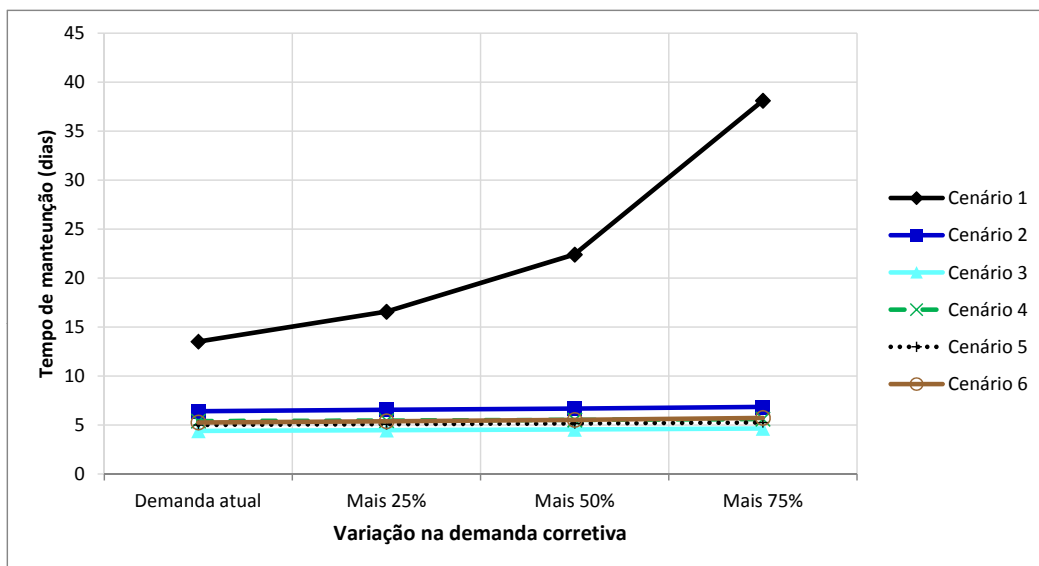


Figura 6.20: Tempo médio de manutenção preventiva para cada cenário.

A Figura 6.21 apresenta o número médio de viaturas no sistema. Os Cenários 1 e 2 apresentam performances insatisfatórias a partir do aumento de 50% na demanda, quando haverá mais de cinco viaturas no sistema).

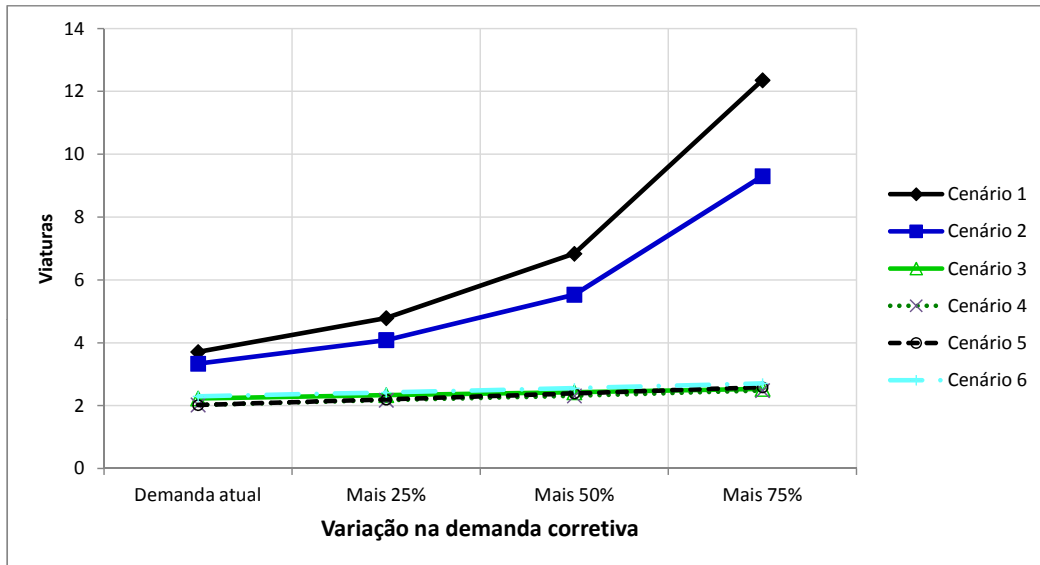


Figura 6.21: Número médio de viaturas no sistema para cada cenário.

A Figura 6.22 apresenta a taxa média de ocupação das equipes de manutenção. Os Cenários 3, 4 e 6 apresentam baixas taxas para pelo menos uma das equipes. Desta forma esses três cenários não são adequados.

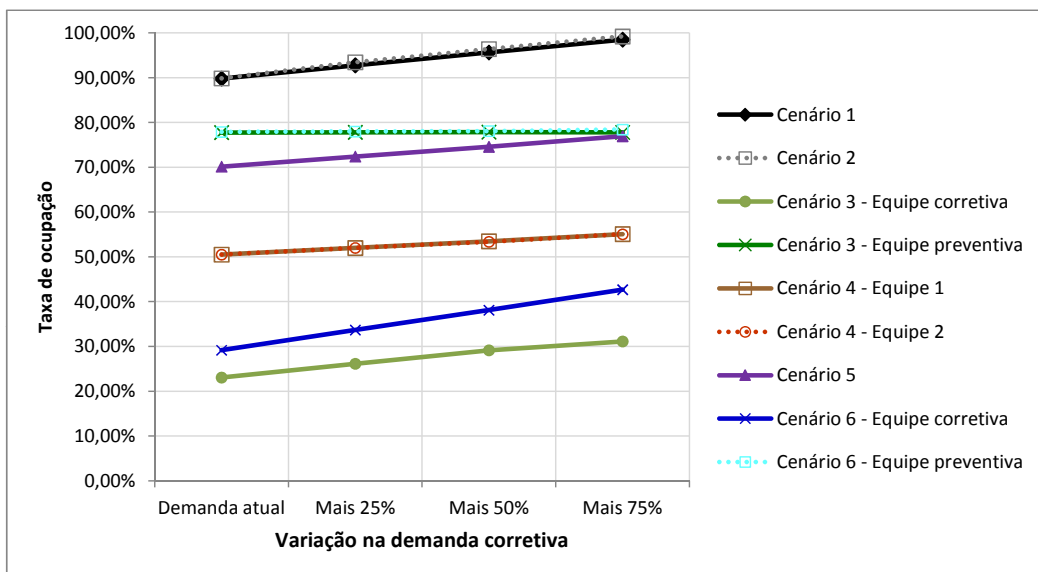


Figura 6.22: Taxas de ocupação das equipes para cada cenário.

Baseado nesses resultados, pode-se concluir que o Cenário 5 apresenta a melhor combinação de tempos de manutenção reduzidos, baixo número de viaturas no sistema e boa taxa de ocupação dos mecânicos. Além disso, sua performance é adequada para a demanda atual e para aumentos de até 75% na demanda de manutenções corretivas.

Quando simulados aumentos de demanda superiores aos analisados anteriormente, percebe-se uma saturação do Cenário 5 quando o aumento da demanda corretiva chega a 150%, uma vez que os tempos totais das manutenções corretivas atingem valores elevados. A partir desse dado, pode-se planejar a estrutura de manutenção das viaturas PIRANHA a longo prazo monitorando o aumento da demanda. A configuração observada no Cenário 5 pode ser empregada até que o aumento da demanda seja próximo ao limite de mais 150%. A partir desse momento a estrutura de manutenção a ser adotada deve ser a descrita no Cenário 6. Os resultados para ambos os Cenários para elevados percentuais de aumento da demanda são apresentados nas Tabelas 6.12 and 6.13.

Tabela 6.12: Cenário 5 sob aumentos de demanda superiores a mais 75%.

<b>Parâmetros</b>	<b>Mais 100%</b>	<b>Mais 125%</b>	<b>Mais 150%</b>
Tempo total das manutenções corretivas (dias)	5,3173	5,4596	5,6029
Tempo total das manutenções preventivas (dias)	8,3947	9,2330	10,3579
Número total de viaturas no sistema	2,8087	3,0457	3,3907
Taxa total de ocupação	79,02%	81,35%	83,65%

Tabela 6.13: Cenário 6 sob aumentos de demanda superiores a mais 75%.

<b>Parâmetros</b>	<b>Mais 100%</b>	<b>Mais 125%</b>	<b>Mais 150%</b>
Tempo total das manutenções corretivas (dias)	5,8986	6,1553	6,4400
Tempo total das manutenções preventivas (dias)	8,4864	8,6988	8,9930
Número total de viaturas no sistema	2,8754	3,1101	3,3582
Taxa total de ocupação para a equipe corretiva	46,96%	51,36%	55,73%
Taxa total de ocupação para a equipe preventiva	78,69%	79,17%	79,84%

# Capítulo 7

## Conclusões

Este trabalho busca resolver o problema de avaliação das equipes de manutenção das viaturas blindadas PIRANHA empregadas pelo Corpo de Fuzileiros Navais. A configuração atual, bem como as demais configurações propostas, foram analisadas no que diz respeito aos indicadores de performance fundamentais, sendo seus resultados confrontados com os níveis desejados em termos de viaturas disponíveis para as Operações de Fuzileiros Navais.

Através de simulação de eventos discretos, foram comparadas as performances de diferentes cenários sob diferentes demandas. Esta flexibilidade é fundamental para apoiar o tomador de decisão, que deve analisar a situação atual mas também deve prever as variações que ocorrem ao longo do tempo. Um cenário pode ser adequado para a situação atual mas pode ser incapaz de resistir a uma leve variação de parâmetros (que pode estar bem próximo de acontecer). Nesse processo de análise, o Cenário 5 se apresenta como a melhor configuração para o momento atual e para um futuro próximo, sendo capaz de absorver aumentos de até mais 150% na demanda corretiva. Desse ponto em diante, o Cenário 6 se torna mais conveniente.

Conforme empregada neste trabalho, a técnica de simulação pode ser utilizada não só para dimensionar equipes de manutenção de qualquer equipamento como também outras estruturas para prestação de serviços e fabricação de componentes dentro da Forças Armadas. Há diversas possibilidades de aplicações no setor hospitalar, nos restaurantes das Organizações Militares, nos postos de distribuição de uniformes e também nas análises de tempos de respostas em circuitos de ambulâncias. No entanto, não é a única técnica disponível. Existem aplicações que utilizam técnicas como otimização, análise envoltória de dados e análise multiatributo. O principal ponto não é a técnica utilizada, mas sim o desenvolvimento de uma nova cultura organizacional e o estabelecimento de um procedimento específico menos sensível a análises subjetivas.

Como trabalhos futuros, é possível imaginar estudos no sentido de verificar os



sobressalentes mais utilizados de modo a orientar o processo de aquisição. Também podem ser desenvolvidas pesquisas no sentido de prever o tamanho ideal da frota ao longo do tempo através de processos como Cadeias de Markov.

# Referências Bibliográficas

- [1] BRASIL. *Estratégia Nacional de Defesa*. Brasília, DF, 2008.
- [2] MOWAG. *Manual do Operador da Viatura Blindada PIRANHA IIIC BR*. Kreuzlingen, CH, 2007.
- [3] DEKKER, R. “Maintenance and reliability Applications of maintenance optimization models: A review and analysis”, *Reliability Engineering & System Safety*, v. 51, n. 3, pp. 229 – 240, 1996. doi: 10.1016/0951-8320(95)00076-3.
- [4] ALRABGHI, A., TIWARI, A. “State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems”, *Comput. Ind. Eng.*, v. 82, pp. 167–182, 2015.
- [5] JIN, T., TIAN, Z., XIE, M. “A game-theoretical approach for optimizing maintenance, spares and service capacity in performance contracting”, *Int. J. Prod. Econ.*, v. 161, pp. 31–43, 2015.
- [6] PHAM, H., WANG, H. “Imperfect maintenance”, *Eur. J. Oper. Res.*, v. 94, n. 3, pp. 425–438, nov. 1996.
- [7] ANTONIOL, G., CASAZZA, G., LUCCA, G. A. D., et al. “A queue theory-based approach to staff software maintenance centers”. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Software Maintenance, ICSM*, pp. 510–519, Florence, 2001.
- [8] ZIO, E., COMPARE, M. “Evaluating maintenance policies by quantitative modeling and analysis”, *Reliability Engineering & System Safety*, v. 109, pp. 53 – 65, 2013. doi: 10.1016/j.ress.2012.08.002.
- [9] REZG, N., XIE, X., MATI, Y. “Joint optimization of preventive maintenance and inventory control in a production line using simulation”, *Int. J. Prod. Res.*, v. 42, n. 10, pp. 2029–2046, 2004.
- [10] IGHRAVWE, D., A. OKE, S. “A non-zero integer non-linear programming model for maintenance workforce sizing”, *Int. J. Prod. Econ.*, v. 150, pp. 204–214, 2014.

- [11] KRUGER, P. “The art of simulation modelling”, *South African J. Ind. Eng.*, v. 14, pp. 39–49, 2003.
- [12] ALRABGHI, A., TIWARI, A. “A review of simulation-based optimisation in maintenance operations”. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, pp. 353–358, Cambridge, 2013.
- [13] WALES, J., MARINOV, M. “Analysis of delays and delay mitigation on a metropolitan rail network using event based simulation”, *Simul. Model. Pract. Theory*, v. 52, pp. 52–77, 2015.
- [14] SARKER, R., HAQUE, A. “Optimization of maintenance and spare provisioning policy using simulation”, *Appl. Math. Model.*, v. 24, pp. 751–760, 2000.
- [15] FONSECA I CASAS, P., CASANOVAS, J., FERRAN, X. “Passenger flow simulation in a hub airport: an application to the Barcelona international airport”, *Simul. Model. Pract. Theory*, v. 44, pp. 78–94, 2014.
- [16] SUN, S. “Assessing joint maintenance shops in the Taiwanese Army using data envelopment analysis”, *J. Oper. Manag.*, v. 22, pp. 233–245, 2004.
- [17] ZHANG, R., GHANMI, A. *Detailed maintenance planning for military systems with random lead times and cannibalization*. Relatório Técnico DRDC-RDDC-2014-R165, Defence R&D Canada - CORA, 12 2014. Disponível em: <<http://publications.gc.ca/pub?id=9.807423&sl=0>>.
- [18] YILDIRIM, U., TANSEL, B., SABUNCUOGLU, I. “A multi-modal discrete-event simulation model for military deployment”, *Simul. Model. Pract. Theory*, v. 17, pp. 597–611, 2009.
- [19] BOUKHTOUTA, A., GHANMI, A. “A simulation study of operational availability of Canadian Armed Forces equipment under different maintenance regimes”. In: *Proceedings of the International Conference on Analytics Driven Solutions*, pp. 183–188, Cambridge, set. 2014.
- [20] COLLAZO, R. A., DE OLIVEIRA, M. J. F., PESSÔA, L. A. M., et al. “Simulação orientada ao cliente: distribuição de medicamentos do Hospital Naval Marcílio Dias”. In: *Anais do XLI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, pp. 1490–1502, Porto Seguro, sep 2009.
- [21] PRAIA, C. R., GOMES, C. F. S. “Modelo de simulação para o dimensionamento de profissionais de um centro de compras”. In: *Anais do XLVII*

*Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, pp. 3200–3211, Porto de Galinhas, sep 2015.

- [22] PASTORE, P. F., GUIMARÃES, A. M. C., DIALLO, M. “Simulação computacional aplicada à logística de distribuição de uniformes da Marinha do Brasil”. In: *Anais do XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, São Carlos, sep 2010.
- [23] YONG, Z., HONGWEI, Y., SHENGFENG, W. “Modeling and simulation research on the maintenance system of armored equipment”, *Adv. Mater. Res.*, v. 383–390, pp. 7265–7269, 2012.
- [24] MATTILA, V., VIRTANEN, K., RAIVIO, T. “Improving maintenance decision making in the Finnish Air Force through simulation”, *Interfaces*, v. 38, n. 3, pp. 187–201, 2008.
- [25] PALL, R. *On the availability of the CH149 Cormorant fleet in an ideal sparring situation*. Relatório Técnico DRDC CORA TM 2008-11, Defence R&D Canada - CORA, 06 2008. Disponível em: <<http://cradpdf.drdc.gc.ca/PDFS/unc74/p529792.pdf>>.
- [26] MARLOW, D., NOVAK, A. “Using discrete-event simulation to predict the size of a fleet of naval combat helicopters”. In: *Proceedings of the 20th International Congress on Modelling and Simulation*, pp. 1117–1123, Adelaide, dez. 2013.
- [27] MACKENZIE, A., MILLER, J., HILL, R., et al. “Application of agent based modelling to aircraft maintenance manning and sortie generation”, *Simul. Model. Pract. Theory*, v. 20, pp. 89–98, 2012.
- [28] CARVALHO, F. B., ALEXANDRINO, F. Q. L., ARRUDA, E. F., et al. “Simulação computacional na análise da manutenção das viaturas blindadas PIRANHA do Corpo de Fuzileiros Navais”. In: *Anais do XLVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Vitória, sep 2016.
- [29] TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional*. 8 ed. São Paulo, Pearson, 2008.
- [30] HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. *Introdução a pesquisa operacional*. 8 ed. São Paulo, McGraw-Hill, 2006.
- [31] CHWIF, L., MEDINA, A. *Modeling and discrete event simulation: Theory & applications (In Portuguese: Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações)*. 4 ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

- [32] WASSERMAN, L. *All of statistics: a concise course in statistical inferences*. New york, Springer, 2004.
- [33] NAVIDI, W. *Statistics for Engineers and Scientists*. 3 ed. New york, McGraw-Hill, 2011.
- [34] LITTLE, J. D. C., GRAVES, S. C. “Little’s law”. In: Chhajed, D., Lowe, T. J. (Eds.), *Building intuition: insights from basic operations management models and principles*, 1 ed., cap. 5, New York, USA, Springer, 1998.
- [35] KELTON, W. D., SADOWSKI, R. P., SADOWSKI, D. A. *Simulation with Arena*. 2 ed. Boston, McGraw-Hill, 2007.
- [36] VINCENT, S. “Input data analysis”. In: Banks, J. (Ed.), *Handbook of Simulation*, 1 ed., cap. 3, Atlanta, USA, John Wiley and Sons, 1998.
- [37] PAUL, R. “Activity cycle diagrams and the three phase method”. In: *Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference*, pp. 123–131, Los Angeles, dez. 1993.
- [38] SARGENT, R. G. “Validation and verification of simulation models”. In: *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference*, pp. 17–28, Washington, dez. 2004.
- [39] KLEIJNEN, J. P. C. “Verification and validation of simulation models”, *Eur. J. Oper. Res.*, v. 82, pp. 145 – 162, 1995.
- [40] PESSOA, L. A. M., LINS, M. P. E., SILVA, A. C. M., et al. “Integrating soft and hard operational research to improve surgical centre management at a university hospital”, *Eur. J. Oper. Res.*, v. 245, pp. 851–861, 2015.

# Apêndice A

## Dados de cada viatura no sistema

### A.1 Cenário 1

Para a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 13,5234 dias e é ilustrado na Figura A.1. 29,56% das amostras estão acima da média.

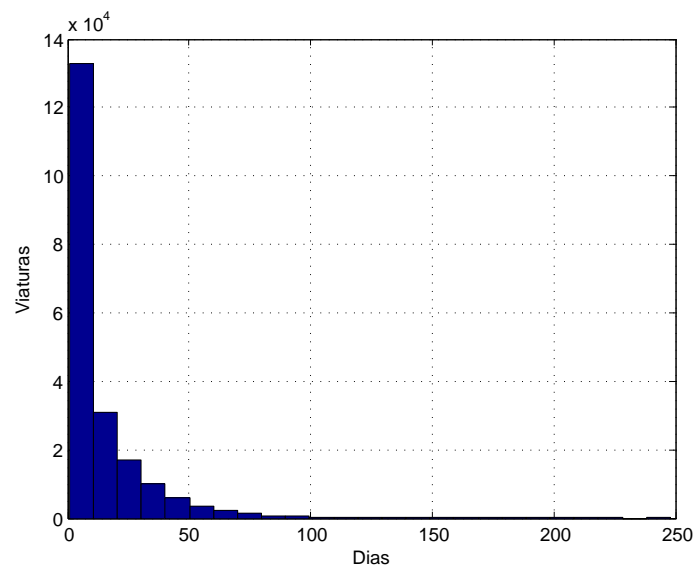


Figura A.1: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 16,5738 dias e é ilustrado na Figura A.2. 31,83% das amostras estão acima da média.

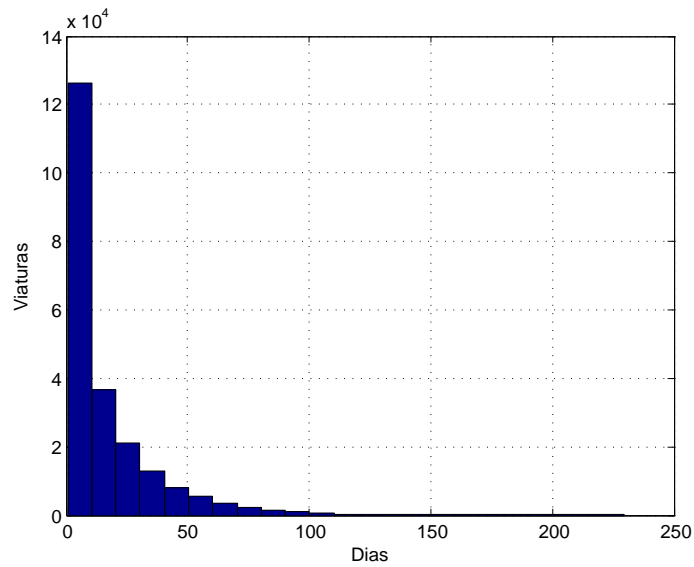


Figura A.2: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 22,4065 dias e é ilustrado na Figura A.3. 33,92% das amostras estão acima da média.

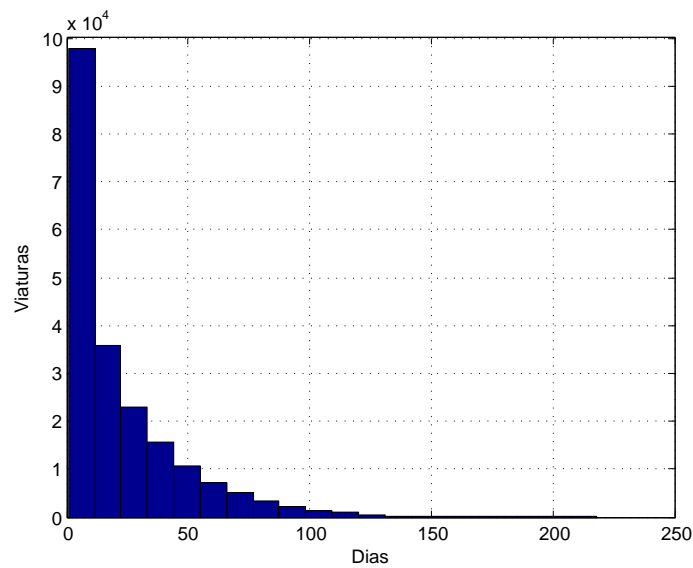


Figura A.3: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 38,1115 dias e é ilustrado na Figura A.4. 36,90% das amostras estão acima da média.

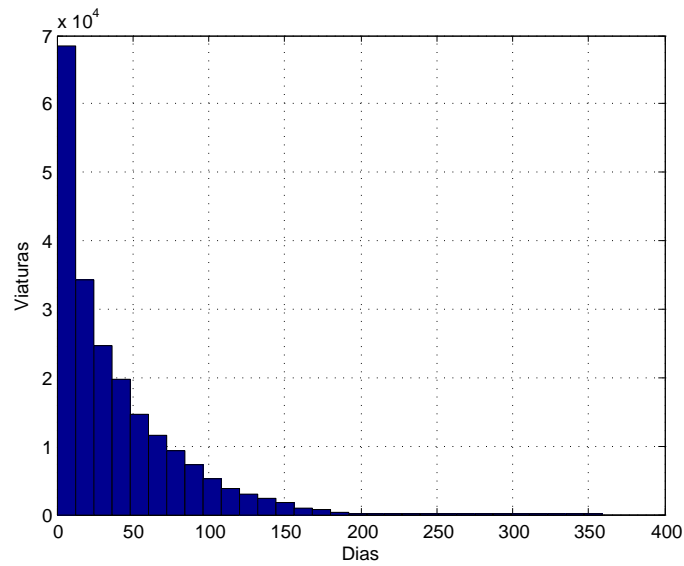


Figura A.4: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 1

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 12,5095 dias e é ilustrado na Figura A.5. 29,67% das amostras estão acima da média.

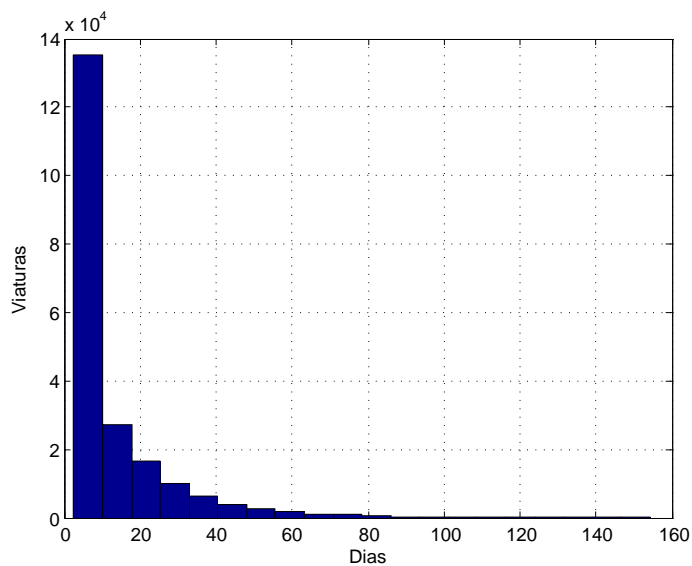


Figura A.5: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 15,4658 dias e é ilustrado na Figura A.6. 31,65% das amostras estão acima da média.



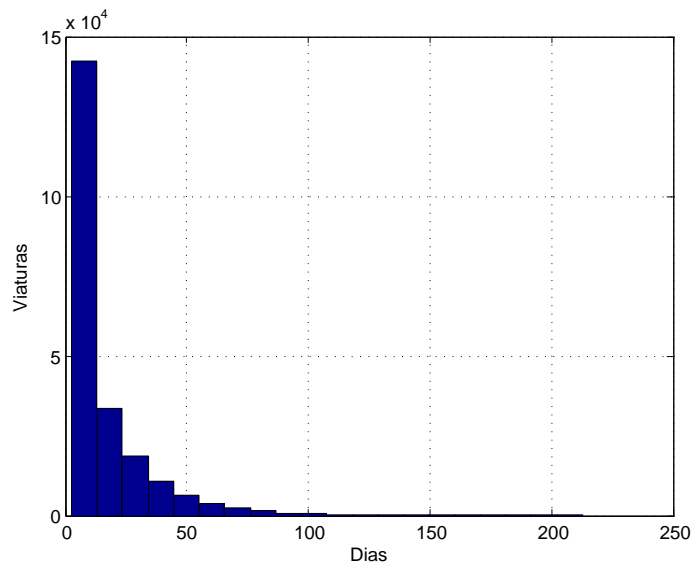


Figura A.6: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 21,2464 dias e é ilustrado na Figura A.7. 33,47% das amostras estão acima da média.

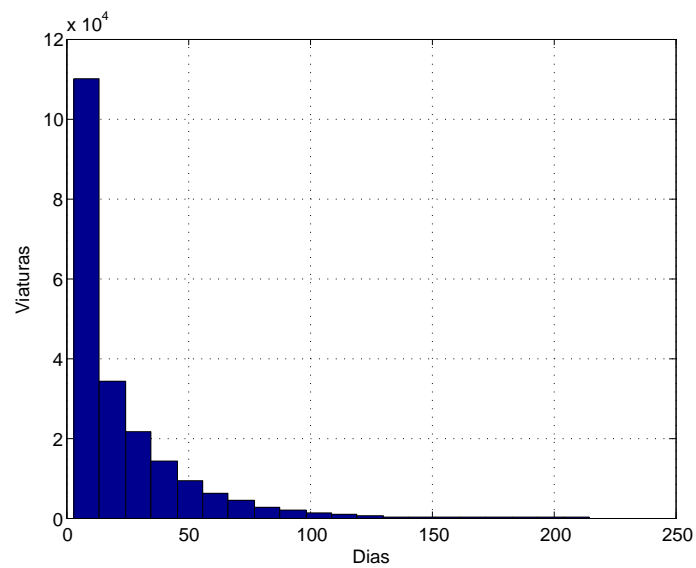


Figura A.7: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 36,8411 dias e é ilustrado na Figura A.8. 36,52% das amostras estão acima da média.

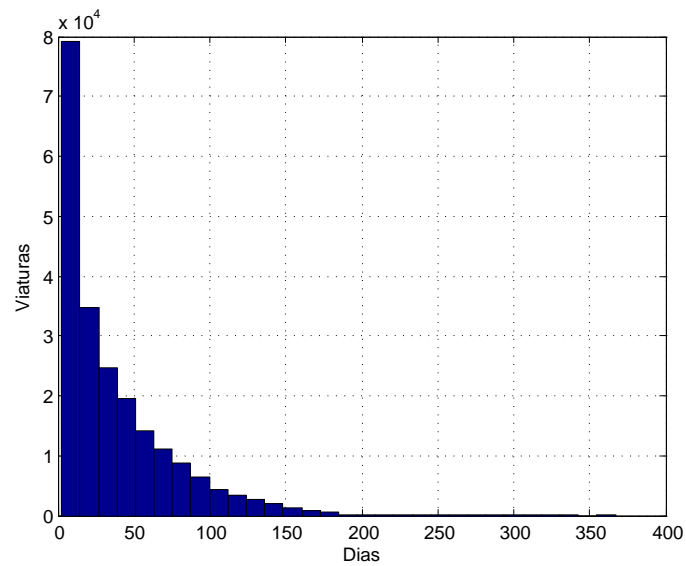


Figura A.8: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 1

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 3,7102 viaturas e é ilustrado na Figura A.9. 31,40% das amostras estão acima da média.

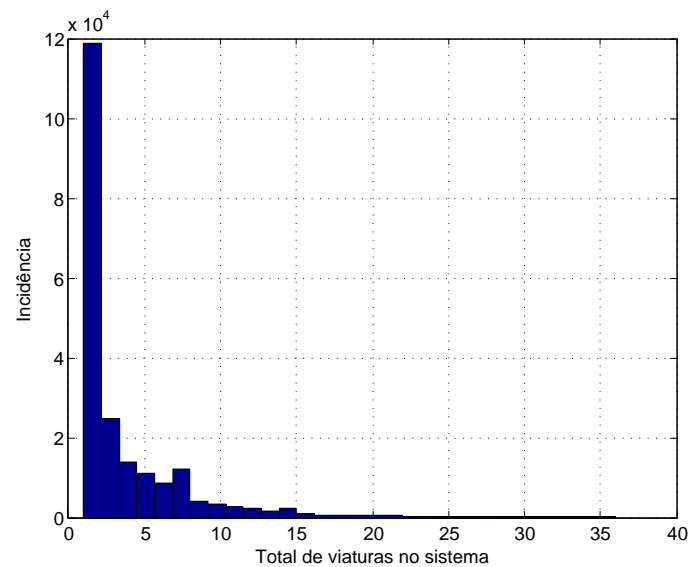


Figura A.9: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 1

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 4,7873 viaturas e é ilustrado na Figura A.10. 33,49% das amostras estão acima da média.

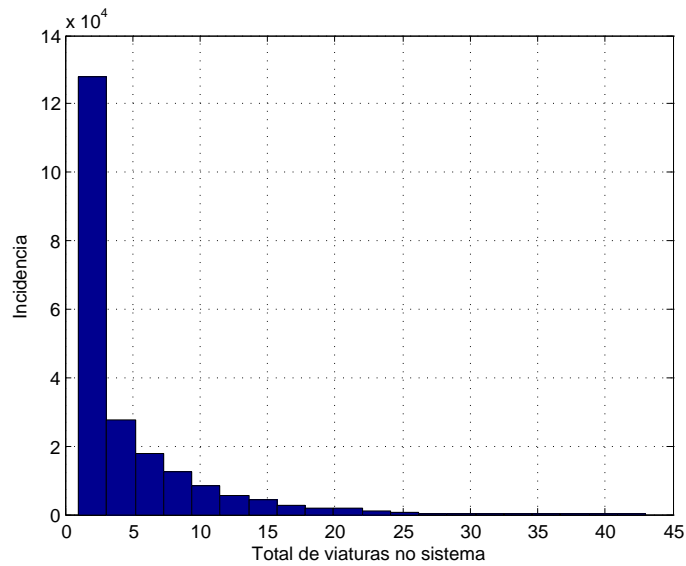


Figura A.10: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 1

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 6,8345 viaturas e é ilustrado na Figura A.11. 35,58% das amostras estão acima da média.

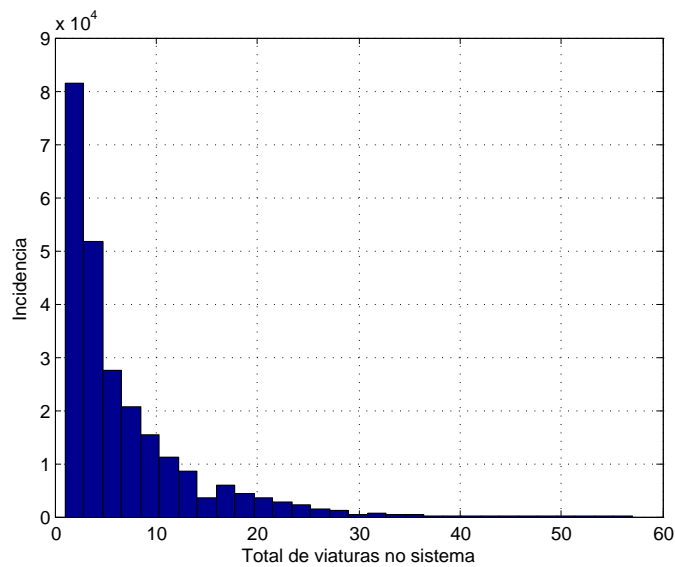


Figura A.11: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 1

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 12,3553 viaturas e é ilustrado na Figura A.12. 36,95% das amostras estão acima da média.

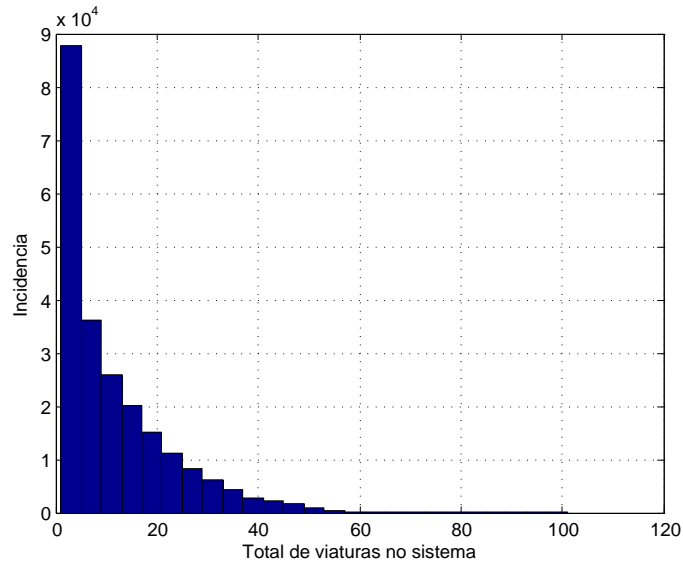


Figura A.12: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 1

## A.2 Cenário 2

Para a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 6,4163 dias e curva conforme a Figura A.13. 28,08% das amostras estão acima da média.

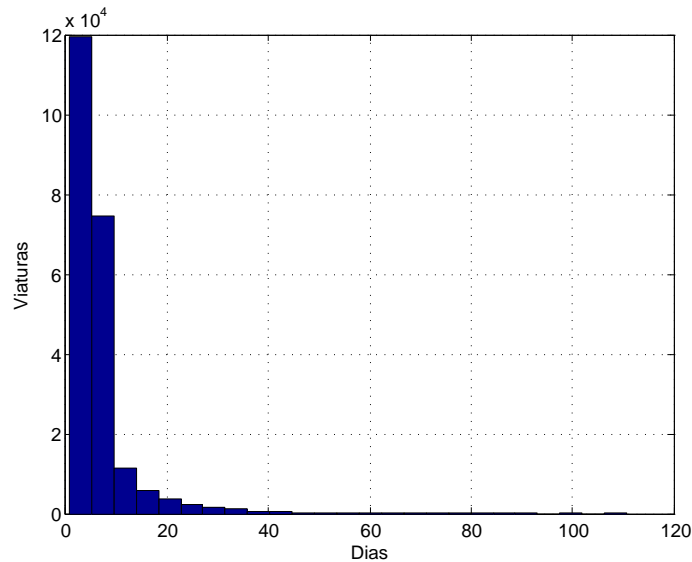


Figura A.13: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 6,5524 dias e curva conforme a Figura A.14. 27,70% das amostras estão acima da média.

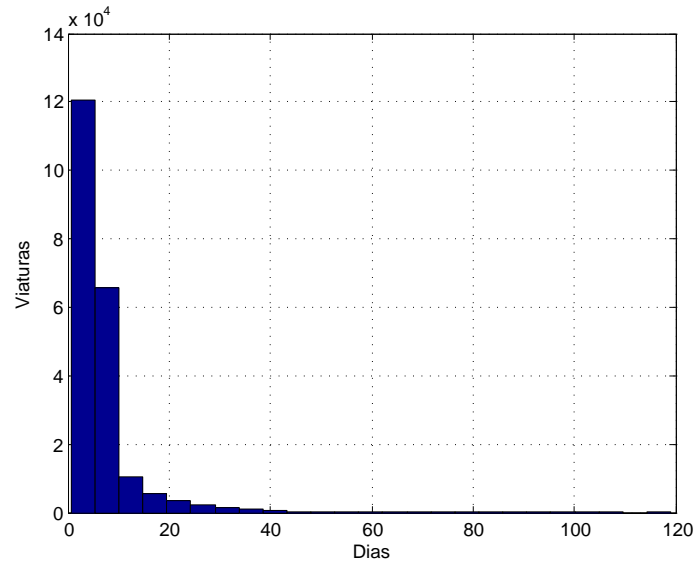


Figura A.14: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 6,6784 dias e curva conforme a Figura A.15. 27,37% das amostras estão acima da média.

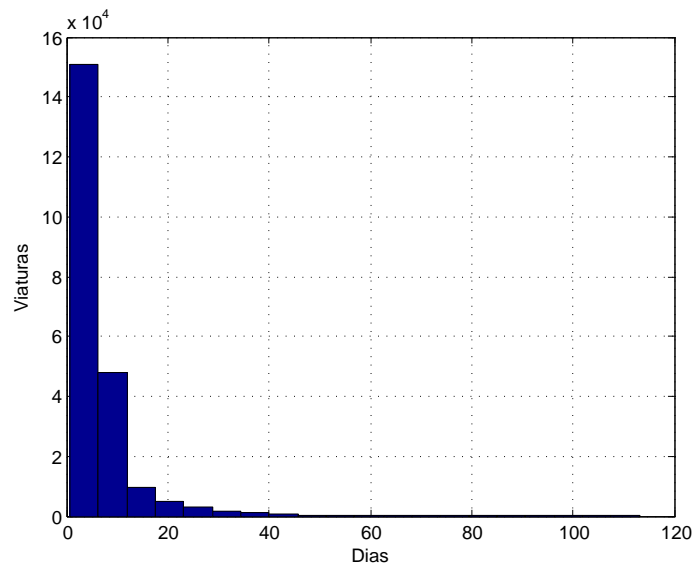


Figura A.15: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 6,8565 dias e curva conforme a Figura A.16. 26,86% das amostras estão acima da média.

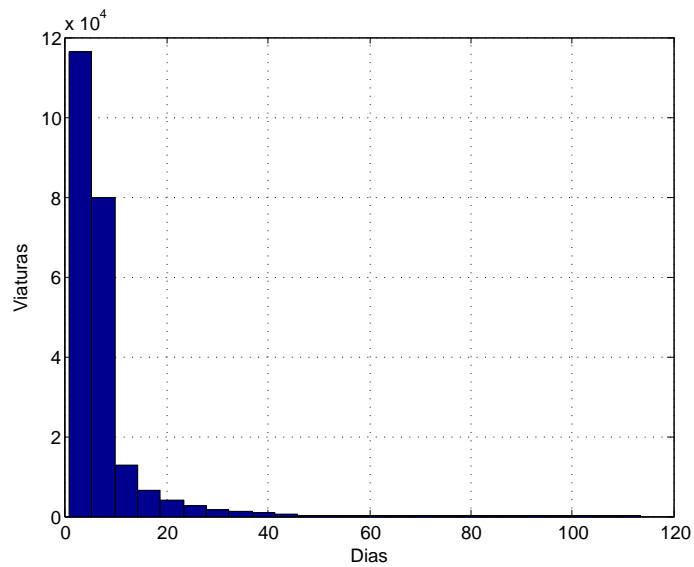


Figura A.16: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 2

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 13,8707 dias e curva conforme a Figura A.17. 29,36% das amostras estão acima da média.

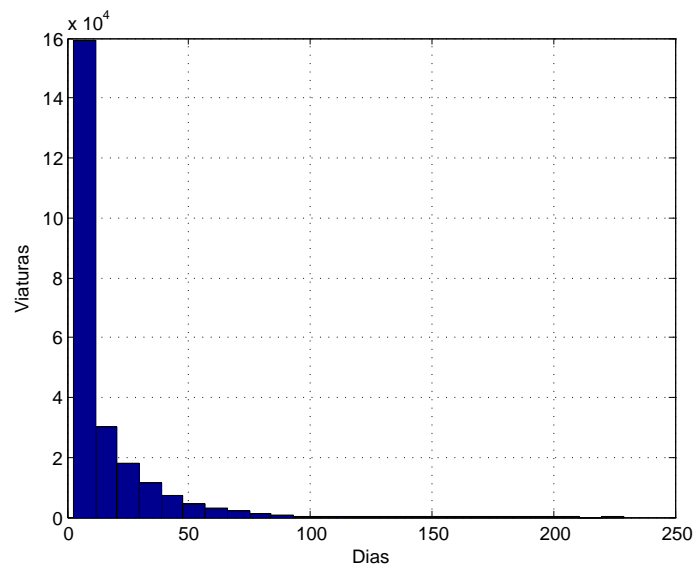


Figura A.17: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 17,8786 dias e curva conforme a Figura A.18. 31,58% das amostras estão acima da média.

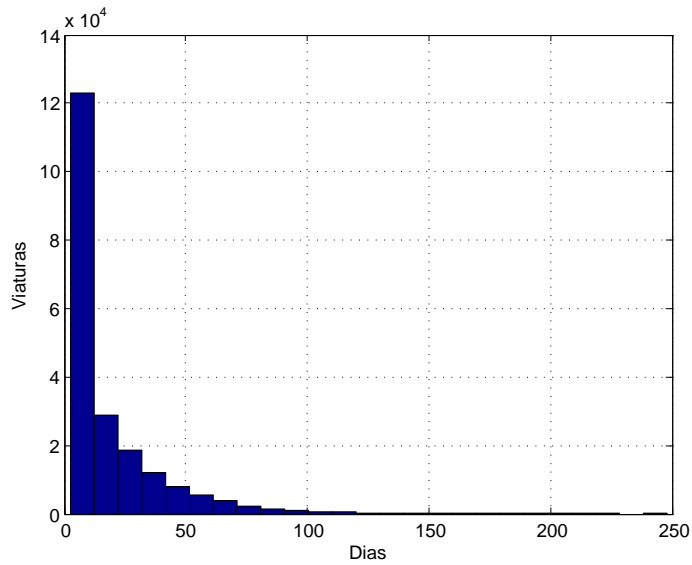


Figura A.18: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 24,9788 dias e curva conforme a Figura A.19. 33,21% das amostras estão acima da média.

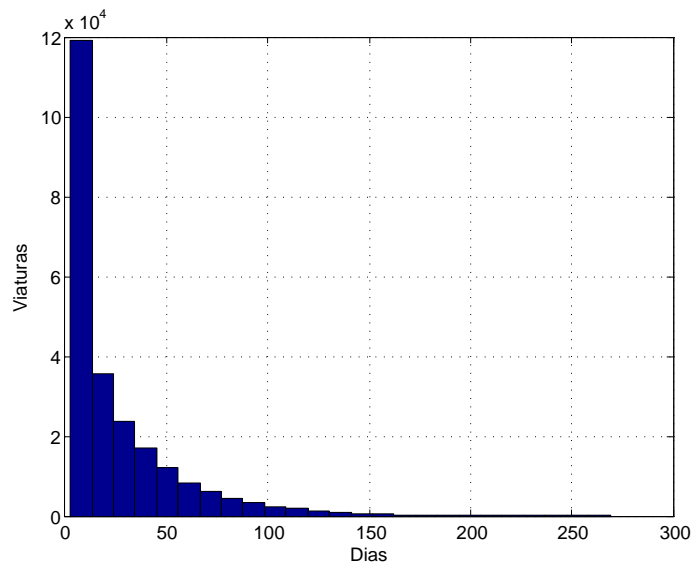


Figura A.19: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 45,5517 dias e curva conforme a Figura A.20. 36,21% das amostras estão acima da média.

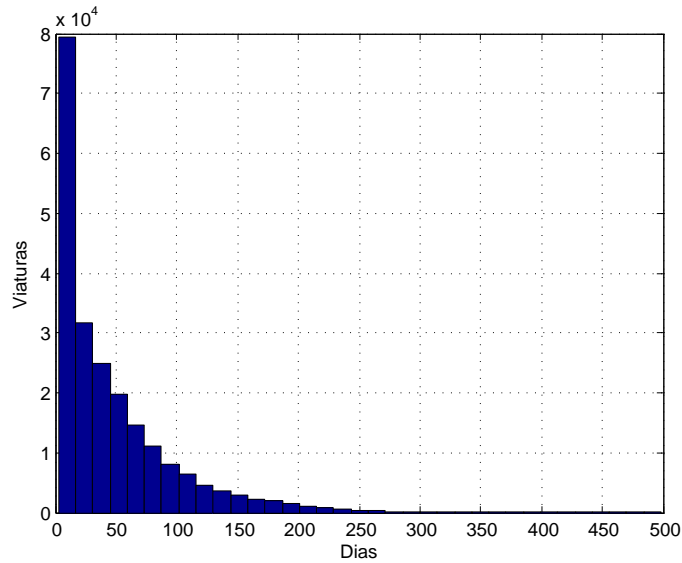


Figura A.20: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 2

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 3,34 viaturas e curva conforme a Figura A.21. 29,13% das amostras estão acima da média.

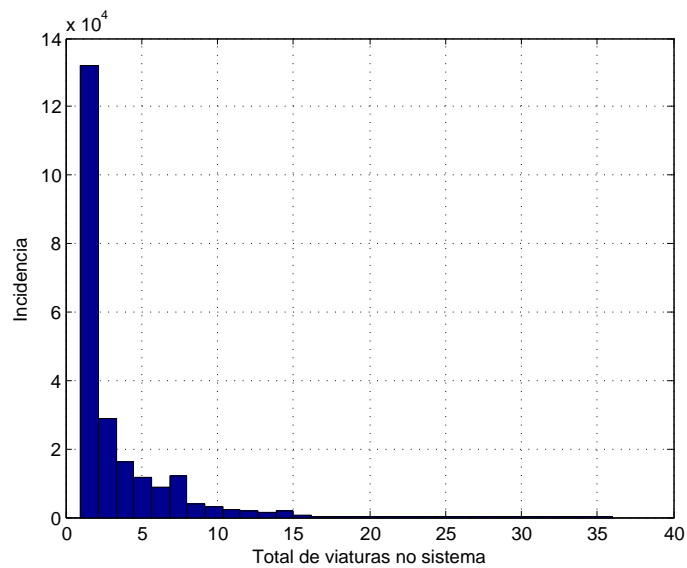


Figura A.21: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 2

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 4,09 viaturas e curva conforme a Figura A.22. 29,69% das amostras estão acima da média.



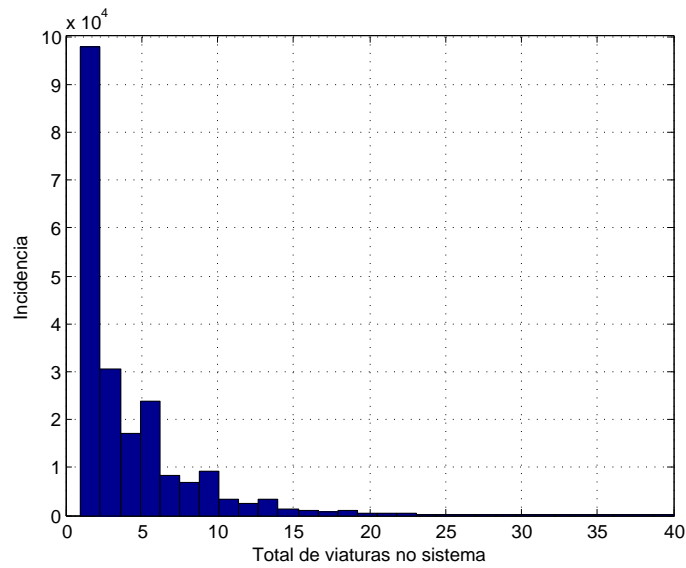


Figura A.22: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 2

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 5,53 viaturas e curva conforme a Figura A.23. 34,67% das amostras estão acima da média.

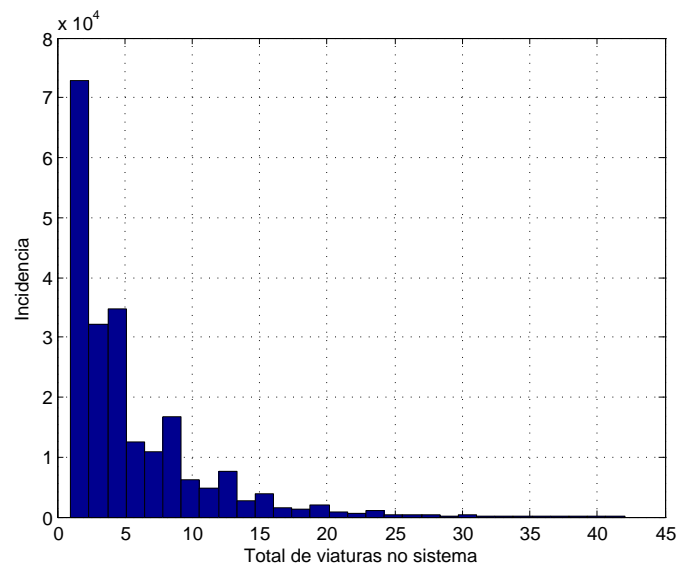


Figura A.23: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 2

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 9,30 viaturas e curva conforme a Figura A.24. 36,19% das amostras estão acima da média.

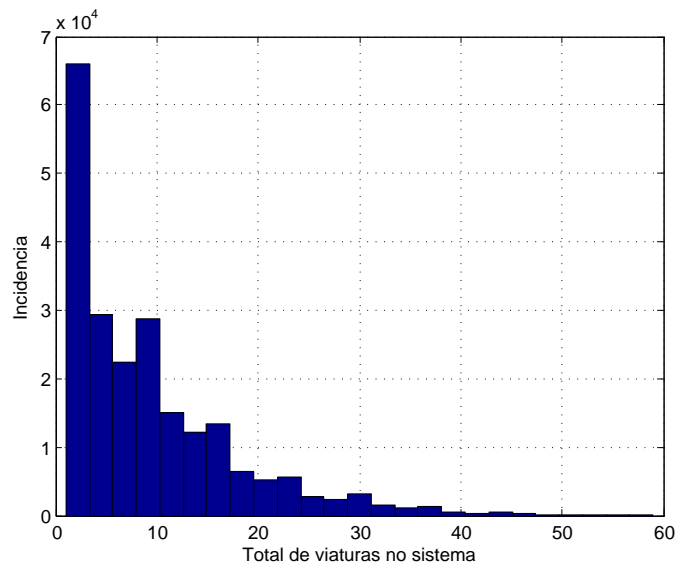


Figura A.24: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 2

### A.3 Cenário 3

Para a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 4,4012 dias e curva conforme a Figura A.25. 21,96% das amostras estão acima da média.

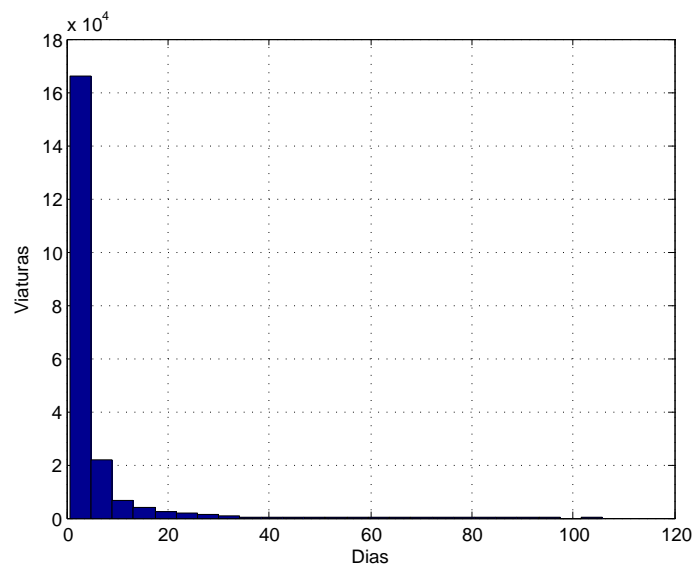


Figura A.25: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 4,4817 dias e curva conforme a Figura A.26. 21,89% das

amostras estão acima da média.

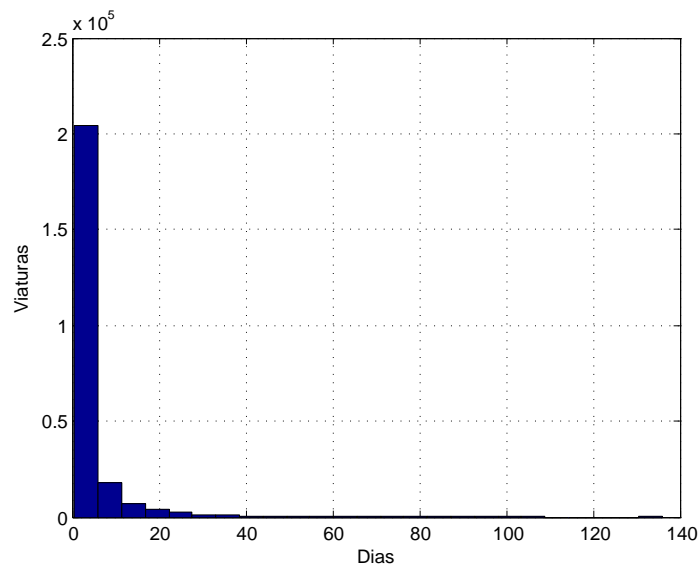


Figura A.26: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 4,5602 dias e curva conforme a Figura A.27. 21,85% das amostras estão acima da média.

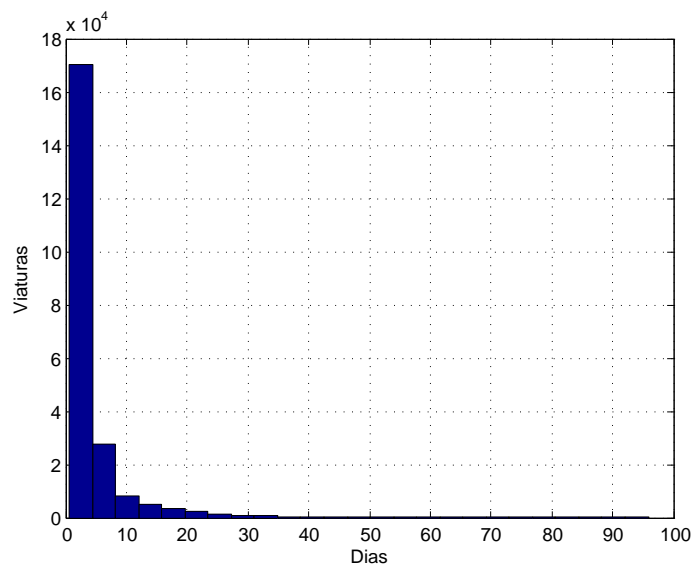


Figura A.27: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 4,6556 dias e curva conforme a Figura A.28. 21,82% das amostras estão acima da média.

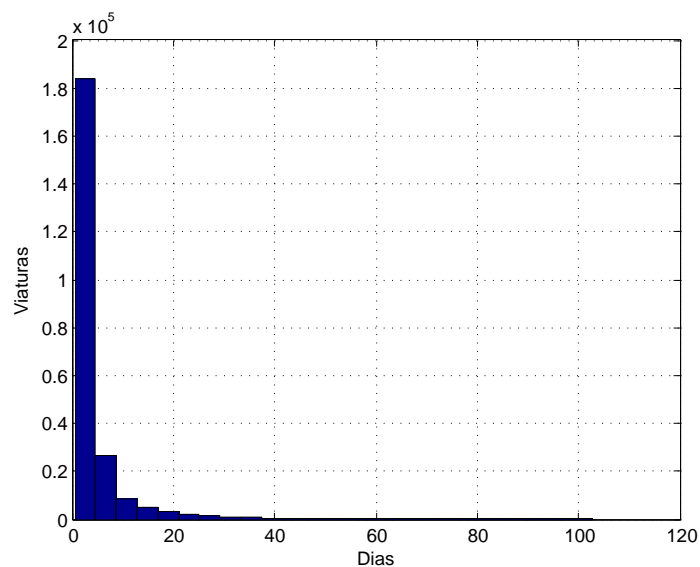


Figura A.28: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 3

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,1734 dias e curva conforme a Figura A.29. 23,40% das amostras estão acima da média.

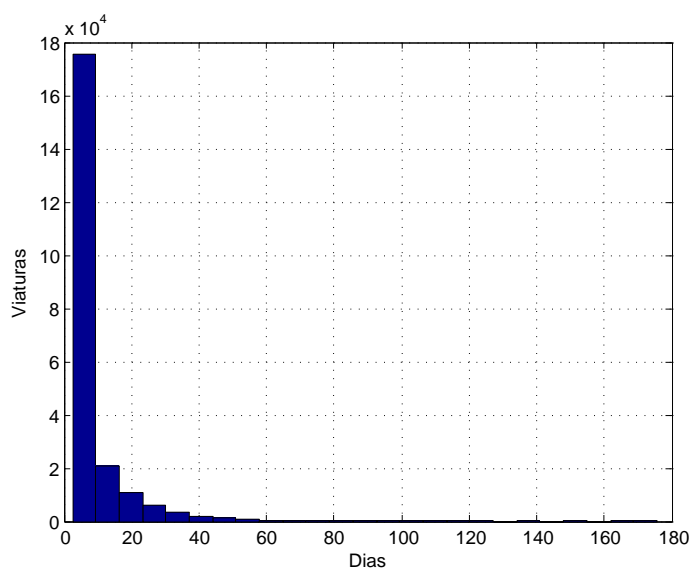


Figura A.29: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,2582 dias e curva conforme a FiguraA.30. 23,44% das amostras estão acima da média.

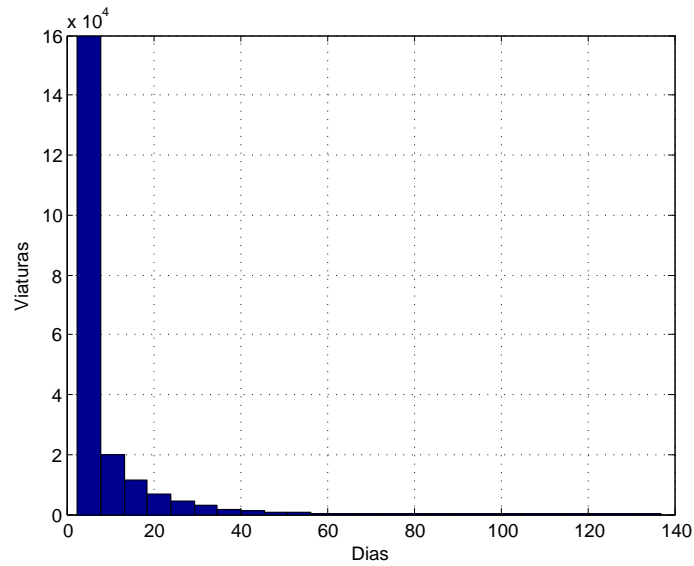


Figura A.30: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,2475 dias e curva conforme a Figura A.31. 23,48% das amostras estão acima da média.

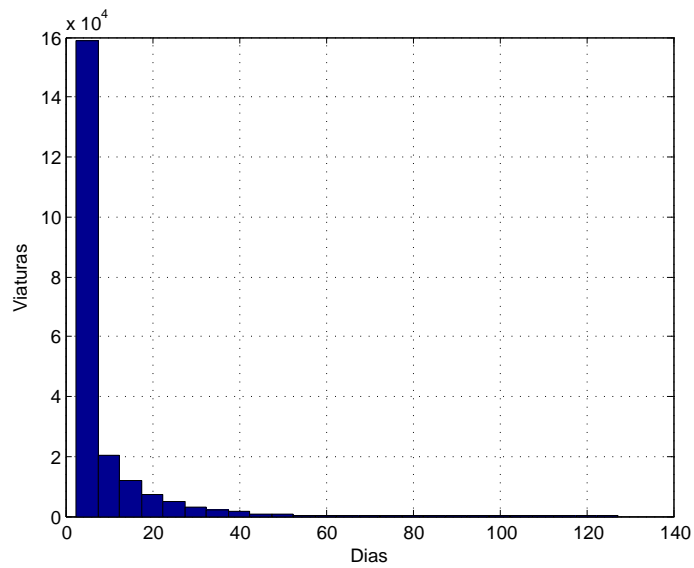


Figura A.31: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,2271 dias e curva conforme a Figura A.32. 23,42% das amostras estão acima da média.

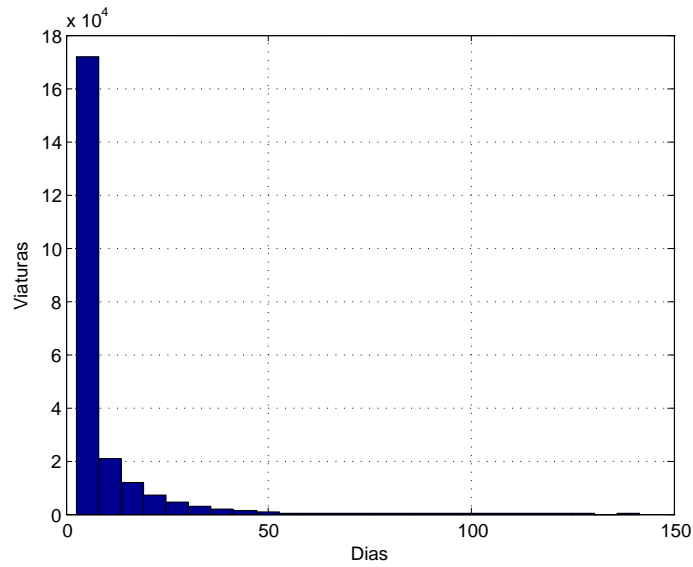


Figura A.32: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 3

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 2,2293 viaturas e curva conforme a Figura A.33. 22,52% das amostras estão acima da média.

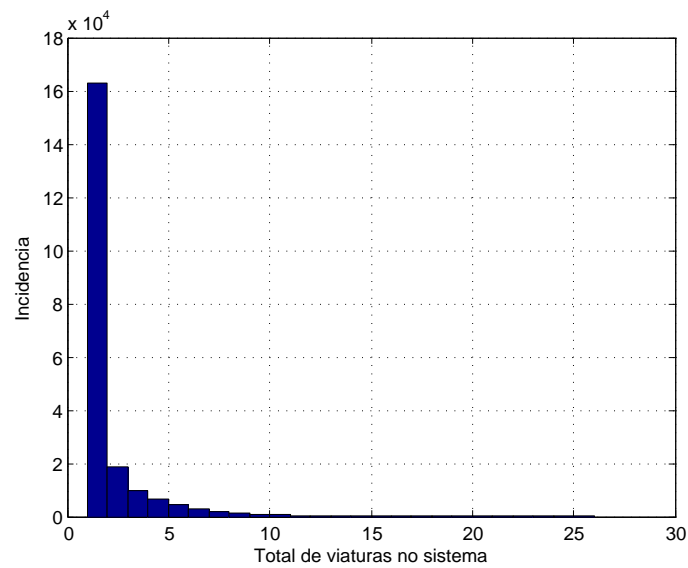


Figura A.33: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 3

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,3387 viaturas e curva conforme a Figura A.34. 24,07% das amostras estão acima da média.

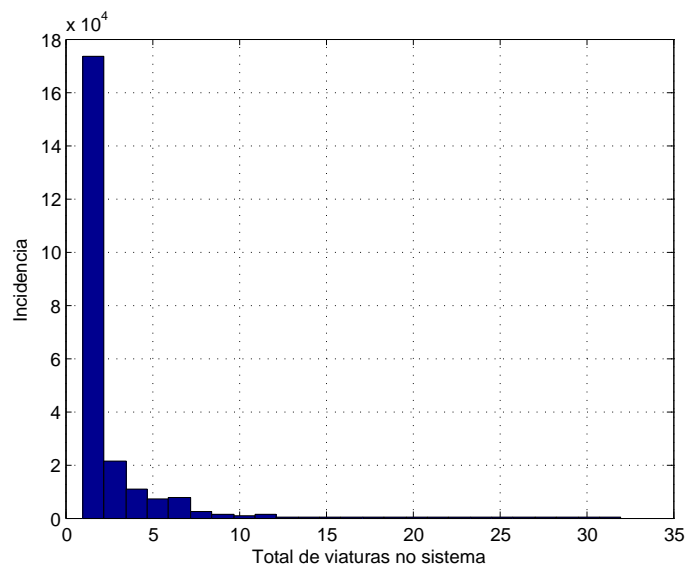


Figura A.34: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 3

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,4251 viaturas e curva conforme a Figura A.35. 25,70% das amostras estão acima da média.

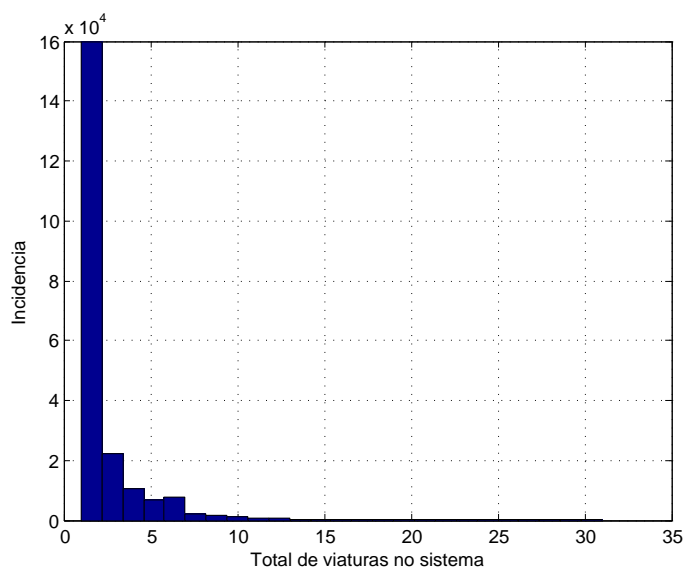


Figura A.35: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 3

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,5346 viaturas e curva conforme a Figura A.36. 27,70% das amostras estão acima da média.

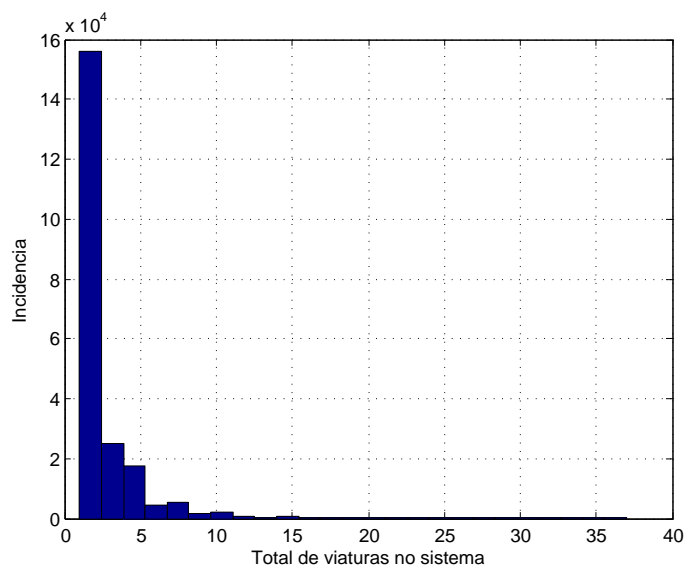


Figura A.36: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 3

## A.4 Cenário 4

Para a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,4137 dias e curva conforme a Figura A.37. 27,51% das amostras estão acima da média.

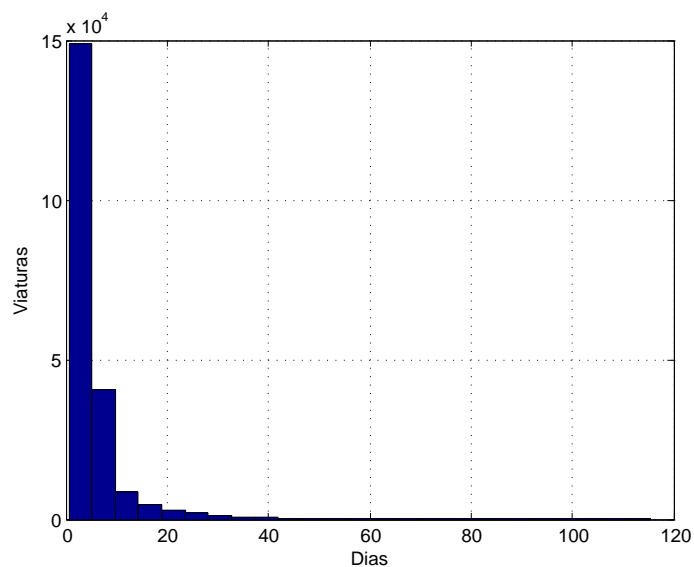


Figura A.37: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,4613 dias e curva conforme a Figura A.38. 27,55% das amostras estão acima da média.



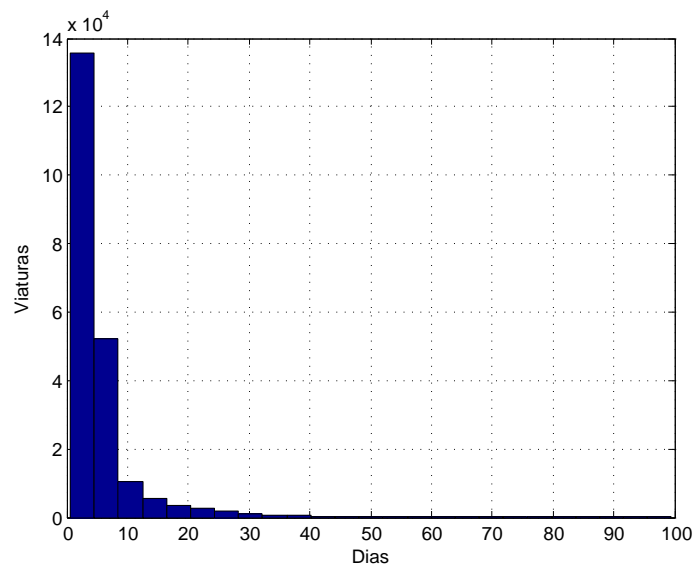


Figura A.38: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,5209 dias e curva conforme a Figura A.39. 27,44% das amostras estão acima da média.

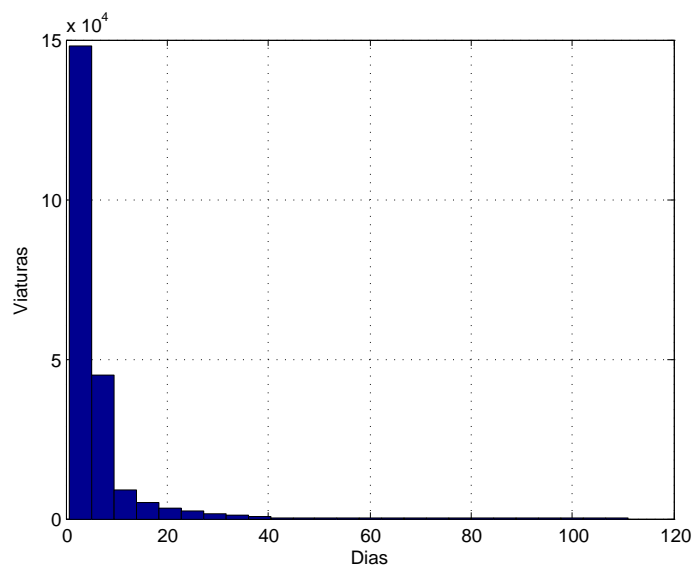


Figura A.39: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,6120 dias e curva conforme a Figura A.40. 27,38% das amostras estão acima da média.

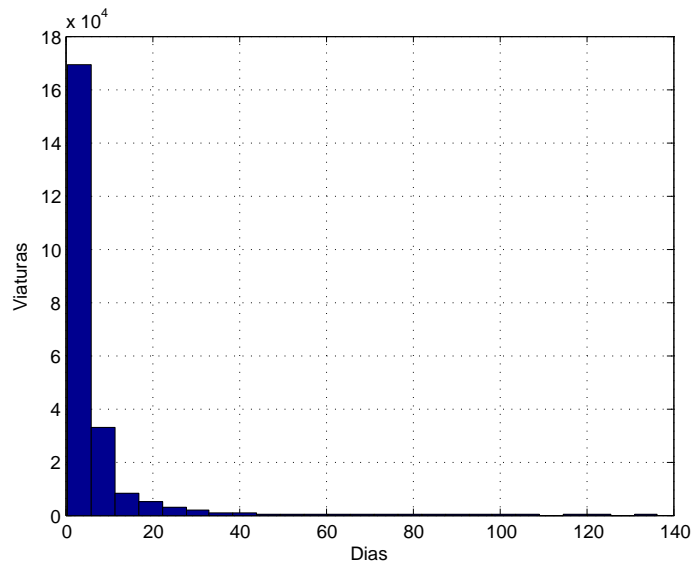


Figura A.40: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 4

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 6,6395 dias e curva conforme a Figura A.41. 19,29% das amostras estão acima da média.

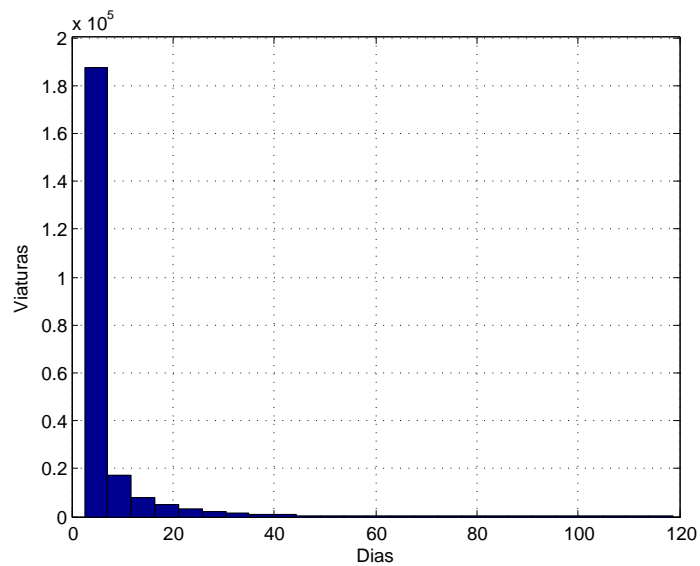


Figura A.41: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 6,7521 dias e curva conforme a Figura A.42. 19,64% das amostras estão acima da média.

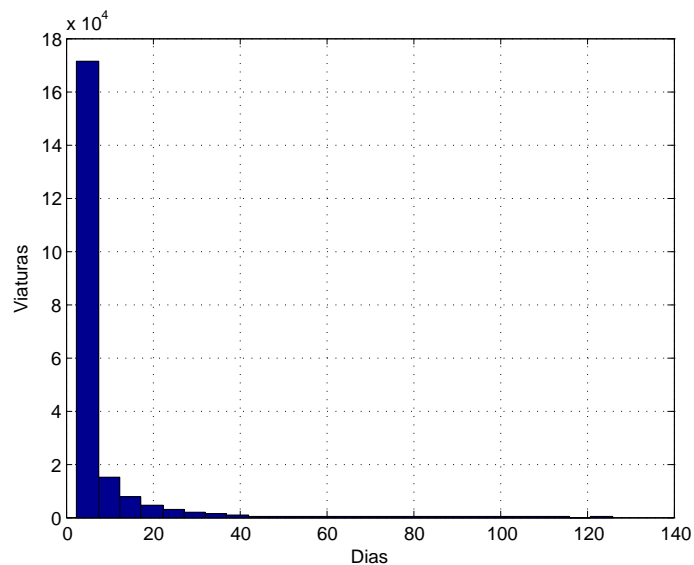


Figura A.42: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 6,8793 dias e curva conforme a Figura A.43. 19,77% das amostras estão acima da média.

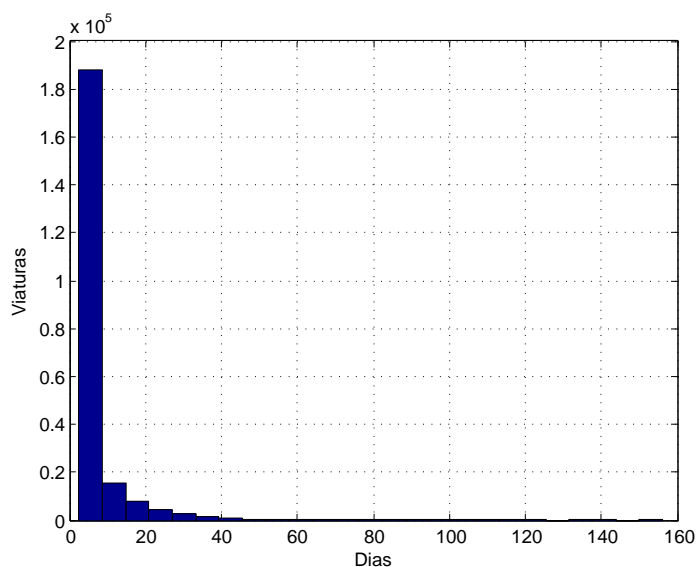


Figura A.43: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 7,0464 dias e curva conforme a Figura A.44. 20,11% das amostras estão acima da média.

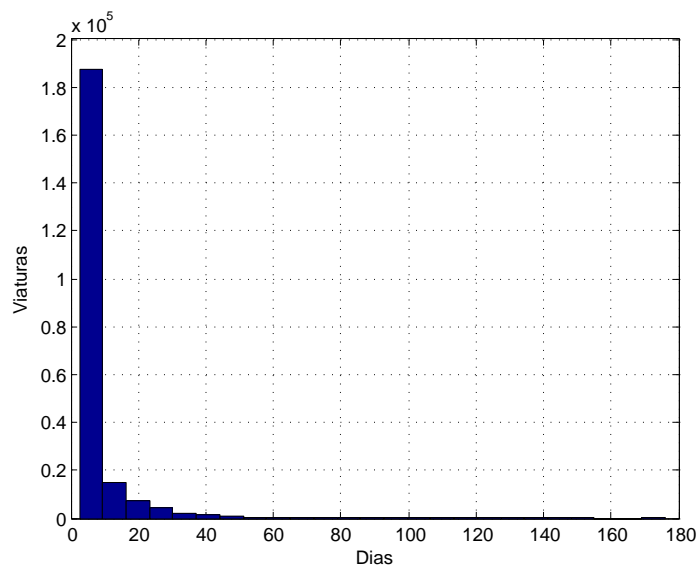


Figura A.44: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 4

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 2,02 42viaturas e curva conforme a Figura A.45. 17,09% das amostras estão acima da média.

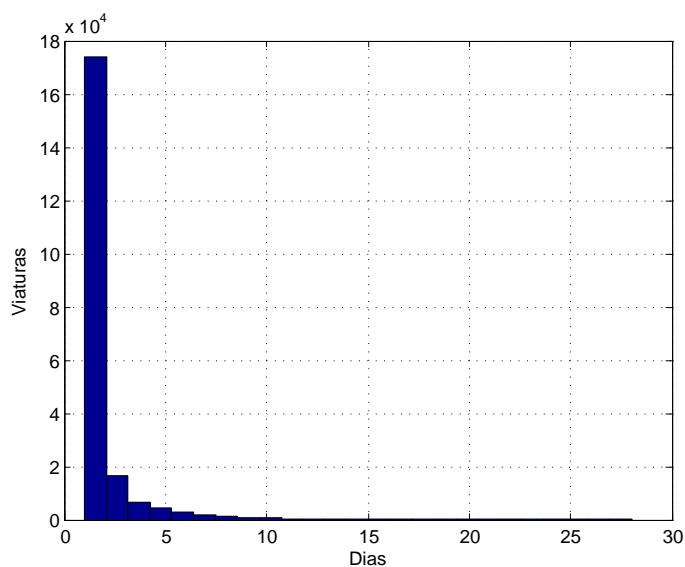


Figura A.45: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 4

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,1741 viaturas e curva conforme a Figura A.46. 20,40% das amostras estão acima da média.

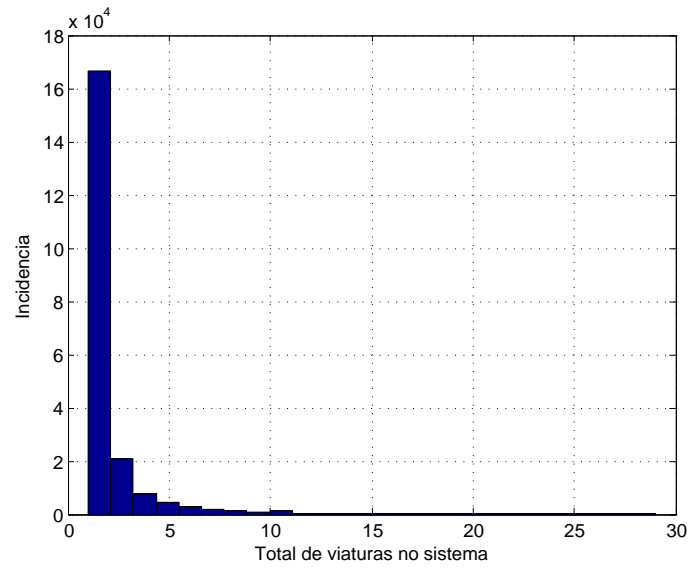


Figura A.46: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 4

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,3133 viaturas e curva conforme a Figura A.47. 23,83% das amostras estão acima da média.

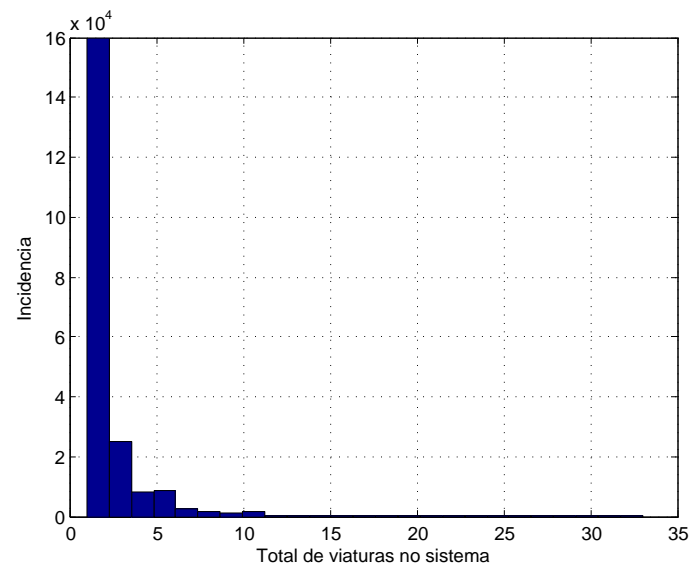


Figura A.47: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 4

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,4815 viaturas e curva conforme a Figura A.48. 28,23% das amostras estão acima da média.

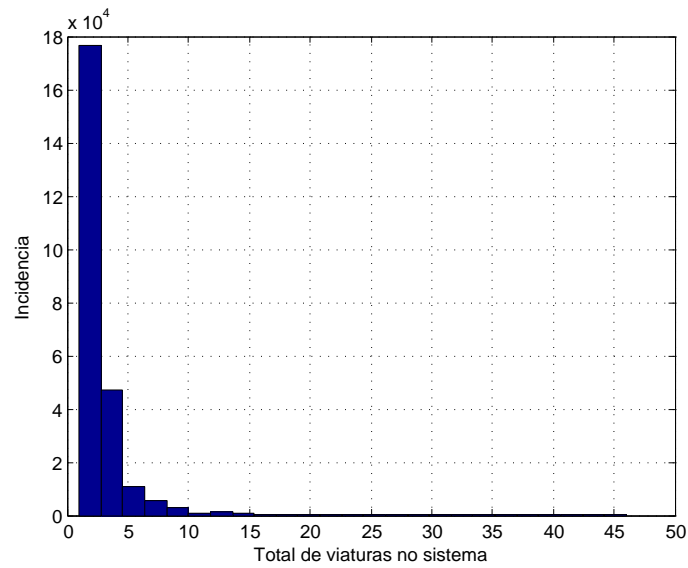


Figura A.48: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 4

## A.5 Cenário 5

Para um a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,0157 dias e é ilustrado na Figura A.49. 26,18% das amostras estão acima da média.

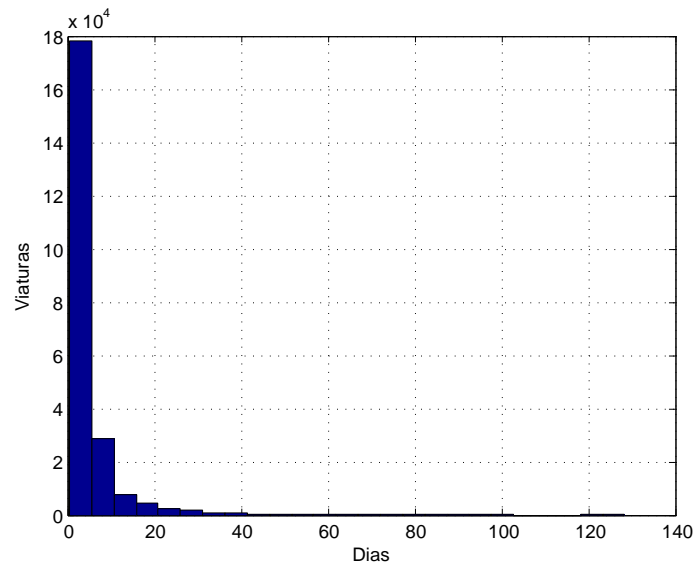


Figura A.49: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 25% na demanda o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,0862 dias e é ilustrado na Figura A.50. 25,96% das amostras estão acima da média.

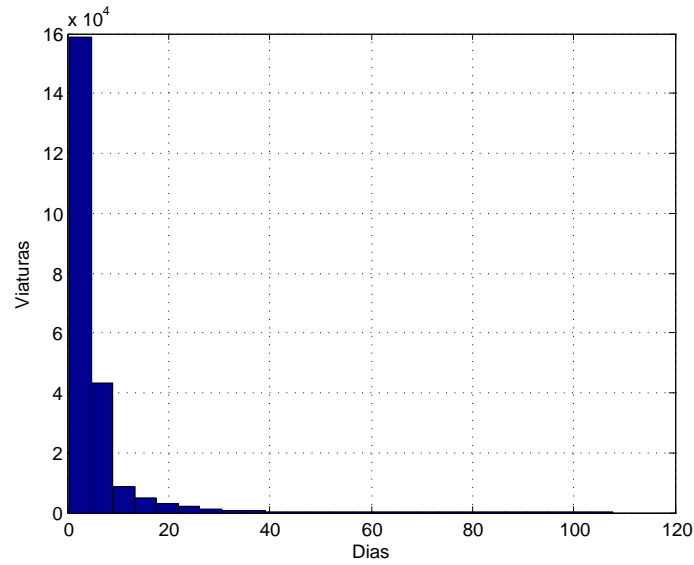


Figura A.50: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 50% na demanda o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,1732 dias e é ilustrado na Figura A.51. 25,57% das amostras estão acima da média.

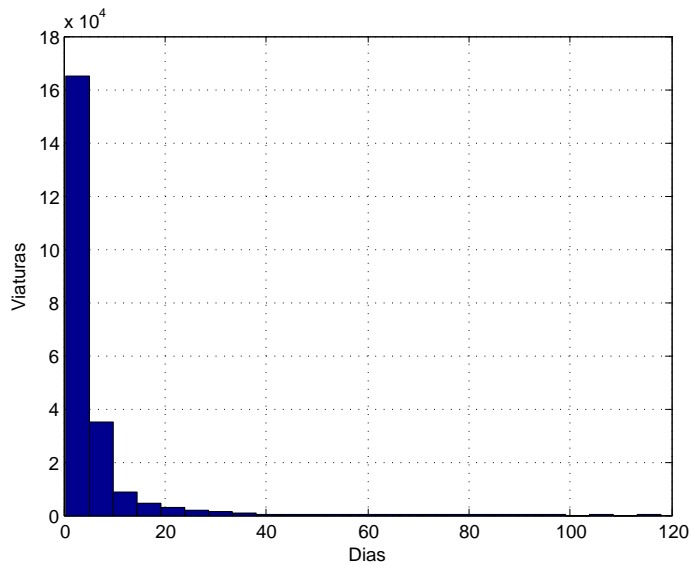


Figura A.51: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 75% na demanda o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,2675 dias e é ilustrado na Figura A.52. 25,35% das amostras estão acima da média.

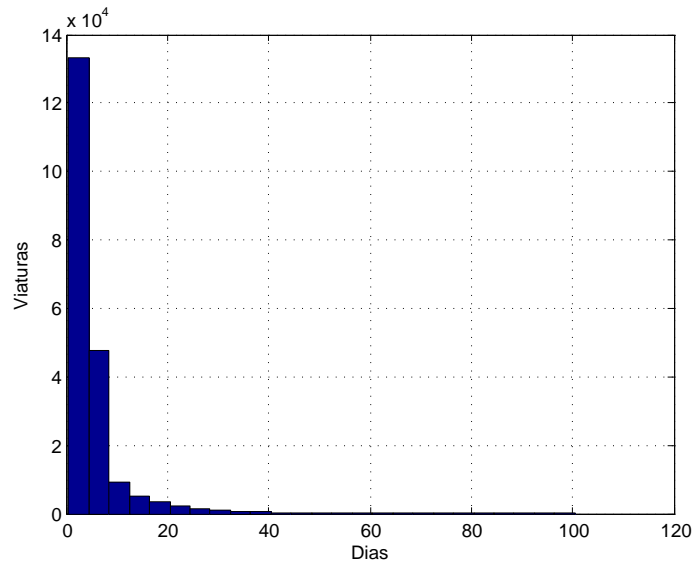


Figura A.52: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 5

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 6,5596 dias e é ilustrado na Figura A.53. 20,65% das amostras estão acima da média.

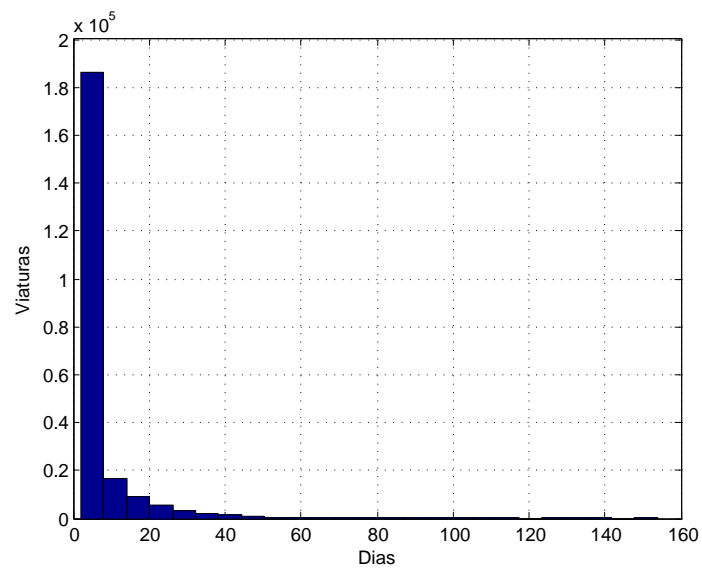


Figura A.53: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 25% na demanda o tempo total das preventivas no sistema possui média de 6,9351 dias e é ilustrado na Figura A.54. 21,20% das amostras estão acima da média.



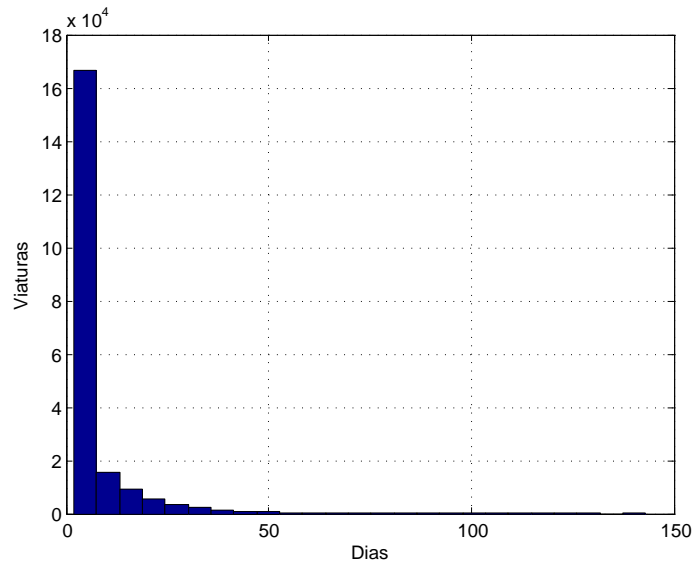


Figura A.54: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 50% na demanda o tempo total das preventivas no sistema possui média de 7,3888 dias e é ilustrado na Figura A.55. 21,81% das amostras estão acima da média.

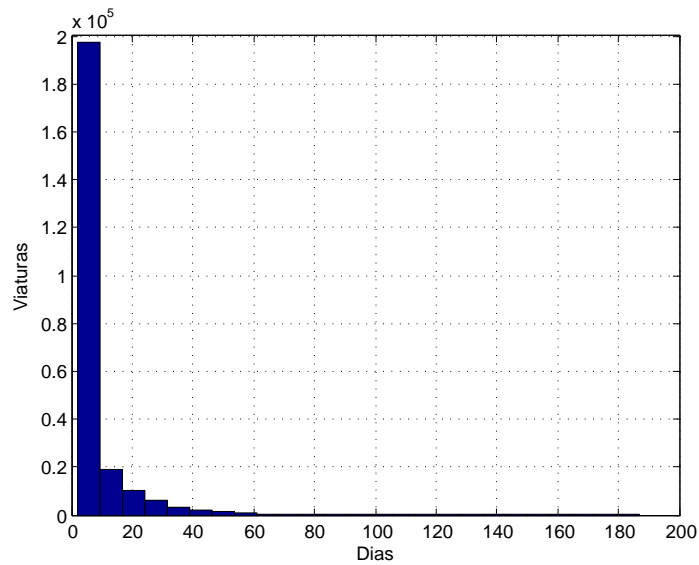


Figura A.55: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 75% na demanda o tempo total das preventivas no sistema possui média de 7,8776 dias e é ilustrado na Figura A.56. 22,39% das amostras estão acima da média.

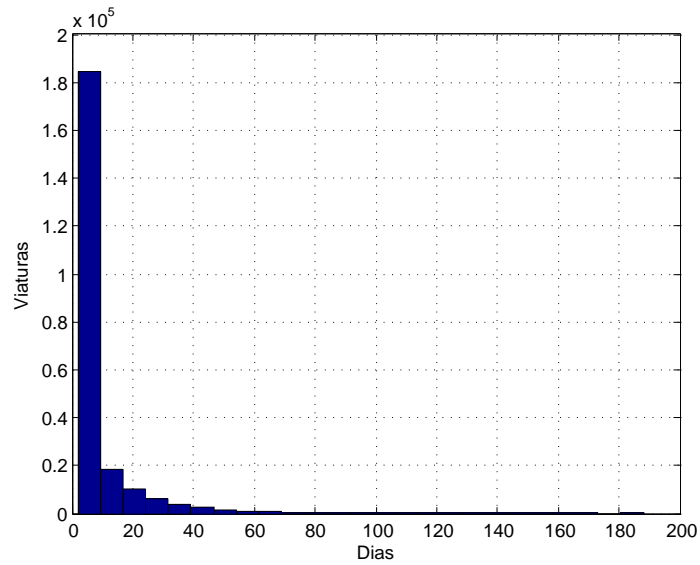


Figura A.56: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 5

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 2,0188 viaturas e é ilustrado na Figura A.57. 17,56% das amostras estão acima da média.

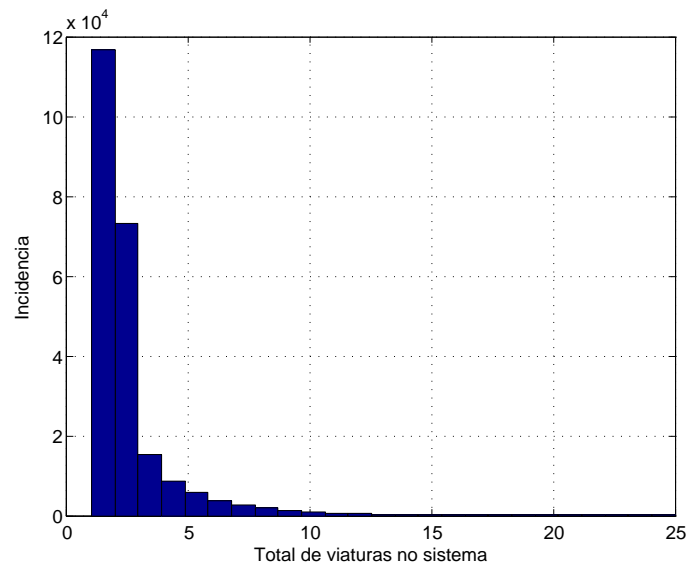


Figura A.57: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 5

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,1942 viaturas e é ilustrado na Figura A.58. 20,37% das amostras estão acima da média.

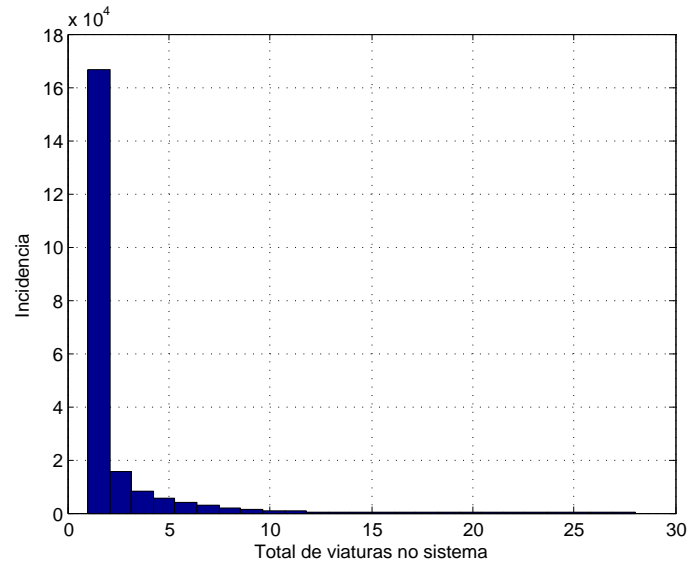


Figura A.58: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 5

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,3928 viaturas e é ilustrado na Figura A.59. 23,96% das amostras estão acima da média.

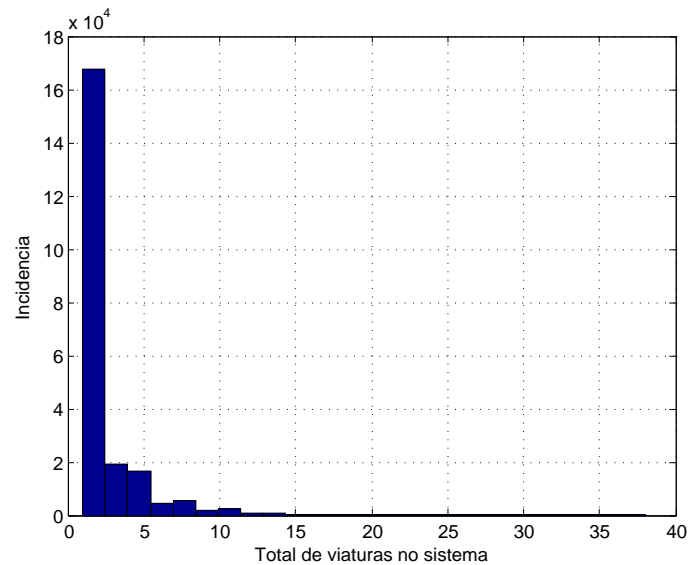


Figura A.59: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 5

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,5843 viaturas e é ilustrado na Figura A.60. 27,66% das amostras estão acima da média.

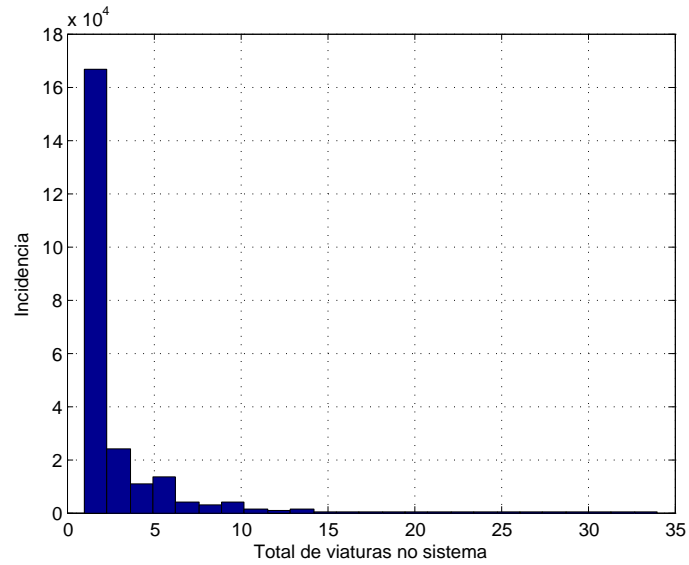


Figura A.60: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 5

## A.6 Cenário 6

Para a demanda atual o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,2720 dias e curva conforme a Figura A.61. 22,39% das amostras estão acima da média.

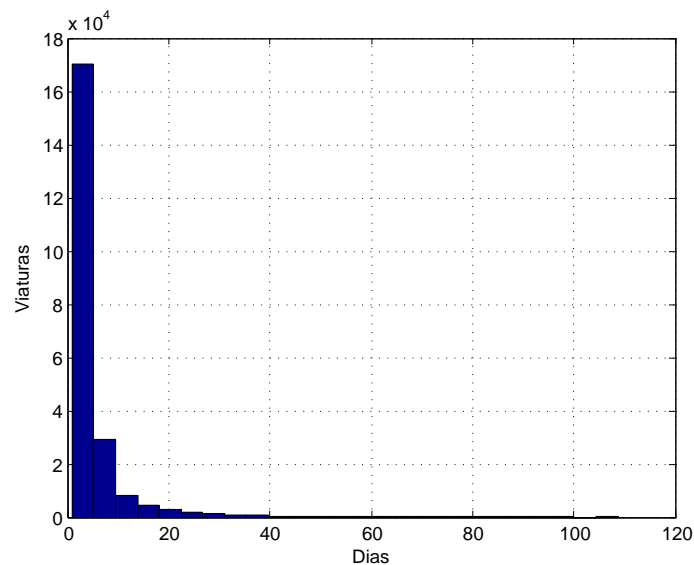


Figura A.61: Tempo total das corretivas para a demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,3933 dias e curva conforme a Figura A.62. 22,31% das

amostras estão acima da média.

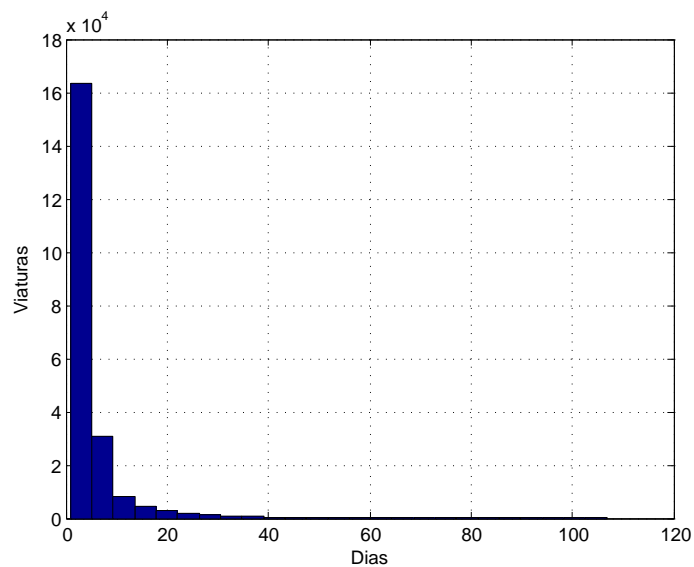


Figura A.62: Tempo total das corretivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,5330 dias e curva conforme a Figura A.63. 22,33% das amostras estão acima da média.

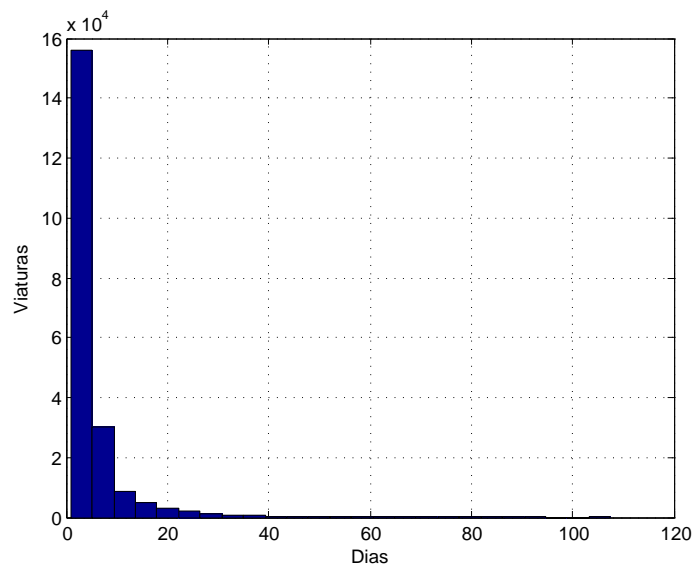


Figura A.63: Tempo total das corretivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das corretivas no sistema possui média de 5,7353 dias e curva conforme a Figura A.64. 22,29% das amostras estão acima da média.

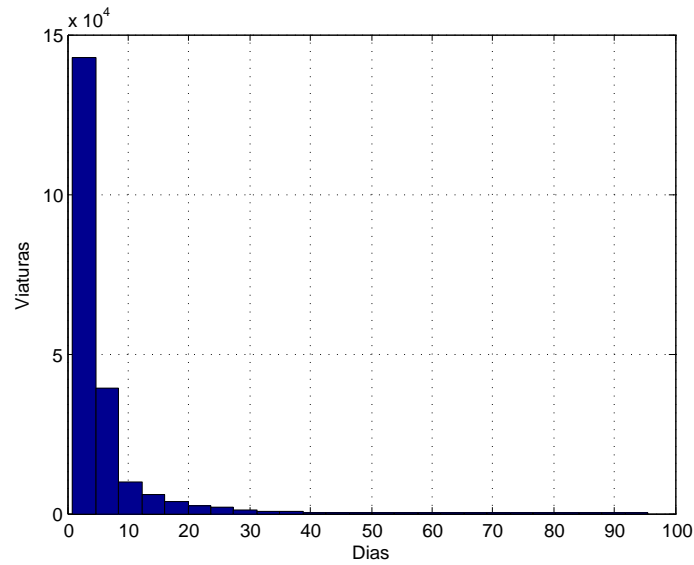


Figura A.64: Tempo total das corretivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 6

Para a demanda atual o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,2819 dias e curva conforme a Figura A.65. 23,66% das amostras estão acima da média.

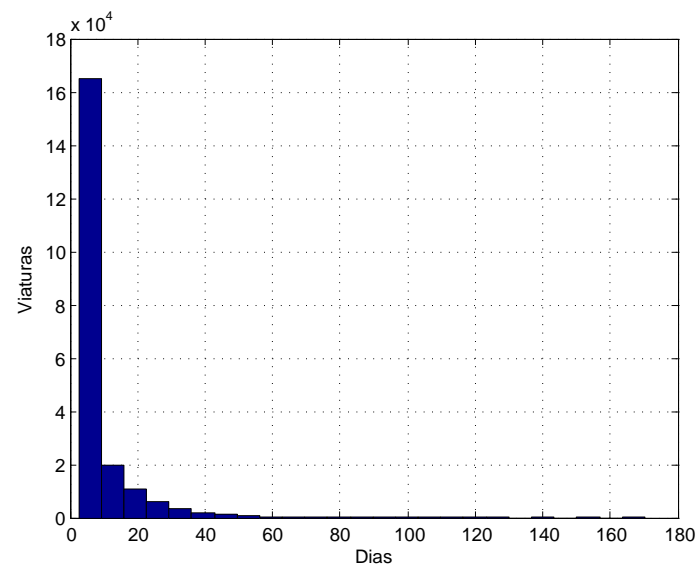


Figura A.65: Tempo total das preventivas para a demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 25% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,3107 dias e curva conforme a Figura A.66. 23,73% das amostras estão acima da média.

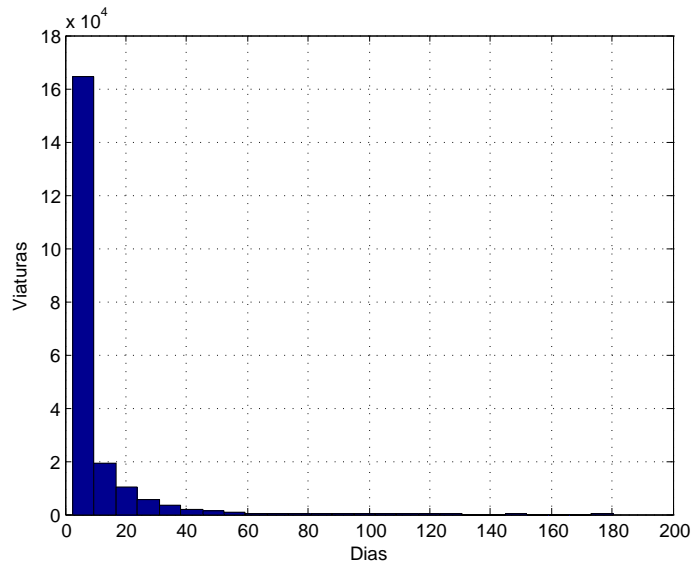


Figura A.66: Tempo total das preventivas para um aumento de 25% na demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 50% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,3330 dias e curva conforme a Figura A.67. 23,74% das amostras estão acima da média.

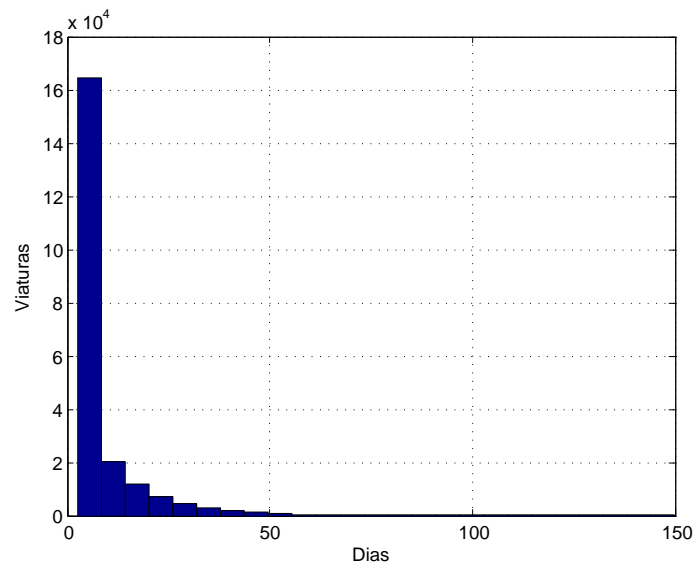


Figura A.67: Tempo total das preventivas para um aumento de 50% na demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 75% na demanda de corretivas o tempo total das preventivas no sistema possui média de 8,4418 dias e curva conforme a Figura A.68. 24,25% das amostras estão acima da média.

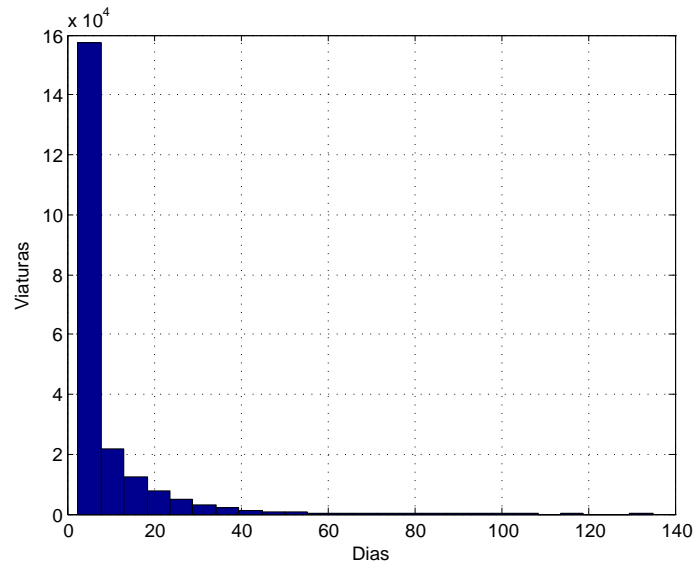


Figura A.68: Tempo total das preventivas para um aumento de 75% na demanda atual sob o Cenário 6

Para a demanda atual o número total de viaturas no sistema possui média de 2,2958 viaturas e curva conforme a Figura A.69. 23,63% das amostras estão acima da média.

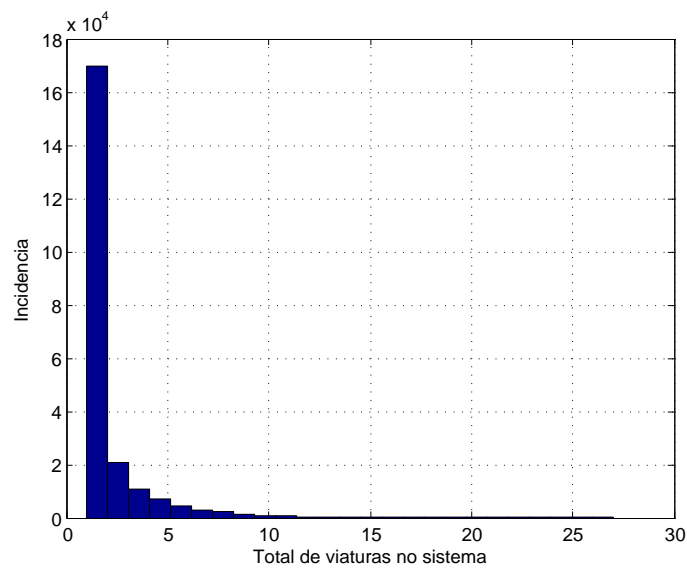


Figura A.69: Número total de viaturas no sistema para a demanda atual sob o Cenário 6

Para um aumento de 25% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,4173 viaturas e curva conforme a Figura A.70. 25,81% das amostras estão acima da média.



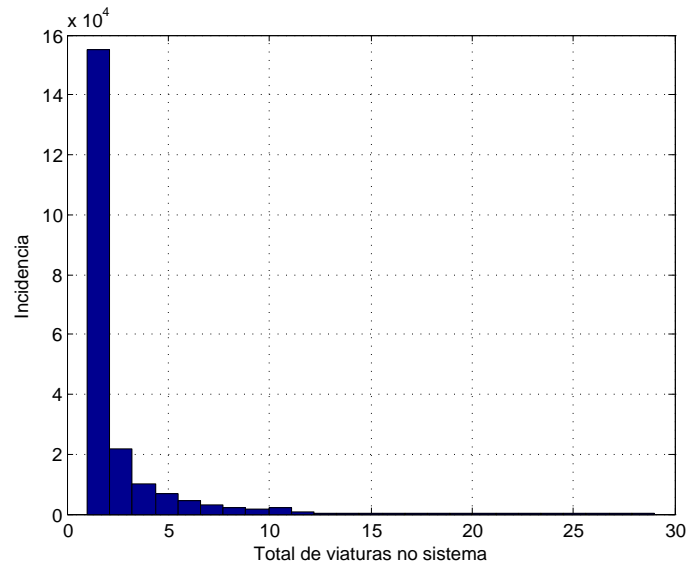


Figura A.70: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 25% na demanda sob o Cenário 6

Para um aumento de 50% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,5536 viaturas e curva conforme a Figura A.71. 28,79% das amostras estão acima da média.

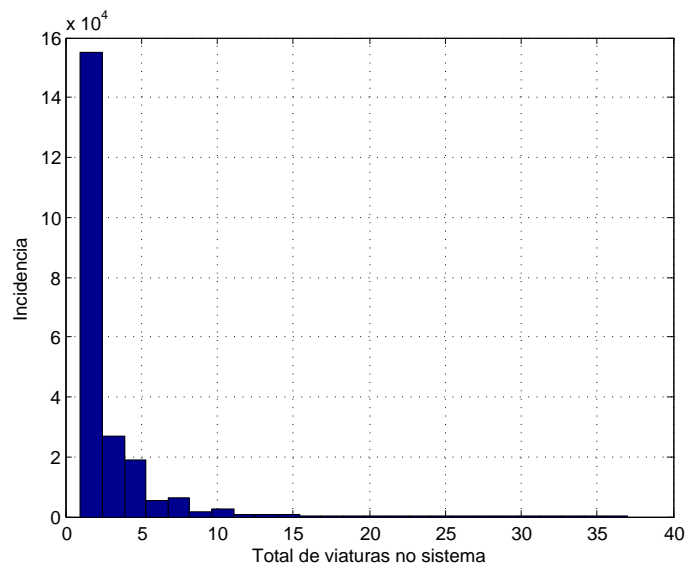


Figura A.71: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 50% na demanda sob o Cenário 6

Para um aumento de 75% na demanda o número total de viaturas no sistema possui média de 2,7094 viaturas e curva conforme a Figura A.72. 32,80% das amostras estão acima da média.

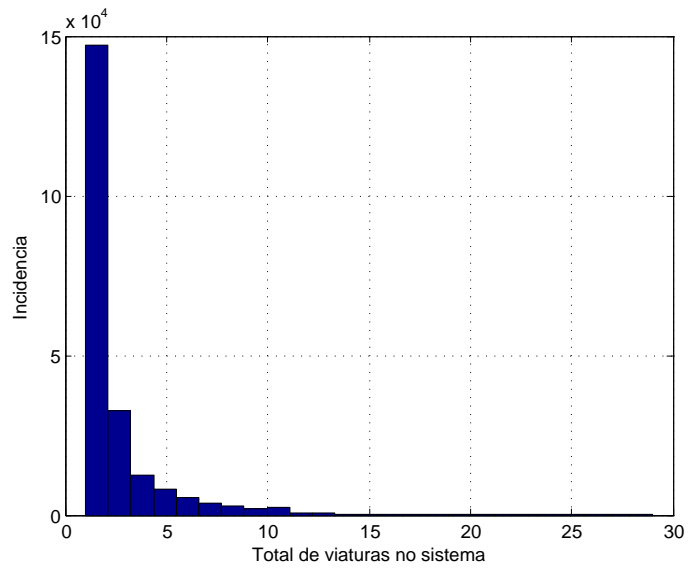


Figura A.72: Número total de viaturas no sistema para um aumento de 75% na demanda sob o Cenário 6