



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

FERNANDO CESAR DA SILVA

**SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO DE RODOVIA FEDERAL CONCEDIDA: UM  
ESTUDO DE CASO NA CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA LITORAL SUL  
UTILIZANDO O MODELO HIPERCUBO DE FILAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

2014

Fernando Cesar da Silva

**SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO DE RODOVIA FEDERAL CONCEDIDA: UM  
ESTUDO DE CASO NA CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA LITORAL SUL  
UTILIZANDO O MODELO HIPERCUBO DE FILAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Programa de Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Vanina Macowski Durski Silva, Dra.

Joinville

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Fernando Cesar da

Sistema de socorro mecânico em rodovia federal  
concedida: um estudo de caso na concessionária Autopista  
Litoral Sul utilizando o Modelo Hipercubo de Filas /  
Fernando Cesar da Silva ; orientadora, Vanina Macowski  
Durski Silva - Joinville, SC, 2014.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.  
Graduação em Engenharia de Transportes e Logística.

Inclui referências

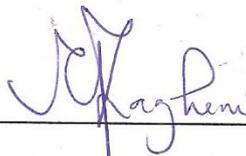
1. Engenharia de Transportes e Logística. 2. Sistema de  
socorro mecânico. 3. Modelo Hipercubo de Filas. 4.  
Qualidade em serviços de transportes. 5. Concessão de  
rodovias. I. Silva, Vanina Macowski Durski. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia de Transportes e Logística. III. Título.

Fernando Cesar da Silva

**SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO DE RODOVIA FEDERAL CONCEDIDA: UM  
ESTUDO DE CASO NA CONCESSIONÁRIA AUTOPISTA LITORAL SUL  
UTILIZANDO O MODELO HIPERCUBO DE FILAS**

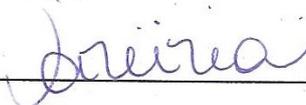
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Graduado e aprovado em sua forma final pelo curso de Engenharia de Transportes e Logística.

Joinville, 04 de dezembro de 2014.



Profª Drª Elisete Santos da Silva Zagheni  
Coordenadora do Curso

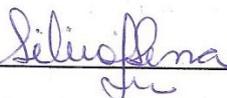
Banca examinadora:



Profª Drª Vanina Macowski Durski Silva  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Profª Drª Christiane Wenck Nogueira Fernandes  
Universidade Federal de Santa Catarina



Profª Drª Silvia Lopes de Sena Tagliapietra  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo apoio nos momentos de angústia e força para seguir em frente.

Aos meus pais, Sérgio e Elisabete, por me educarem e me darem todas as condições necessárias para eu ter o privilégio de estudar, além do apoio e incentivo para ir atrás dos meus objetivos e pelo amor e orgulho que sentem por mim.

À minha avó, Maria Tereza, que sempre foi uma segunda mãe e me apoiou, ajudou e incentivou em minhas decisões.

Ao meu irmão, Fábio, pelo apoio repassado com sua experiência e pelos momentos de orientação.

À minha namorada, Pamela, que foi companheira nessa caminhada, pela compreensão e incentivo e por compartilhar comigo os momentos de dúvidas, aflição e conquistas.

Aos meus amigos, por viverem comigo todos os momentos de alegria, descontração e até mesmo angústia, por me incentivarem e confiarem em mim nesses cinco anos de faculdade. Um agradecimento especial ao Pedro por todo o apoio e companheirismo.

Aos colegas da Autopista Litoral Sul, em especial o meu supervisor de estágio Fernando, que foi também um amigo, pela receptividade na empresa, por todo o crescimento pessoal e profissional e pelo aprendizado que tive, pelas amizades e pelo incentivo, além de tornarem possível esse trabalho.

Aos colegas e amigos do curso, especialmente o Nathan, o Francisco e o Renan, por todo o compartilhamento de conhecimentos e estudos e pelos maravilhosos momentos vividos.

À minha orientadora, Vanina, pela sabedoria e conhecimentos repassados, pelo apoio e incentivo na realização deste e de outros trabalhos, pela indicação de novas oportunidades e por apoiar meu crescimento profissional e pessoal, além de todos os momentos de compreensão durante a elaboração desse trabalho.

Aos professores, que me transmitiram todo o conhecimento e contribuíram para a minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

*“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”*

*(Ayrton Senna)*

## RESUMO

Concessões rodoviárias estão em grande expansão no Brasil e no mundo. Somente no Brasil, há 21 segmentos de rodovias federais concedidos à iniciativa privada. Nesses trechos, a concessionária deve realizar diversas ações de manutenção, melhoramentos e operação, sendo uma delas a disponibilização de um serviço de socorro mecânico a veículos avariados, que é parte integrante do sistema de atendimento emergencial que a empresa deve oferecer. Um dos segmentos concedidos é o trecho de Curitiba/PR a Florianópolis/SC, que está sob administração da Autopista Litoral Sul. A qualidade é essencial em serviços de transportes e o sistema que oferece esse serviço deve ser operado/modelado de modo a atender as necessidades do usuário que o utiliza. Estudos que motivem a avaliação e melhorias na qualidade de serviços de transportes são de extrema importância, levando-se em conta a necessidade de crescimento das empresas e as exigências dos clientes. Para avaliar a qualidade de serviços de transporte, em especial os serviços de atendimento emergencial, pode-se utilizar ferramentas probabilísticas que ofereçam parâmetros que indicam o desempenho do sistema. O Modelo Hipercubo de Filas é uma ferramenta probabilística que avalia o nível de serviço de sistemas de atendimento emergencial. Nesse contexto, utilizou-se o Modelo Hipercubo para modelar e avaliar o nível de serviço do atual sistema de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul, além de verificar o impacto na qualidade do serviço ao se recomendar alterações na operação do referido sistema. Os resultados obtidos validaram a relação entre o modelo (teoria) com a realidade (prática), além de serem satisfatórios, uma vez que indicam a melhoria no nível de serviço prestado pela Concessionária com as alterações propostas.

**Palavras-chave:** Atendimento emergencial, Concessões rodoviárias, Modelo Hipercubo, Qualidade em transportes, Socorro mecânico.

## ABSTRACT

Road concessions are in great expansion in Brazil and around the world. Only in Brazil, there are 21 sections of federal highways allotted to private companies. In these sections, the companies have to perform a variety of actions to maintain, improve and operate the highway, one of those actions is the availability of mechanical assistance service, an emergency assistance service that the company provides. One of the highways under management of a private company is the road between Curitiba/PR and Florianópolis/SC, which is under concession of Autopista Litoral Sul. Quality is essential in transportation services, and the system that offers that service must be operated and modeled in a way that it complies with the needs of its users. Studies that motivate the evaluation and improvements in the quality of transportation services are of extreme importance, taking into account the need of growth of the companies, together with the clients' needs. To evaluate the quality of transportation services, especially the emergency services, probabilistic tools that offer parameters to show system performance can be used. Hypercube queuing model is a probabilistic tool that evaluates the level of service of emergency assistance. In this context, it was used to model and to evaluate the level of service of the current mechanical assistance service of Autopista Litoral Sul, and to verify the impact in quality of the service when recommendations were applied to the system. The two results validated the relationship between the model (theory) and reality, and also showed improvements in the level of service provided by the company with the proposed recommendations.

**Keywords:** Emergency care, Road concession, Hypercube Model, Quality transportation, Mechanical assistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concessões de rodovias federais - 1ª etapa.....	21
Figura 2: Concessões de rodovias federais - 2ª etapa – Fase I.....	21
Figura 3: Concessões de rodovias federais - 2ª etapa – Fase II.....	22
Figura 4: Expectativa, percepção e a qualidade do serviço .....	25
Figura 5: Serviço desejado e adequado e os fatores de influência .....	26
Figura 6: Etapas do processo de atendimento e os tempos entre cada etapa.....	29
Figura 7: Espaço de estados para três servidores .....	31
Figura 8: Átomos e servidores do exemplo .....	34
Figura 9: Transições do estado 001 para o estado 011 e do estado 011 para o estado 001.....	35
Figura 10: Possíveis transições do estado 001 .....	36
Figura 11: Trecho administrado e localização das BSOs .....	44

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Matriz de transportes brasileira em 2011 .....	13
Gráfico 2: <i>Workloads</i> dos servidores no sistema atual.....	54
Gráfico 3: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema atual .....	55
Gráfico 4: Fração dos atendimentos do servidor como <i>backup</i> no sistema atual.....	57
Gráfico 5: Fração dos atendimentos como <i>backup</i> em um átomo no sistema atual .	58
Gráfico 6: Evolução do nível de serviço do sistema atual até o fim da concessão....	60
Gráfico 7: <i>Workloads</i> dos servidores no sistema modificado .....	64
Gráfico 8: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema modificado .....	66
Gráfico 9: Fração dos atendimentos do servidor como <i>backup</i> no sistema modificado .....	67
Gráfico 10: Fração dos atendimentos como <i>backup</i> em um átomo no sistema modificado .....	69
Gráfico 11: Evolução do nível de serviço do sistema modificado até o fim da concessão .....	70
Gráfico 12: <i>Workloads</i> dos servidores no sistema atual e modificado .....	71
Gráfico 13: Probabilidades de perda no sistema atual e modificado .....	72

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Política de despacho .....	34
Quadro 2: Veículos removidos pelo caminhão pipa-guincho .....	43
Quadro 3: Distribuição dos Guinchos Pesados e dos caminhões Pipa-Guincho .....	45
Quadro 4: Taxas de atendimento dos recursos/servidores .....	46
Quadro 5: Servidores preferenciais e <i>backups</i> e taxas de chamadas do tipo 1 .....	47
Quadro 6: Servidores preferenciais e <i>backups</i> e taxas de chamadas do tipo 2 .....	48
Quadro 7: Evolução do tráfego até 2032.....	50
Quadro 8: <i>Workloads</i> dos servidores no sistema atual .....	53
Quadro 9: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema atual .....	55
Quadro 10: Fração dos atendimentos do servidor como <i>backup</i> no sistema atual ...	56
Quadro 11: Fração dos atendimentos como <i>backup</i> em um átomo no sistema atual .....	58
Quadro 12: Evolução do nível de serviço do sistema atual até o fim da concessão .	59
Quadro 13: Taxas de atendimento dos recursos/servidores no sistema modificado.	61
Quadro 14: Servidores preferenciais e <i>backups</i> e taxas de chamadas do tipo 1 no sistema modificado.....	62
Quadro 15: Servidores preferenciais e <i>backups</i> e taxas de chamadas do tipo 2 no sistema modificado.....	62
Quadro 16: <i>Workloads</i> dos servidores no sistema modificado.....	64
Quadro 17: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema modificado...	65
Quadro 18: Fração dos atendimentos do servidor como <i>backup</i> no sistema modificado .....	67
Quadro 19: Fração dos atendimentos como <i>backup</i> em um átomo no sistema modificado .....	68
Quadro 20: Evolução do nível de serviço do sistema modificado até o fim da concessão .....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCR – Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias

ALS – Autopista Litoral Sul

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

BSO – Base de Serviço Operacional

CCO – Centro de Controle Operacional

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DOU – Diário Oficial da União

FHA – *Federal Highway Administration*

TKU – Tonelada-Quilômetro Útil

PER – Programa de Exploração da Rodovia

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes

PRF – Polícia Rodoviária Federal

RNTRC – Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Carga

SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

## SUMÁRIO

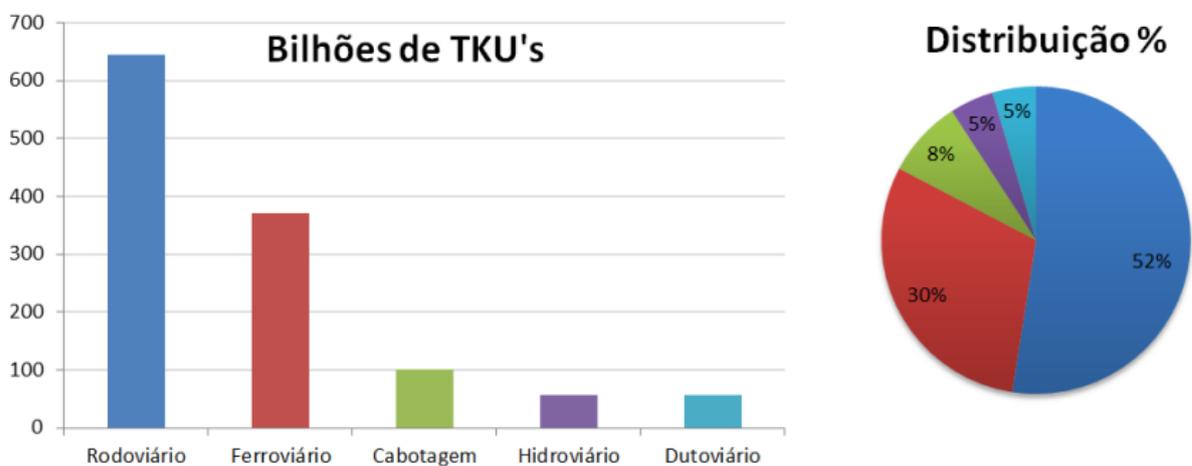
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	13
1.1	TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	JUSTIFICATIVAS	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
2.1	PANORAMA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES	20
2.2	QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TRANSPORTE	24
2.3	SISTEMAS DE ATENDIMENTO EMERGENCIAL	28
2.4	MODELO HIPERCUBO	30
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO DA AUTOPISTA LITORAL SUL</b>	<b>42</b>
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	42
3.2	TRECHO ADMINISTRADO, BASES OPERACIONAIS E RECURSOS	43
3.3	O SISTEMA DA AUTOPISTA LITORAL SUL E O MODELO HIPERCUBO	45
3.4	EVOLUÇÃO DA DEMANDA	50
<b>4</b>	<b>AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DO SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO E PROPOSTA DE MELHORIA</b>	<b>52</b>
4.1	SISTEMA ATUAL	53
4.2	SISTEMA MODIFICADO	61
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA ATUAL E O SISTEMA MODIFICADO	71
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>74</b>
5.1	CONCLUSÕES REFERENTES AO TRABALHO	74
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A – PROGRAMA COMPUTACIONAL (ALGORITMO) DESENVOLVIDO NA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON</b>	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA E PROBLEMATIZAÇÃO

No Brasil, a matriz de transportes de cargas é desbalanceada, tendo grande concentração no modal rodoviário. A distribuição de transportes brasileira, por modo de transporte, é apresentada no Gráfico 1, sendo os percentuais de participação de cada modal estimados em função das quantidades de toneladas-quilômetro-úteis (TKUs), resultantes das simulações do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) para o ano de 2011 (BRASIL, 2012).

**Gráfico 1: Matriz de transportes brasileira em 2011**



Fonte: BRASIL, 2012, p.11

Pode se perceber que o modal rodoviário é responsável por transportar mais da metade dos produtos no Brasil (52%), sendo acompanhado pelo modal ferroviário, com 30%. No entanto, esses números podem ser diferentes devido a diferentes premissas e métodos utilizados para se obter os dados. Ainda assim, sempre ocorre a predominância do transporte rodoviário.

Como consequência da predominância do modal rodoviário no transporte de cargas, em setembro de 2014, mais de 2.200.000 veículos estavam cadastrados no Registro Nacional de Transportadores Rodoviários de Cargas (RNTRC), sendo quase 993.500 de autônomos (ANTT, 2014a). No ano de 2011, foram transportados 131.561.738 passageiros pelo modal rodoviário e, em agosto de 2014, a frota brasileira de ônibus era de 207.192 veículos (CNT, 2014).

A idade média da frota de veículos brasileiros que transportam cargas é de 11,9 anos e, considerando somente a frota de autônomos, a idade média é de 16,5 anos (ANTT, 2014a).

De todos os veículos que trafegam nas rodovias brasileiras, apenas 40% dos motoristas fazem manutenção preventiva e os outros 60% fazem reparos quando o veículo apresenta problemas/panes. A falta de manutenção preventiva foi responsável por 14% dos acidentes que envolveram 3.000 veículos no Brasil, segundo Antônio Carlos Bento de Souza (O MECÂNICO, 2014).

Uma pesquisa realizada por Lima (1996 *apud* VALENTE *et al.*, 2008, p. 13) indica que os problemas mais comuns detectados na área de manutenção são: consumo de combustível e de lubrificantes, estado de conservação do veículo, desempenho do pessoal de manutenção, desempenho dos pneus, panes/quebras de veículos, consumo de peças e acessórios e desempenho dos conjuntos mecânicos.

Assim, a concentração do transporte de cargas e de passageiros pelo modal rodoviário somada à falta de manutenção nos veículos, além dos acidentes de trânsito, faz com que muitos veículos apresentem panes e necessitem do serviço de guinchos pesados para realizar a remoção até um ponto de apoio ou oficina.

A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), órgão do Governo Federal que regula o transporte terrestre brasileiro e as concessões rodoviárias e ferroviárias, concedeu sete lotes de rodovias federais em 2007, sendo um deles (lote 7) o trecho entre Curitiba/PR a Florianópolis/SC, compreendendo as rodovias BR-116/PR (Contorno Leste de Curitiba), BR-376/PR e BR-101/SC, num total de 382,33 quilômetros de extensão. A concessionária que administra esse trecho é a Autopista Litoral Sul (ALS).

A Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR), única associação brasileira do setor de concessões e que representa o setor, em 2013, era formada por 57 empresas privadas associadas, atuando em nove estados do país. Essas concessionárias administram mais de 14 mil quilômetros de rodovias, o que representa 7% da malha rodoviária nacional pavimentada. Os trechos concedidos são estratégicos e de extrema importância para a economia e

desenvolvimento do Brasil, apresentando alto fluxo de veículos leves e pesados. O lote 7 de 2007 é um desses trechos (ABCR, 2014)

Para definir as obrigações e direitos do Poder Concedente e Concessionária, a ANTT elaborou o Programa de Exploração da Rodovia (PER), documento este que apresenta todas as ações a serem realizadas nos 25 anos de concessão e os parâmetros de desempenho. São elencadas no documento ações de recuperação, conservação, monitoração, manutenção, melhoramentos e operação da rodovia. Dentre estas ações, o PER exige que seja disponibilizado e mantido, em cada trecho, em regime de plantão um sistema de assistência ao usuário, composto por guinchos leves e pesados, ambulâncias de resgate e de suporte avançado, caminhões pipa e outros recursos, os quais devem ser acionados pelo Centro de Controle Operacional (CCO) e devem prestar o atendimento gratuitamente (ANTT, 2014b).

Em 2012, 1.631.138.171 veículos utilizaram as rodovias concedidas a empresas filiadas à ABCR. Somente no trecho de Curitiba a Florianópolis (lote 7) foram 62.732.764 veículos, sendo 29,7% veículos comerciais e 70,3% veículos de passeio. Tal volume de tráfego contribuiu para que de 2010 a 2012, o atendimento de serviço de guincho no lote 7 crescesse, em média, 4,8% ao ano (ANTT, 2013; ABCR, 2014).

Dentre o total de atendimentos realizados pela Autopista Litoral Sul, o serviço de guincho correspondeu a 18% dos atendimentos realizados em 2012, sendo que dos 77 mil veículos atendidos pela concessionária neste mesmo ano, 42% foram removidos por guinchos. Tais dados demonstram que, em média, 90 veículos são removidos por guinchos por dia no trecho de Curitiba a Florianópolis (ANTT, 2013).

Gonçalves (1994) indica que o serviço de guincho é um serviço semiemergencial e Mendonça e Morabito (2000) comentam que, neste tipo de serviço, podem haver pequenos atrasos ou filas de espera. No entanto, o sistema de socorro mecânico em rodovia concedida não deve permitir fila de espera, uma vez que a rodovia é uma área de risco e o PER define esse serviço como um sistema de atendimento emergencial (ANTT, 2014b).

Mendonça e Morabito (2000) defendem a necessidade de um sistema de emergência planejado com altos índices de ociosidade para que a probabilidade de

congestão ou espera em fila seja pequena e que garanta um alto nível de atendimento. Um baixo nível de serviço pode prejudicar a confiabilidade do sistema, além de gerar custos adicionais.

Portanto, os recursos de um sistema emergencial devem ser alocados da melhor forma possível e, para isso, a análise de um sistema já existente e o conhecimento de algumas medidas de desempenho desse sistema permitem a proposta de melhorias na operação a fim de se atingir um sistema com alto nível de serviço.

É neste contexto que o presente trabalho irá atuar, analisando o serviço de socorro mecânico a veículos pesados realizado pelo sistema de atendimento mecânico oferecido pela Autopista Litoral Sul.

## 1.2 OBJETIVOS

Neste tópico apresentam-se os objetivos geral e específicos que este trabalho pretende alcançar, servindo como base para o trabalho.

### 1.2.1 Objetivo geral

Analisar o sistema de socorro mecânico da concessionária Autopista Litoral Sul (ALS) por meio de indicadores de qualidade do serviço (a quantidade de atendimentos realizados por empresas terceirizadas, por exemplo), em todo o trecho administrado (de Curitiba/PR a Florianópolis/SC) e, se necessário, recomendar alteração na configuração para melhoria do nível de serviço oferecido aos usuários.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos apresentados abaixo serão utilizados para se atingir o objetivo geral:

- Definir os principais fatores que influenciam no atual sistema de socorro mecânico a veículos pesados da concessionária ALS;
- Propor um método de resolução do sistema em questão baseado no Modelo Hiper-cubo de Filas;

- Desenvolver um algoritmo/programa computacional para calcular as variáveis do estudo e as medidas de desempenho do serviço;
- Avaliar o nível de serviço do sistema com o aumento de demanda futura.

### 1.3 JUSTIFICATIVAS

Neste tópico, apresentam-se as justificativas para realização do trabalho, divididas nos âmbitos econômico, operacional e acadêmico.

#### 1.3.1 Justificativas econômicas e operacionais

O sistema de socorro mecânico se destina a atender ocorrências a veículos avariados. No caso de o sistema não conseguir atender uma nova solicitação de atendimento, esta solicitação é transferida para outro sistema de guinchos presente às margens da rodovia (empresas terceirizadas que realizam o atendimento mecânico na rodovia). O serviço feito por um terceiro obviamente possui um valor e onera os custos operacionais.

Para fins de análise desse trabalho, considerar-se-á somente a atuação dos guinchos pesados, uma vez que o custo de uma remoção realizada por um guincho pesado de uma empresa terceirizada é três vezes maior do que o de um guincho leve (ALS, 2014).

Espera-se que o estudo possibilite que o serviço oferecido pela concessionária seja reconhecido pela sua confiabilidade e alto nível de desempenho, além de que seja disponibilizado um serviço de qualidade aos usuários e comunidade atendida, podendo servir de base para verificação de outros sistemas de atendimento da própria concessionária e de outras empresas do ramo.

A qualidade na prestação de serviços é um assunto importante no setor de serviços de transportes e tem sido vista mais como um condicionante a ser atingido na busca de redução de custos do que uma meta a ser alcançada ou superada (VALENTE *et al.*, 2008).

Neste sentido, Valente *et al.* (2008) indicam que é extremamente importante realizar estudos para se obter melhorias na qualidade e produtividade dos

transportes, para que se torne uma meta a ser superada levando-se em conta a necessidade de sobrevivência das empresas.

### 1.3.2 Justificativas acadêmicas

O modelo Hipercubo já foi aplicado em diversos estudos de casos de serviços de atendimento médico emergencial brasileiros. São exemplos: análise do sistema Anjos do Asfalto (MENDONÇA; MORABITO, 2000), análise da configuração do SAMU (SOUZA, 2010) e análise do sistema da Concessionária de Rodovia Centrovias (IANNONI; MORABITO, 2006).

No entanto, os autores e trabalhos supracitados propuseram a aplicação da ferramenta em sistemas médico emergenciais. Diante disto, a análise do serviço de socorro mecânico oferecido pela Autopista Litoral Sul é uma proposta inédita na literatura pesquisada, sendo objeto de referência para futuras produções acadêmicas e/ou profissionais.

A modelagem da ferramenta implica em alto custo computacional devido à resolução de complexos sistemas de equações. O desenvolvimento de um algoritmo para auxiliar na análise deve facilitar o cumprimento dos objetivos e o programa pode ser utilizado para examinar outros sistemas emergenciais.

Somado a isto, Valente *et al.* (2008) mencionam que “a qualidade na prestação de serviços é um assunto recente e no setor de transportes ainda é incipiente, sobretudo no transporte de cargas”. Tais comentários demonstram a importância de estudos acadêmicos em qualidade na prestação de serviços de transportes.

O foco deste trabalho é a avaliação da qualidade do serviço de socorro mecânico a veículos pesados oferecido pela Autopista Litoral Sul, uma vez que são esses veículos transportam as cargas (correspondendo a 52% da matriz de transportes) e fazem o transporte coletivo de pessoas.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, incluindo este introdutório. O capítulo dois apresenta a fundamentação teórica, considerando os conceitos de sistemas de atendimento, qualidade e nível de serviço em transportes, panorama de concessões rodoviárias no Brasil e no mundo e, o Modelo Hipercubo.

O capítulo três apresenta o estudo de caso sobre o sistema de socorro mecânico da ALS, bem como a configuração do sistema em relação ao Modelo Hiper-cubo. O capítulo quatro demonstra os resultados obtidos e as discussões. Por fim, o capítulo cinco traz as conclusões do estudo e as recomendações para trabalhos futuros.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo são abordados o panorama de concessões rodoviárias no Brasil e no mundo, as definições de qualidade e nível de serviço e os conceitos de sistemas de atendimento e o Modelo Hipercubo de Filas. Tais abordagens contextualizam a problemática apresentada anteriormente, além de reconhecerem a importância do estudo.

### **2.1 PANORAMA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES**

#### **2.1.1 Brasil**

Este tópico apresenta as rodovias brasileiras sob administração da iniciativa privada, bem como todas as concessões de rodovias federais, sob regulação da ANTT.

A concessão de rodovias com pagamento de pedágio garante o investimento e a manutenção constante necessária em trechos rodoviários estratégicos para o desenvolvimento da infraestrutura do país. São rodovias com fluxo intenso de veículos e, conseqüentemente, com desgaste rápido do pavimento que nem sempre consegue ser recuperado com recursos públicos. Além da manutenção, as concessionárias também prestam serviços de atendimento aos usuários, em especial, o atendimento médico de emergência em acidentes e o serviço de guincho para veículos avariados na rodovia (ANTT, 2014c).

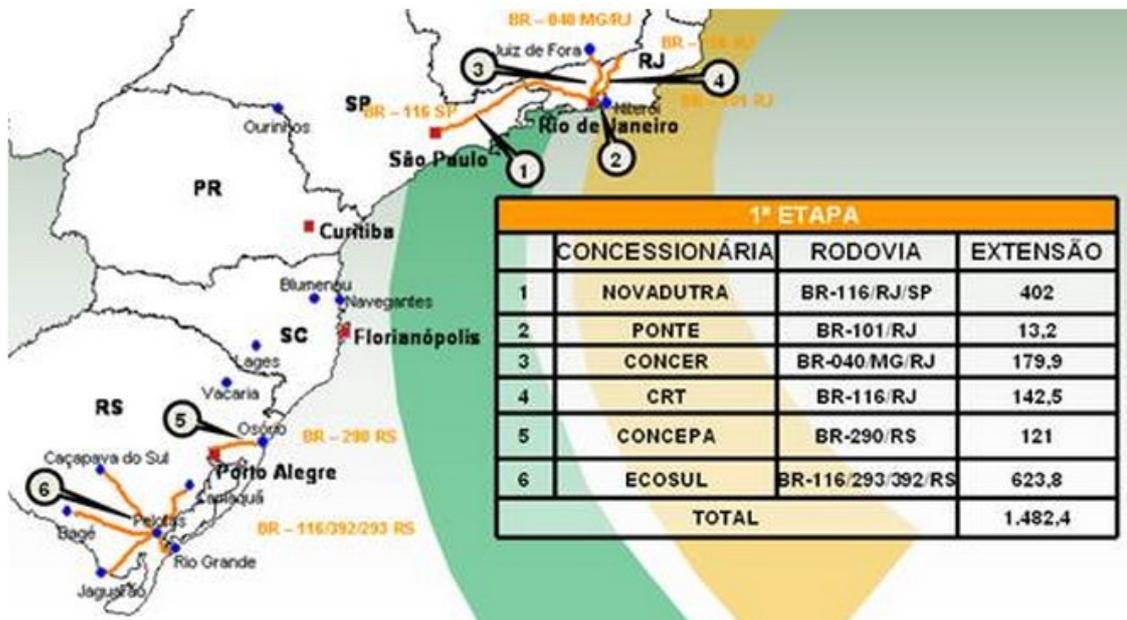
Como já afirmado anteriormente, em 2013, 57 concessionárias brasileiras estavam associadas à ABCR, correspondendo a 7% da malha rodoviária pavimentada no Brasil (ABCR, 2014). A CNT, por meio de seus relatórios, aponta que os trechos concedidos à iniciativa privada são os que apresentam as melhores condições de segurança, conforto e qualidade (CNT, 2014).

Considerando somente a malha rodoviária federal concedida, a ANTT demonstra que haviam 15 trechos concedidos em 2013. No entanto, até outubro de 2014, mais seis trechos foram leiloados e concedidos à administração de empresa privadas, totalizando 21 segmentos.

A ANTT divide as concessões rodoviárias em três etapas. A primeira etapa ocorreu entre 1994 e 1997 e concedeu seis lotes, demonstrados na Figura 1. Já a

segunda etapa, dividida em duas fases e ocorrida em 2008 e 2009, concedeu oito lotes, demonstrados nas Figuras 2 e 3 (um deles, o sétimo, é o da ALS) e a terceira etapa, que ocorre entre 2013 e 2014, pretende conceder mais nove lotes. Além disso, o Ministério dos Transportes já publicou, no Diário Oficial da União (DOU), editais de chamamento público para elaboração de estudos para novas concessões rodoviárias (ANTT, 2014c; ANTT, 2014d; BARBO *et al.*, 2010).

Figura 1: Concessões de rodovias federais - 1ª etapa



Fonte: Barbo *et al.*, 2010

Figura 2: Concessões de rodovias federais - 2ª etapa – Fase I



Fonte: Barbo *et al.*, 2010

Figura 3: Concessões de rodovias federais - 2ª etapa – Fase II



Fonte: Barbo *et al.*, 2010

Para todas as concessões federais, a ANTT exige que o serviço de socorro mecânico nas rodovias administradas deve ser oferecido pela Concessionária de forma gratuita, sem custo adicional ao usuário.

Percebe-se que o governo federal, por meio da ANTT, e os governos estaduais são favoráveis à concessão rodoviária, uma vez que diversos trechos já estão sob administração da iniciativa privada e outros serão concedidos em breve.

### 2.1.2 Outros países

Este tópico apresenta um breve panorama de concessões rodoviárias em outros países, além de abordar como é operado o serviço de socorro mecânico.

#### 2.1.2.1 Concessões rodoviárias no mundo

Os dados internacionais mostram que pelo menos 74 países possuem rodovias pedagiadas, incluindo o Brasil. Os governos repassam aos usuários os custos de ampliação, modernização, operação e manutenção de rodovias. Em alguns países (por exemplo, a África do Sul), as concessões são administradas por entidades estatais, enquanto em outros, como a França, predominam empresas privadas. A quantidade de rodovias pedagiadas vem crescendo, principalmente nos continentes asiático e americano (ABCR, 2014).

Países com características socioeconômicas muito diferentes como Brasil, França, Espanha, Estados Unidos e Japão, por exemplo, possuem rodovias

pedagiadas. No entanto, a experiência prática mostra alguns paradoxos. Um exemplo é que em países desenvolvidos, onde espera-se maior disponibilidade de recursos públicos para financiamento da infraestrutura rodoviária, há maiores experiências mundiais da participação privada em rodovias (SENNA; MICHEL, 2006).

A qualidade na prestação dos serviços também é um tema de extrema importância nas concessões ao redor do mundo, sendo avaliada e medida pelos órgãos responsáveis. Marinho (2006), por exemplo, analisou a qualidade dos serviços em sistemas rodoviários nos Estados Unidos da América, França, Bélgica, Espanha, Portugal, Itália e Nova Zelândia.

#### 2.1.2.2 Desempenho do serviço de socorro mecânico

A literatura pesquisada não apresenta informações sobre a configuração do serviço de socorro mecânico em rodovias do exterior. No entanto, realizou-se uma pesquisa em *sites* de concessionárias e órgãos reguladores de outros países.

A pesquisa revelou que a *Federal Highway Administration* (FHA), do *U.S. Department of Transportation*, também determina somente a remoção dos veículos avariados para um local seguro e não para oficinas (FHA, 2014). Especificamente para a concessionária americana *Indiana Toll Road*, o serviço de socorro é oferecido mediante solicitação e há um limite de duas horas para atendimento a veículos com deficiência (Indiana Toll Road, 2014).

O *site* do Grupo Brisa, que detém a responsabilidade pelas operações em grande parte das rodovias portuguesas concedidas, indica que o serviço de socorro mecânico é pago e custa € 40. Esse serviço inclui a manutenção eletro/mecânica do veículo no local da ocorrência para casos onde se possa resolver o problema em até 30 minutos. Caso não seja possível, o veículo é rebocado para o local mais próximo ou um local indicado pelo usuário, sendo que o próprio usuário deve indicar o prestador do serviço. Se o usuário não tiver preferência por um prestador, a Brisa se encarrega de acionar o recurso, informando o custo (BRISA, 2014).

Percebe-se que os serviços de socorro mecânico praticados no exterior são diferentes do modelo brasileiro e possuem um custo extra ao usuário, enquanto no Brasil deve ser fornecido gratuitamente pela concessionária da rodovia.

## 2.2 QUALIDADE EM SERVIÇOS DE TRANSPORTE

### 2.2.1 Conceituação

Para que haja entendimento de o que é qualidade em serviços, primeiramente é importante definir alguns termos, conforme indica Lima Júnior (1995):

- Cliente: quem sofre o impacto do serviço, podendo ser interno ou externo à empresa. Desta forma, são exemplos: fornecedores, acionistas, funcionários e sociedade;
- Usuário: são os clientes que executam ações positivas em relação ao produto, incluindo empresas, revendedores e consumidores. Para o serviço de socorro mecânico, considerar-se-á o motorista do veículo;
- Nível de serviço: em transportes, o termo nível de serviço é utilizado como a medida da qualidade técnica dos processos, como: através do tamanho das filas, níveis de congestionamentos, tempos de espera e índices de avarias. O Modelo Hipercubo permite o cálculo de diversos parâmetros de desempenho, que podem indicar o nível de serviço;
- Aspectos tangíveis: relacionados às evidências físicas do serviço. Mais perceptíveis em produtos, não em serviços;
- Confiabilidade: consiste em desempenhar o serviço prometido, de forma confiável, correta, concisa e precisa;
- Responsividade: capacidade de realizar o serviço prontamente, com rapidez e criatividade;
- Confiança: conhecimento, competência e cortesia dos empregados e sua habilidade de transmitir confiança;
- Empatia: engloba os aspectos relativos a cuidados e atenção individualizada, acessibilidade, comunicação na linguagem do cliente e entendimento e conhecimento do cliente.

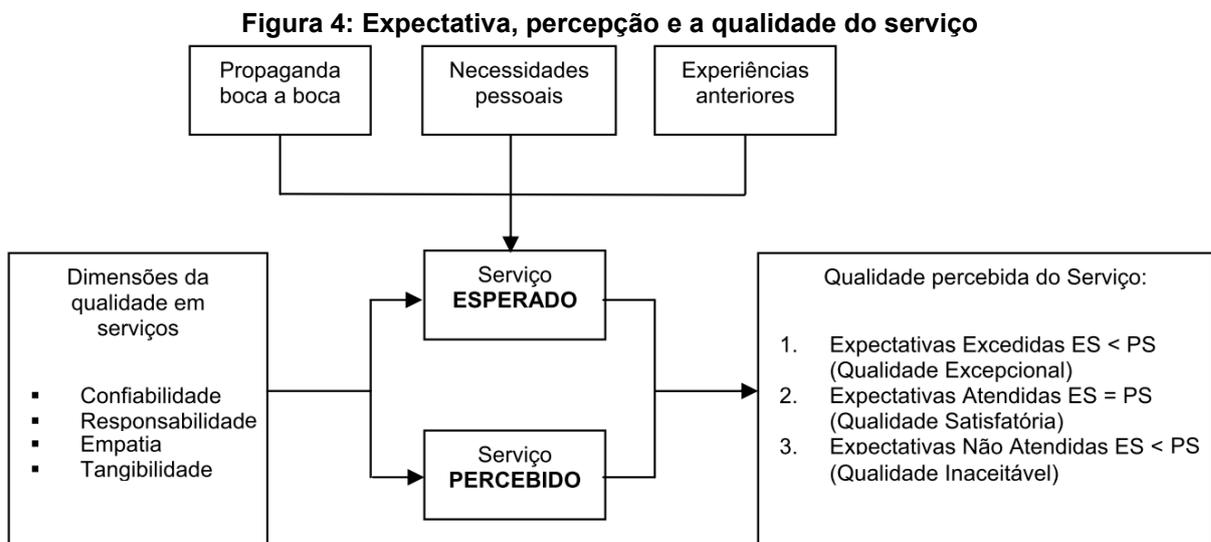
Já o termo “qualidade”, segundo Juran (1990), “é a adequação ao uso, isto é, o nível de satisfação alcançado por um determinado produto no atendimento aos objetivos do usuário, durante o seu uso”.

Especificamente sobre qualidade em serviços, Zeithaml, Berry e Parasuraman (1985) identificam três pontos importantes:

- Qualidade de serviços é mais difícil de ser avaliada pelos clientes do que a qualidade de produtos, principalmente devido a sua intangibilidade;
- A percepção da qualidade de serviço resulta da comparação das expectativas dos consumidores com o desempenho do serviço utilizado;
- A avaliação da qualidade de serviço tem que levar em conta o resultado do serviço, bem como o processo de prestação do serviço.

Siqueira (2006) indica que autores concordam que a satisfação do cliente é uma avaliação passageira, enquanto a qualidade de serviço é formada por uma avaliação global de um desempenho a longo prazo. No entanto, a satisfação com um serviço ajuda o cliente/usuário a reconsiderar percepções da qualidade do serviço.

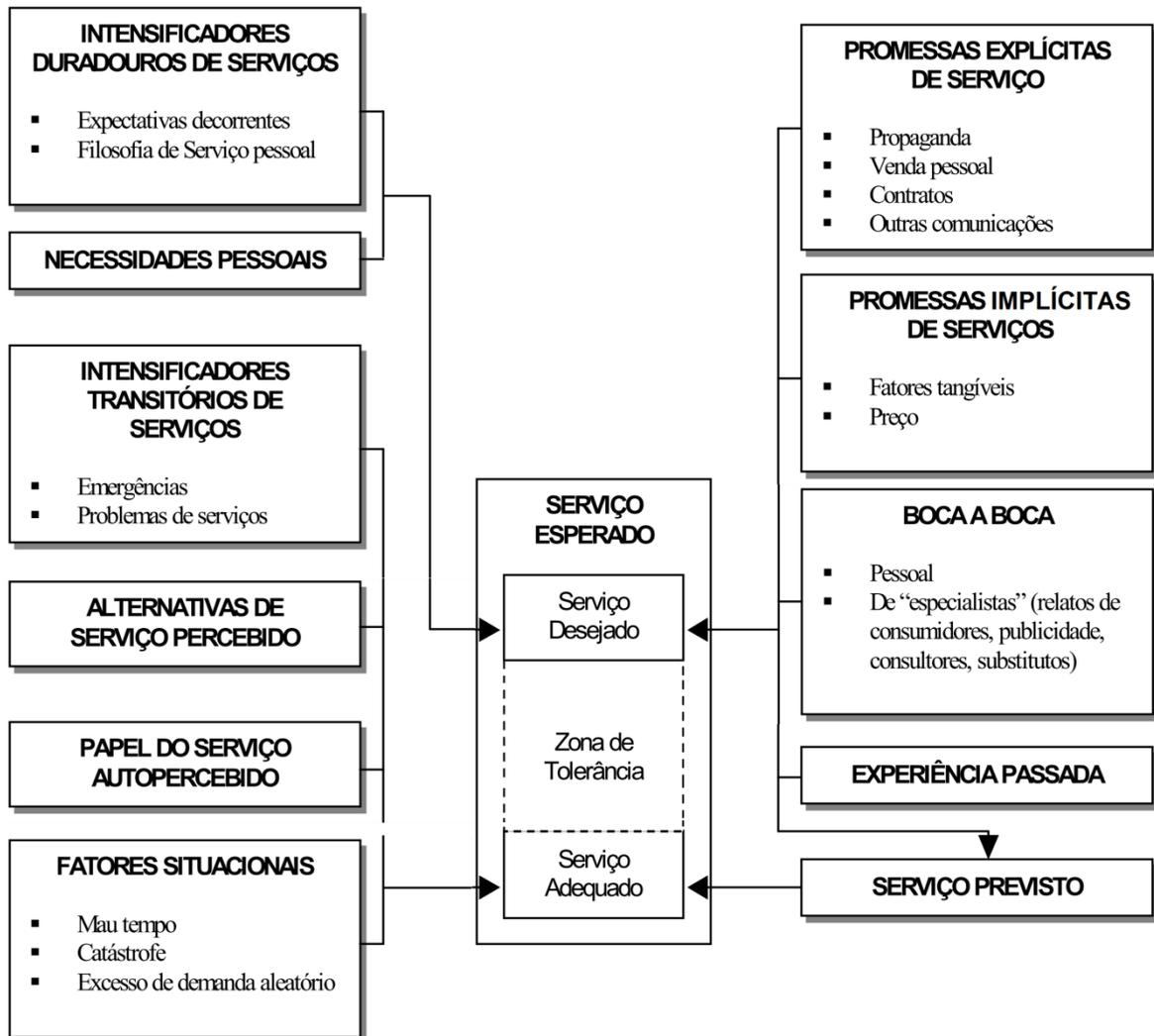
Ainda segundo Siqueira (2006), a satisfação do cliente com a qualidade do serviço pode ser definida pela comparação entre a percepção do serviço prestado e a expectativa do serviço desejado. Um serviço pode ser considerado de qualidade excepcional quando a percepção é maior que a expectativa, enquanto o oposto resulta em um serviço de qualidade inaceitável. A Figura 4 explicita este processo.



Fonte: Adaptado de Zeithaml; Berry, 1985, p. 48 *apud* Siqueira, 2006, p. 70

Apesar de haver uma expectativa e uma percepção em relação a um serviço, há também uma zona de tolerância entre o serviço desejado pelo usuário (máximo aceitável) e o serviço adequado oferecido pelo operador (mínimo aceitável). Tal zona existe devido a diversos fatores, que são demonstrados na Figura 5.

**Figura 5: Serviço desejado e adequado e os fatores de influência**



Fonte: Zeithaml; Berry; Parasuraman, 1993, p. 05 *apud* Siqueira, 2006, p. 74

Portanto, como apresentado na Figura 5, o usuário tolera que o serviço não atenda as suas expectativas devido a vários fatores como: excesso de demanda, mau tempo, emergências e experiência passada. Esses fatores fazem existir uma zona de tolerância entre o serviço adequado e o desejado.

A qualidade em transportes, de acordo com Lima Júnior (1995), está bastante ligada ao conceito de nível de serviço. Além disso, o nível de satisfação, no caso dos

serviços de transportes, é dependente das expectativas e percepções dos usuários em relação ao serviço e também determina a qualidade do serviço.

Com base nisso, avaliar o nível de serviço do sistema de atendimento mecânico da ALS e, por consequência, sua qualidade permitirá que se verifique se o serviço oferecido é adequado. Espera-se que o serviço seja compatível com a expectativa do usuário, sendo, portanto, um serviço excepcional e reconhecido no curto e no longo prazo. Para isto, alterações podem ser necessárias e este trabalho avaliará esses pontos.

### **2.2.2 Confiabilidade**

Conforme discutido no tópico 1.1, um sistema emergencial deve ser reconhecido pela sua qualidade e não pode perder a confiabilidade. Lima Júnior (1995) conceitua que confiabilidade é desempenhar o serviço prometido de forma confiável, correta, concisa e precisa.

Já Valente *et al.* (2008) afirmam que a confiabilidade é o mais alto valor existente no serviço de transporte e isso traz uma grande responsabilidade. No entanto, os autores confirmam que não se ganha confiança de um momento para o outro, nem é possível mantê-la de maneira simples.

Deste modo, um sistema de atendimento emergencial deve operar com o objetivo de atender as expectativas dos usuários de modo que seja reconhecido por sua qualidade e confiabilidade. A avaliação de um sistema já operante, a proposta de melhorias e o planejamento para o futuro podem permitir o ganho de confiança e sua manutenção.

### **2.2.3 Planejamento para o futuro**

Também é importante simular o futuro do serviço (com estudo da demanda atual e futura) para servir de base para um planejamento operacional, uma vez que o serviço será oferecido por vários anos e é dimensionado no presente (VALENTE *et al.*, 2008). Considerando uma concessão rodoviária, o horizonte de planejamento pode ser o prazo para término do contrato e dos serviços. No caso da ALS, que assinou um contrato de 25 anos, o prazo é fevereiro de 2033.

A aplicação da gestão da qualidade e o planejamento do futuro do serviço possibilita, segundo Valente *et al.* (2008):

- Aumentar a produtividade e reduzir custos;
- Aumentar a competitividade no mercado;
- Criar ou perceber novas oportunidades de negócios;
- Aprimorar o desempenho dos serviços.

São interesses do presente estudo o aprimoramento do desempenho do serviço, o aumento da produtividade e a redução de custos. Portanto, o planejamento é de extrema importância para a qualidade do serviço de socorro mecânico.

### 2.3 SISTEMAS DE ATENDIMENTO EMERGENCIAL

De acordo com Takeda (2000), a exigência da implantação de instalações que comportem serviços que atendam às necessidades básicas do cidadão tem sido crescente nos últimos anos. São exemplos desses serviços: energia elétrica, rede de saneamento e sistemas de comunicações.

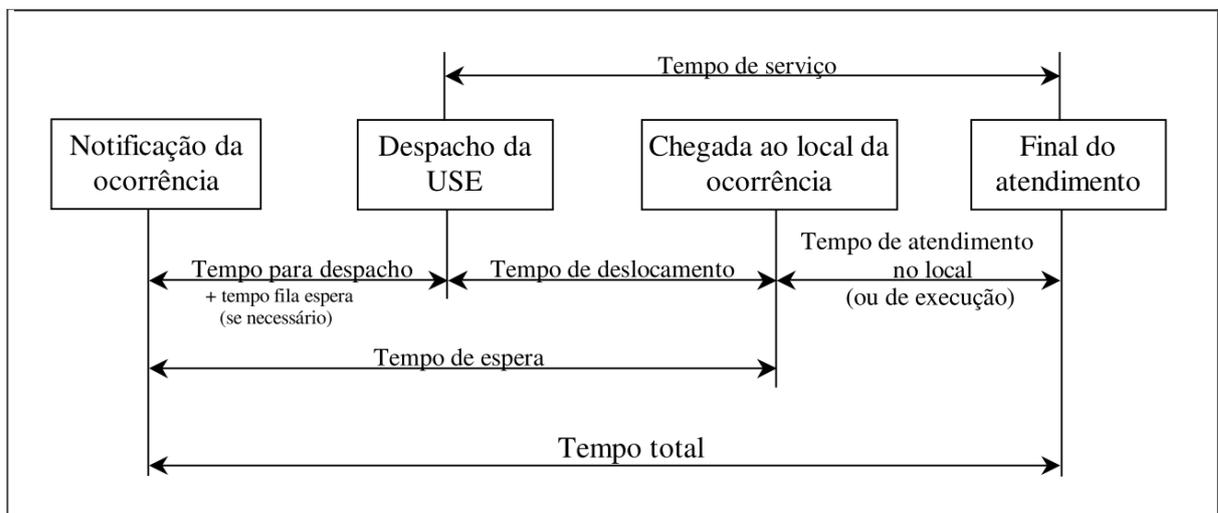
Os serviços urbanos de atendimento à população podem ser classificados em três grupos: rotineiros, semiemergenciais e de emergência (GONÇALVES, 1994). Os serviços rotineiros são previsíveis e regidos por padrões estatísticos bem definidos. Já os serviços semiemergenciais apresentam alto grau de incerteza, no entanto, longas esperas não implicam em graves consequências para os usuários. Nos serviços de emergência, o grau de incerteza envolvido também é muito alto, porém o tempo de resposta deve ser baixo e, nesses casos, atrasos no início do atendimento podem trazer sérios problemas:

Uma análise determinística de tais fenômenos pode levar a conclusões desacertadas, uma vez que nem sempre são incorporadas as variabilidades dos processos. Portanto, para uma boa avaliação de desempenho de sistemas emergenciais, é indispensável o uso de ferramentas probabilísticas, obtendo-se assim, indicadores que melhor refletem a realidade observada (TAKEDA, 2000, p. 11).

Cada ocorrência que exija o acionamento de um sistema emergencial possui, no mínimo, quatro etapas no processo do atendimento: notificação da ocorrência, despacho de uma unidade do sistema, chegada ao local da solicitação e atendimento à ocorrência (COSTA, 2003).

Entre cada etapa do processo há um tempo decorrido, que são: tempo para despacho, tempo de deslocamento, tempo de espera, tempo de atendimento no local, tempo de serviço e tempo total. Tais etapas e tempos são demonstrados na Figura 6. O tempo mais importante é o de espera, que é a soma dos tempos de despacho e de deslocamento (COSTA, 2003). O parâmetro de desempenho avaliado pela ANTT avalia justamente o tempo de espera, que envolve o tempo para início do atendimento da Unidade de Serviço Emergencial (USE).

**Figura 6: Etapas do processo de atendimento e os tempos entre cada etapa**



Fonte: Costa, 2003, p. 07

Dependendo do sistema, o tempo de espera pode não existir. Caso o sistema não permita formação de fila, este tempo não existe. O tempo de deslocamento depende da posição inicial da unidade em relação ao local da ocorrência, condições de tráfego, horário do dia, dia da semana, estação do ano, condições climáticas e outros fatores (COSTA, 2003).

Diante do exposto e em consonância com o indicado no tópico 1.1, abordar-se-á o sistema de socorro mecânico como um sistema de emergência justificado pelo baixo tempo de resposta e devido à ANTT considerá-lo um sistema de atendimento emergencial. O uso do Modelo Hipercubo, que é uma ferramenta probabilística, é adequado e analisa o sistema considerando os tempos entre as etapas do processo de atendimento.

## 2.4 MODELO HIPERCUBO

Este tópico apresenta uma revisão bibliográfica do Modelo Hiper cubo, que foi escolhido para modelar o problema em estudo, apresentando algumas considerações, hipóteses, exemplo de aplicação, além de equações e medidas de desempenho a serem adotadas.

### 2.4.1 Considerações iniciais

O Modelo Hiper cubo foi proposto por Larson (1974), sendo aplicado para avaliar o sistema de patrulhamento policial da cidade de Nova Iorque. Desde então, o modelo é aperfeiçoado por diversos autores para avaliar sistemas com características distintas das consideradas por Larson, tais como: análise do sistema do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SOUZA, 2010), aplicação no sistema médico emergencial Anjos do Asfalto da Rodovia Presidente Dutra (MENDONÇA; MORABITO, 2000) e avaliação do centro de emergência da polícia militar de Santa Catarina (OLIVEIRA, 2003).

Dentre as diversas aplicações do modelo está o planejamento de áreas de atuação e patrulhamento policial, de áreas de cobertura para ambulâncias ou veículos de reparo, de visitas do serviço social, entre outras (LARSON; ODONI, 1981).

O modelo não constitui uma técnica de otimização, selecionando uma configuração ótima, mas fornece uma sofisticada avaliação de desempenho, permitindo assim a escolha da melhor alternativa operacional para o sistema (HALPERN, 1977 *apud* TAKEDA, 2000).

O Hiper cubo considera a divisão da região estudada em átomos, onde cada átomo é uma fonte de chamadas/solicitações por atendimento ou serviço. Esse atendimento ou serviço é feito por uma unidade, localizada em um ponto fixo (base), chamada servidor (MENDONÇA; MORABITO, 2000).

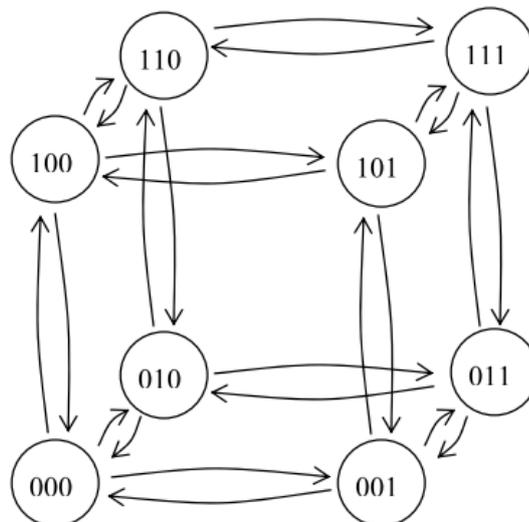
Os átomos atendidos por um servidor, quando todos os servidores estão disponíveis, compreendem a área de cobertura preferencial. No entanto, se o servidor da cobertura preferencial estiver ocupado, outro servidor pode ser acionado para a ocorrência, caracterizando, portanto, um *backup*.

Deste modo, os átomos possuem taxas de chamadas,  $\lambda$ , baseadas no processo de Poisson (SOUZA, 2010). Já os servidores possuem taxas de atendimento,  $\mu$ , as quais consideram o tempo de preparação da equipe (ser acionado, conferir os equipamentos e entrar no veículo), o tempo de deslocamento até o local da chamada, o tempo de atendimento ao evento e o tempo de retorno à base. Para o estudo proposto, no caso de guinchos a penúltima parcela pode levar em consideração o reboque do veículo avariado até um local seguro.

Os servidores podem ser representados num espaço de estados e o nome Hipercubo advém desse espaço. Um servidor pode estar, em um dado momento, em dois estados: livre ou ocupado. No caso de estar livre, o servidor recebe o número 0 (zero) e, se estiver ocupado, recebe o número 1 (um). O número de estados possíveis varia com a quantidade de servidores, obedecendo ao total de  $2^N$  estados, onde  $N$  é o número de servidores.

O espaço do estado para um sistema com três servidores é dado pelos vértices de um cubo. Para um número de servidores maior que três, a noção de cubo é transportada para o espaço  $n$ -dimensional, chamado hiperespaço, e assim o nome hipercubo (Oliveira, 2003). A Figura 7 apresenta o espaço de estados para três servidores.

**Figura 7: Espaço de estados para três servidores**



Fonte: Souza, 2010

Para exemplificar, considerando um sistema com três servidores, o qual terá  $2^3 = 8$  estados possíveis. Um dos estados é o 001, o qual representa que os

servidores 2 e 3 estão livres, enquanto o servidor 1 está ocupado. Percebe-se, portanto, que os servidores são representados da direita para a esquerda.

#### 2.4.2 Hipóteses do modelo

Segundo Larson e Odoni (1981), o Modelo Hipercubo apresenta nove hipóteses que devem ser verificadas para a validação do modelo:

1. Átomos Geográficos: A região estudada e que é atendida pelos servidores pode ser dividida em  $N_A$  átomos geográficos, sendo cada átomo (área de atuação) modelado como um único ponto localizado próximo ao centro desta área. Atualizações do modelo propõem que cada átomo pode ser atendido por um servidor específico (área de cobertura primária) ou por *backups*.

2. Processo de chegada como processo de Poisson independente: As chamadas são geradas de forma independente em cada átomo  $i$  segundo processo de Poisson, com taxa média  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N_A$ ) constantes no tempo, possíveis de medição ou estimação. No caso de guinchos, as taxas de chegada podem ser estimadas por solicitações de atendimento no átomo por meio de análise de dados históricos.

3. Tempo de viagem: Os tempos médios de viagem  $\tau_{ij}$  entre o átomo  $i$  até o átomo  $j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, N_A$ ) deverão ser conhecidos. Para o caso de uma rodovia, os tempos podem ser calculados pela relação da distância entres os átomos e a velocidade a ser desenvolvida pelos servidores.

4. Servidores: O sistema é composto por  $N$  servidores espacialmente distribuídos ao longo da região, que podem se deslocar e atender qualquer um dos átomos. Esta hipótese pode ser relaxada, passando a considerar que os átomos são atendidos somente por um servidor principal ou por seu *backup*, conforme demonstrado por Mendonça e Morabito (2000).

5. Localização dos servidores: A localização de cada servidor é conhecida e neste trabalho considerar-se-á como a base operacional, ou seja, local onde o veículo fica posicionado esperando o acionamento para uma ocorrência. Alguns sistemas possuem mais de um servidor em uma base, caracterizando servidores colocalizados.

6. Despacho de um servidor: Pelo modelo de Larson e Odoni (1981), um único servidor é acionado para o local da ocorrência. O modelo não representa, de maneira adequada, situações em que mais de uma unidade é despachada para a mesma chamada, porém certos sistemas consideram o despacho de mais veículos, colocalizados ou não (múltiplo despacho).

Alguns sistemas permitem a formação de filas, quando os servidores estão ocupados e há a chegada de mais chamadas; no entanto, alguns sistemas não permitem formação de filas e transferem o atendimento para outro sistema (serviço terceirizado, por exemplo). O sistema de socorro mecânico em rodovia concedida exemplifica este último caso, pois o serviço deve ser realizado o mais rápido possível, sem possibilidade de espera.

7. Política de despacho de servidores: O sistema pode operar com qualquer política de despacho, levando em consideração regiões de preferência. Neste caso há uma lista da preferência para cada átomo (prioriza-se o servidor principal e, na sua ausência, aciona-se seu *backup*). Se o primeiro servidor (preferencial) desta lista estiver disponível, ele é despachado para atender a chamada no átomo, caso contrário, o próximo servidor disponível na lista (*backup*) é despachado.

8. Tempo de atendimento: O tempo total de atendimento de uma chamada inclui o tempo de preparo do servidor, tempo de deslocamento ao local do evento, tempo de realizações do serviço no local e o tempo de retorno à base. Conforme mencionado no item 2.4.1, serviços de guincho podem considerar o reboque a um local seguro, aumentando o tempo de realização do serviço. Os servidores podem ter diferentes tempos médios de atendimento (servidores não homogêneos) e, conseqüentemente, taxas de atendimento  $\mu_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) diferentes.

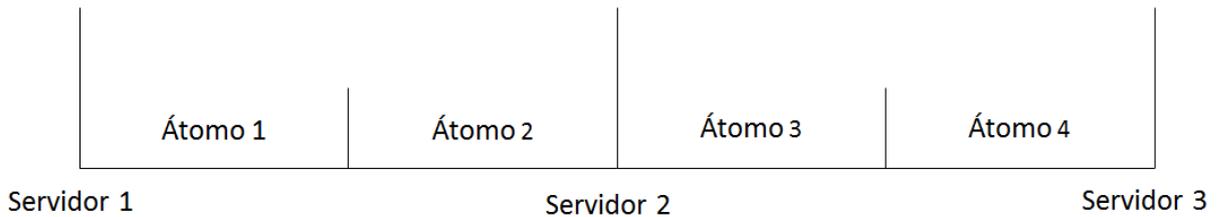
9. Dependência do Tempo de Atendimento em relação ao Tempo de Viagem: As variações no tempo de atendimento causadas pelo tempo de viagem são de ordem secundária quando comparadas com as variações de tempo de execução e/ou tempo de preparação, ou seja, os fatores que mais impactam no tempo de atendimento são os tempos de execução do serviço e de preparação e o tempo de viagem/deslocamento pouco interfere no tempo total de atendimento.

Se o sistema em análise atender todas as nove hipóteses apresentadas acima, o Modelo Hipercubo pode ser utilizado para avaliar tal sistema.

### 2.4.3 Política de despacho

A fim de exemplificar e explicar melhor o funcionamento do modelo, apresenta-se a política de despacho para um sistema hipotético. A Figura 8 mostra a configuração da região, a localização dos átomos e dos servidores (neste trabalho, consideram-se as bases).

**Figura 8: Átomos e servidores do exemplo**



Fonte: Elaborada pelo autor

No Quadro 1 apresenta-se a política de despacho para o sistema da Figura 8 (três servidores idênticos e quatro átomos), em que um único veículo atende a solicitação (único despacho), havendo *backup* e possibilidade de perda (considera-se como perda um atendimento não realizado pela concessionária e, sim, por uma empresa terceirizada).

**Quadro 1: Política de despacho**

Átomo	Opção 1 (preferencial)	Opção 2 ( <i>backup</i> )
1	Servidor 1	Servidor 2
2	Servidor 2	Servidor 1
3	Servidor 2	Servidor 3
4	Servidor 3	Servidor 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Dados os átomos e os servidores (as bases) da região de estudo, bem como a política de despacho dos veículos, podem-se definir os estados do sistema, as suas transições e as equações de equilíbrio, conforme apresentado no tópico a seguir.

### 2.4.4 Transições dos estados e equações de equilíbrio

#### 2.4.4.1 Transições dos estados

No Modelo Hipercubo se admite que a possibilidade de ocorrência de duas chamadas simultâneas é nula, assim como também é nula a possibilidade de finalização de atendimento de dois servidores ao mesmo tempo.

Para o caso de três servidores, como já discutido, o sistema tem oito possíveis estados: (000), (001), (010), (100), (011), (101), (110), (111), os quais são ligados entre si por um cubo, como demonstrado na Figura 7.

Considerando o sistema com três servidores (caso da Figura 8) e o estado 001 (somente o servidor 1 ocupado e os demais livres), se ocorrer uma chamada do átomo 1, o servidor 2 será acionado, pois é o *backup* do átomo. Para o estado 001, tem-se três possíveis transições de estado, que são:

- (101)  $\rightarrow$  (001) e (001)  $\rightarrow$  (101): o servidor 3 finaliza um atendimento ou é acionado para uma ocorrência, respectivamente;
- (011)  $\rightarrow$  (001) e (001)  $\rightarrow$  (011): o servidor 2 finaliza um atendimento ou é acionado para uma ocorrência, respectivamente;
- (001)  $\rightarrow$  (000) e (000)  $\rightarrow$  (001): o servidor 1 finaliza o atendimento ou é acionado para uma ocorrência, respectivamente.

Para o servidor 2 tornar-se ocupado (o que configura a transição de 001 para 011), deve ocorrer uma chamada dos átomos 1, 2 ou 3, ou seja, ocorrer  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  ou  $\lambda_3$ . Esta possibilidade é representada na Figura 9 (a). Já para ocorrer a transição de 011 para 001, o servidor 2 deve finalizar um atendimento, ou seja, ocorrer  $\mu_2$ , o que é representado na Figura 9 (b). A Figura 10 apresenta todas as possíveis transições do estado 001, bem como suas taxas de chegada ( $\lambda$ ) e de atendimento ( $\mu$ ).

**Figura 9: Transições do estado 001 para o estado 011 e do estado 011 para o estado 001**

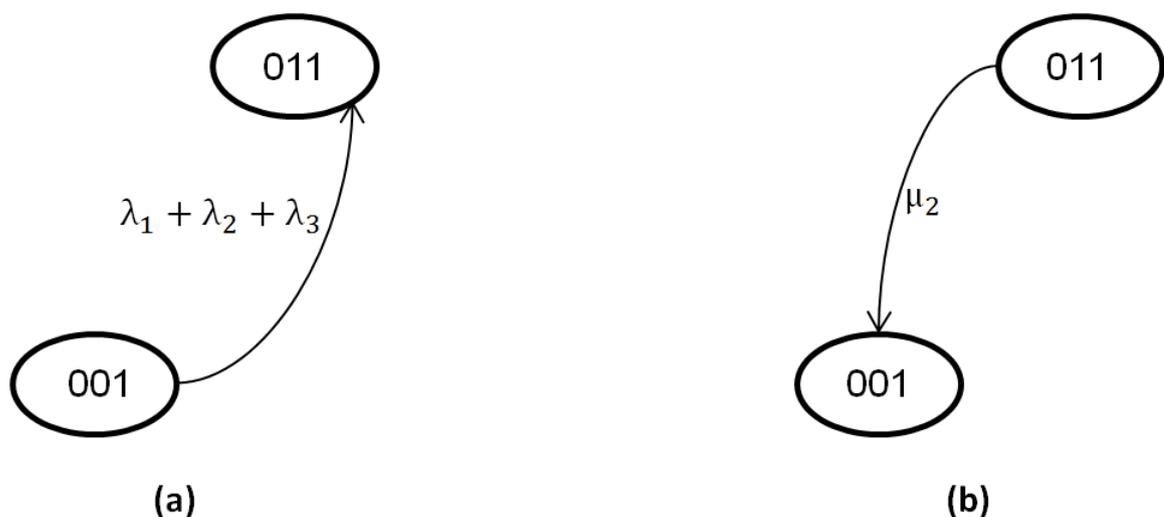
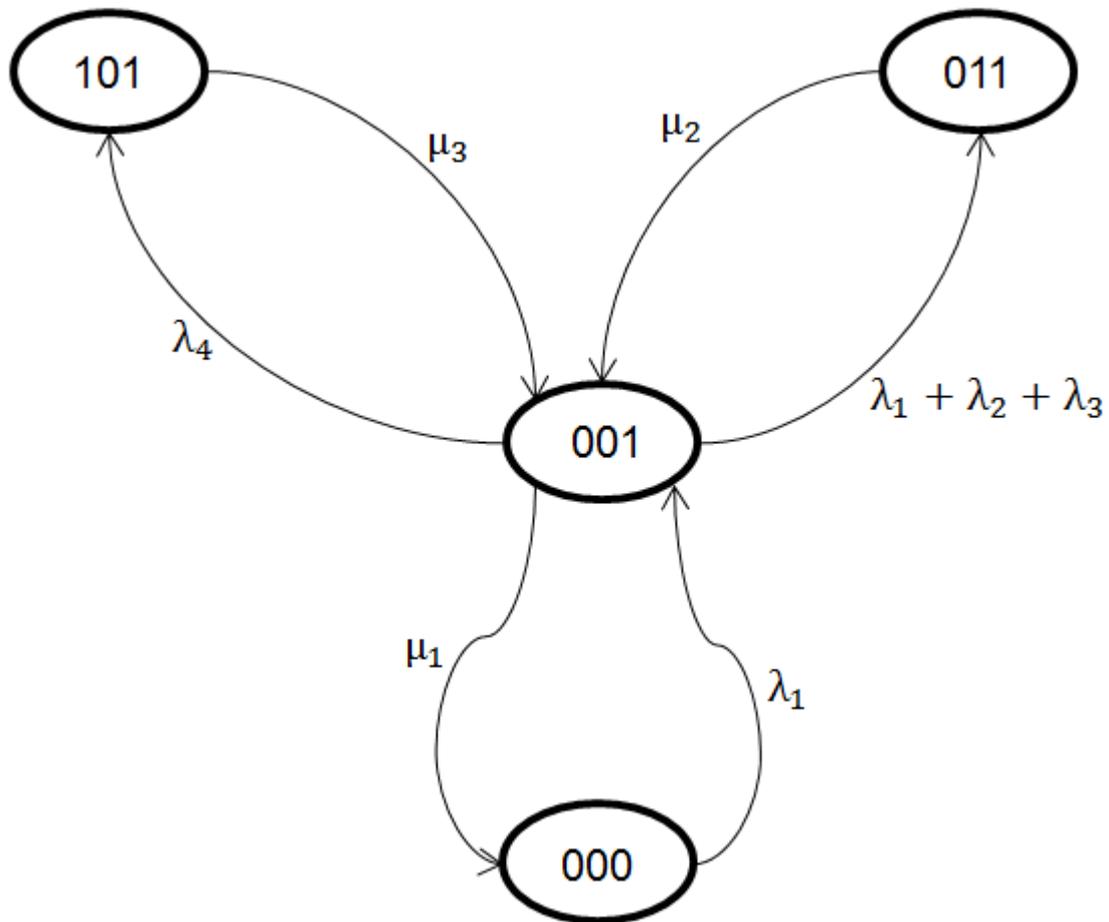


Figura 10: Possíveis transições do estado 001



Fonte: Elaborada pelo autor

#### 2.4.4.2 Equações de equilíbrio

O cálculo das probabilidades de ocorrência dos estados é dado a partir da construção das equações de equilíbrio para o sistema. As equações são definidas supondo-se que o sistema atinja equilíbrio. Deste modo, para cada estado do sistema, o fluxo que entra neste estado deve ser igual ao fluxo que sai do estado, considerando as taxas de chamadas/chegadas e as taxas de atendimento (MENDONÇA; MORABITO, 2000).

No equilíbrio, cada estado possui uma probabilidade de ocorrência. Neste trabalho, os valores das taxas de chegada e de atendimento são conhecidos por meio de dados históricos de uso do sistema, sendo utilizados os dados de ocorrência de janeiro de 2013 a junho de 2014 no trecho administrado pela ALS (ALS, 2014).

A equação (1) apresenta a equação de equilíbrio para o estado 001.

$$\lambda_1.P_{000} + \mu_2.P_{011} + \mu_3.P_{101} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \mu_1).P_{001} \quad (1)$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  e  $\lambda_4$ : taxa de chegada dos átomos 1, 2, 3 e 4, respectivamente;

$\mu_1, \mu_2$  e  $\mu_3$ : taxa de atendimento dos servidores 1, 2 e 3, respectivamente;

$P_{000}, P_{011}, P_{101}$  e  $P_{001}$ : probabilidade de ocorrência dos estados 000, 011, 101 e 001, respectivamente.

Deste modo, o número de equações de equilíbrio é o mesmo do número de estados, neste caso oito. Todas as equações são lineares e juntas configuram um sistema linear, que tem como variáveis as probabilidades de ocorrência dos estados.

No entanto, a utilização das oito equações de equilíbrio não garante a solução do sistema linear, pois se ele for visualizado na forma “ $A.x = b$ ”, as equações conduzem a um sistema com  $b = 0$ , isto é, os termos constantes das equações são todos nulos (CHIYOSHI; GALVÃO; MORABITO, 2000). Nessa forma, “ $A$ ” é a matriz de constantes que multiplicam as variáveis (probabilidades de ocorrência dos estados), que são representadas na matriz “ $x$ ”.

Assim, o sistema tem solução trivial com todas as probabilidades  $P$  iguais a 0 (zero). Além disso, ele é indeterminado, uma vez que é possível arbitrar o valor de uma probabilidade e se determinar as demais a partir dele. A explicação para essa indefinição é que as equações impõem condições de equilíbrio em torno de cada estado, mas não especificam a forma como a massa total de probabilidade se distribui entre esses estados (CHIYOSHI; GALVÃO; MORABITO, 2000).

Para contornar este problema, basta substituir uma das equações pela equação (2), uma vez que a soma de todas as probabilidades deve ser igual a 1 (um dos teoremas de estatística).

$$P_{000} + P_{001} + P_{010} + P_{100} + P_{011} + P_{110} + P_{101} + P_{111} = 1 \quad (2)$$

Assim, o conjunto das equações de equilíbrio forma um sistema de  $2^N$  equações lineares a ser resolvido por algum pacote matemático a fim de obter as probabilidades de cada estado do sistema.

O exemplo apresentado acima considera somente um tipo de chamado; no entanto, Iannoni e Morabito (2006) apresentam um estudo onde se considera mais de um tipo de chamado, ou seja, podem existir casos em que a política de despacho dos servidores varia com a necessidade. É um exemplo desse caso um acidente

com múltiplas vítimas, o qual exige a presença de mais de uma ambulância, diferente de um acidente comum, que conta com a presença de um único recurso.

Para a situação de mais de um chamado, os autores supracitados consideram uma pequena variação nas equações de equilíbrio. Considerando que, agora, o caso apresentado acima possui dois tipos de chamados e que cada átomo pode gerar esses dois tipos, a equação (1), modificada, altera-se para a equação (3):

$$(\lambda_1^1 + \lambda_1^2).P_{000} + \mu_2.P_{011} + \mu_3.P_{101} = (\lambda_1^1 + \lambda_1^2 + \lambda_2^1 + \lambda_2^2 + \lambda_3^1 + \lambda_3^2 + \lambda_4^1 + \lambda_4^2 + \mu_1).P_{001} \quad (3)$$

$\lambda_1^1$  e  $\lambda_1^2$ : taxa de chegada do tipo 1 do átomo 1 e do tipo 2 do átomo 1, respectivamente;

$\lambda_2^1$  e  $\lambda_2^2$ : taxa de chegada do tipo 1 do átomo 2 e do tipo 2 do átomo 2, respectivamente;

$\lambda_3^1$  e  $\lambda_3^2$ : taxa de chegada do tipo 1 do átomo 3 e do tipo 2 do átomo 3, respectivamente;

$\lambda_4^1$  e  $\lambda_4^2$ : taxa de chegada do tipo 1 do átomo 4 e do tipo 2 do átomo 4, respectivamente;

$\mu_1$ ,  $\mu_2$  e  $\mu_3$ : taxa de atendimento do servidor 1, 2 e 3, respectivamente;

$P_{000}$ ,  $P_{011}$ ,  $P_{101}$  e  $P_{001}$ : probabilidade de ocorrência do estado 000, 011, 101 e 001, respectivamente.

### 2.3.1 Medidas de desempenho

Com o cálculo das probabilidades dos estados pode-se quantificar o desempenho do sistema em análise por meio de algumas medidas que são abordadas a seguir. Todas as medidas são baseadas nos trabalhos de Mendonça e Morabito (2000) e Iannoni e Morabito (2006).

#### 2.4.5.1 Workload ( $\rho_n$ )

O *Workload* de cada servidor indica a fração de tempo que esse servidor permanece ocupado. A soma das probabilidades em que o servidor permanece ocupado, ou seja, tem valor 1, define o *Workload*. Para o caso de três servidores, o *Workload* do servidor 1 é dado pela equação (4).

$$\rho_1 = P_{001} + P_{011} + P_{101} + P_{111} \quad (4)$$

Outra medida de desempenho importante é a probabilidade de todos os servidores estarem livres, pois o sistema deve operar, na maior parte do tempo, na

ociosidade. Um valor alto de *Workload* pode indicar que um servidor está sobrecarregado e, portanto, devem ser tomadas medidas para reduzir seu valor a fim de aumentar a probabilidade de os servidores estarem livres.

#### 2.4.5.2 Probabilidade de perda ( $P_p$ )

Esta medida de desempenho indica qual é a probabilidade de chegar uma chamada ao sistema e esta não ser atendida devido aos servidores estarem ocupados, sendo despachada para outro sistema de atendimento (serviço terceirizado, por exemplo). Qualquer estado que tenha dois servidores adjacentes ocupados é um estado que pode ter perda de atendimento (MENDONÇA; MORABITO, 2000).

Tomando como base o exemplo do item 2.4.3, a probabilidade de perda do sistema é calculada pela equação (5).

$$P_p = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{\lambda} P_{011} + \frac{(\lambda_3 + \lambda_4)}{\lambda} P_{110} + \frac{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)}{\lambda} P_{111} \quad (5)$$

onde  $\lambda = \sum_{i=1}^{M_A} \lambda_i$  .

Para o caso de dois tipos de chamado, o correto é calcular a probabilidade de perda de atendimento de cada chamado. Assim, existiriam a probabilidade de perda para chamadas do tipo 1 ( $P_p^1$ ) e para chamadas do tipo 2 ( $P_p^2$ ) (IANNONI; MORABITO, 2006).

#### 2.4.5.3 Frequência de despacho de um servidor a um átomo ( $f_{ni}$ )

Este indicador demonstra com que frequência um servidor  $n$  é despachado para atender uma ocorrência no átomo  $i$ . Para tanto deve se levar em consideração a probabilidade de perda e a taxa de chegada total ( $\lambda$ ), que é a soma de todas as taxas  $\lambda_i$ . A frequência é dada pela equação (6).

$$f_{ni} = \frac{\lambda_i \sum_{E \in C_{ni}} P_E}{1 - P_p} \quad (6)$$

onde  $E$  é o estado do sistema e  $C_{ni}$  é o conjunto de estados que o átomo  $i$  é atendido pelo servidor  $n$ .

Para um sistema com dois tipos de chamado, há duas frequências para cada relação servidor-átomo. Assim, para as chamadas do tipo 1, a frequência é calculada pela equação (7), enquanto a equação (8) calcula a frequência para as chamadas do tipo 2.

$$f_{ni}^1 = \frac{\lambda_i^1 \sum_{E \in C_{ni}} P_E}{1 - P_p^1} \quad (7)$$

$$f_{ni}^2 = \frac{\lambda_i^2 \sum_{E \in C_{ni}} P_E}{1 - P_p^2} \quad (8)$$

onde  $\lambda^1$  e  $\lambda^2$  é o somatório das chamadas de todos os átomos para o tipo 1 e tipo 2, respectivamente.

#### 2.4.5.4 Fração de despachos de um servidor como *backup* ( $f_{nb}$ )

Esta medida explicita quanto um servidor  $n$  realiza seus atendimentos como *backup* de outro servidor (quando este está ocupado). A fração é calculada pela equação (9).

$$f_{nb} = \frac{\sum_{i \notin N_{Ai}} f_{ni}}{\sum_{i=1}^{N_A} f_{ni}} \quad (9)$$

onde  $N_{Ai}$  é o conjunto dos átomos para os quais o servidor  $n$  é o servidor preferencial.

Em caso de dois tipos de chamadas, a equação (9) também deve ser expandida, onde os termos " $f_{ni}$ " são calculados pelas equações (7) e (8).

#### 2.4.5.5 Fração de despachos como *backup* no átomo $i$ ( $f_{bi}$ )

Esta medida explicita quanto um átomo  $i$  é atendido por servidores atuando como *backup*. Esta fração é calculada pela equação (10).

$$f_{bi} = \frac{\sum_{n \notin \text{servidor\_preferencial\_}i} f_{ni}}{\sum_{n=1}^N f_{ni}} \quad (10)$$

Novamente, em caso de dois tipos de chamadas, a equação (10) também deve ser expandida, onde os termos " $f_{ni}$ " são calculados pelas equações (7) e (8).

No próximo capítulo é apresentado o sistema de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul modelado com o Modelo Hiper cubo de Filas.

### 3 SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO DA AUTOPISTA LITORAL SUL

O estudo de caso deste trabalho de conclusão de curso será aplicado na empresa Autopista Litoral Sul, onde se pretende verificar a efetividade operacional dos guinchos pesados. Sendo assim, neste capítulo serão apresentados os parâmetros considerados para a modelagem do problema em curso. Tais parâmetros incluem a localização dos recursos (servidores), a configuração do sistema, indicando os átomos, servidores preferenciais e *backups*, bem como os dados das taxas de atendimento e de chegada de chamados.

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O trecho administrado e operado (onde é fornecido atendimento ao usuário) pela ALS contempla dez Bases de Serviço Operacional (BSO), que são locais de posicionamento dos recursos, distribuídos ao longo de aproximadamente 360 km, de Quatro Barras/PR a Palhoça/SC. Para atender-se às exigências do Programa de Exploração da Rodovia (PER), a empresa oferece cinco guinchos pesados devido à alta demanda de atendimentos a veículos pesados, sendo que o PER exige a disponibilização mínima de quatro guinchos pesados para o serviço de socorro mecânico.

O PER exige que sejam disponibilizados dois caminhões pipa com capacidade de 14.000 litros d'água para apoio às equipes do Corpo de Bombeiros em caso de incêndios próximo à rodovia (ANTT, 2014b). Devido às baixas demandas por esse tipo de serviço, a Concessionária solicitou à Agência, e esta aceitou, que esses caminhões sejam equipados com uma lança para remoção de veículos pesados, passando a serem chamados de "Pipa-Guincho". Cabe salientar que os caminhões pipa têm como prioridade o apoio aos Bombeiros, mas também realizam remoções.

Portanto, em 2014, o sistema de socorro mecânico da ALS opera com cinco guinchos pesados e dois caminhões pipa-guincho, num total de sete recursos/servidores. No entanto, os caminhões pipa-guincho não removem todos os tipos de veículos pesados, diferentemente dos guinchos pesados, que removem todos com carga bruta total de até 56 toneladas. Os veículos que podem ser removidos por um caminhão pipa-guincho são demonstrados no Quadro 2.

**Quadro 2: Veículos removidos pelo caminhão pipa-guincho**

Veículo	Situação do veículo	
	Com carga	Vazio
Caminhão c/ 2 eixos	Remove	Remove
Caminhão c/ 3 eixos	Remove	Remove
Caminhão c/ 4 eixos	Não Remove	Remove
Carreta c/ 4 eixos	Remove	Remove
Carreta c/ 5 eixos	Remove	Remove
Carreta c/ 6 eixos	Não Remove	Remove
Carreta c/ 7 eixos	Não Remove	Remove
Carreta c/ 8 eixos	Não Remove	Não Remove
Carreta c/ 9 eixos	Não Remove	Não Remove

Fonte: ALS, 2014

Percebe-se, então, que os caminhões pipa-guincho removem veículos de até sete eixos, porém sem carga e dificilmente um caminhão ou carreta atendido pela ALS está vazio e os veículos de quatro eixos são, em sua maioria, caminhões. Assim, neste trabalho considerar-se-á que os caminhões pipa-guincho removem apenas veículos de dois, três e cinco eixos.

Diante do exposto, pode-se indicar que a metodologia deverá tratar o sistema em questão com dois tipos de chamados (para veículos de dois, três e cinco eixos e para os demais). Esse tratamento implica em uma limitação do trabalho, mas, ainda assim, os resultados a serem obtidos devem representar a realidade.

É importante salientar que algumas considerações específicas para o sistema de socorro mecânico já foram apresentadas no tópico 2.4.2 e o sistema atende as nove hipóteses propostas por Larson e Odoni (1981), portanto, ele pode ser modelado pelo Modelo Hipercubo.

### 3.2 TRECHO ADMINISTRADO, BASES OPERACIONAIS E RECURSOS

A Figura 11 apresenta o trecho administrado pela Autopista Litoral Sul (linha laranja: BR-116/PR do km 71,1 ao km 115,2; linha azul: BR-376/PR do km 614 ao km 682,1; linha verde: BR-101/SC do km 0 ao km 244,68). Conforme indicado na figura, cada símbolo representa uma BSO e sua localização aproximada na rodovia.

**Figura 11: Trecho administrado e localização das BSOs**

Fonte: ALS, 2014

Conforme comentado no item 3.1, são disponibilizados sete recursos para o serviço de atendimento mecânico e remoção de veículos, portanto, nem todas as BSOs possuem um recurso. O Quadro 3 apresenta a localização exata de cada BSO e a distribuição dos guinchos pesados e caminhões pipa-guincho.

A distribuição dos recursos é de responsabilidade da Concessionária e é feita de acordo com as demandas de atendimento. Portanto, a Concessionária monitora os pontos de concentração de atendimentos e aloca os recursos conforme a necessidade. A distribuição indicada no Quadro 3 é a que opera no ano de 2014.

**Quadro 3: Distribuição dos Guinchos Pesados e dos caminhões Pipa-Guincho**

BSO	Rodovia	km	Sentido	Guincho Pesado	Caminhão Pipa-Guincho
1	BR-116	90,3	Sul	x	
2	BR-376	635,4	Norte		x
3	BR-101	1,35	Sul	x	
4	BR-101	46,8	Norte		
5	BR-101	79,4	Sul	x	
6	BR-101	129,9	Norte	x	
7	BR-101	157,4	Sul		
8	BR-101	192,4	Norte		x
9	BR-101	219,8	Sul		
10	BR-101	243	Norte	x	

Fonte: ALS, 2014

A Concessionária define a nomenclatura dos recursos, que pela definição do Modelo Hipercubo são os servidores, de acordo com a BSO em que estão localizados, sendo que os guinchos pesados são chamados de “GP” e os caminhões pipa-guincho chamados de “P”. Assim, por exemplo, o guincho da BSO 06 é o “GP06” e o caminhão pipa da BSO 02 é o “P02”.

### 3.3 O SISTEMA DA AUTOPISTA LITORAL SUL E O MODELO HIPERCUBO

Tendo como base o que foi apresentado no tópico 2.4 e que são dois tipos de chamados ocorrentes na ALS, modelar-se-á o sistema em estudo com as seguintes definições:

- Uma chamada é a solicitação de um atendimento a um veículo pesado feita por um usuário na rodovia;
- $\lambda_i^1$ : taxa de chamadas do tipo 1 vindas do átomo  $i$  (as chamadas do tipo 1 são para veículos de dois, três e cinco eixos – unidade: chamadas/h);
- $\lambda_i^2$ : taxa de chamadas do tipo 2 vindas do átomo  $i$  (as chamadas do tipo 2 são para veículos de quatro, seis, sete, oito e nove eixos - unidade: chamadas/h);
- $\mu_n$ : taxa de atendimento do servidor  $n$  (cada servidor possui uma taxa diferente – unidade: atendimentos/h);
- $N$ : número de servidores (igual a 7);

- $N_A$ : número de átomos do sistema.

A Concessionária disponibilizou os dados de remoções de veículos pesados de janeiro de 2013 a junho de 2014, ou seja, dados de 18 meses (546 dias ou 13.104 horas). Esses dados indicam as quantidades de atendimentos realizados em cada quilômetro das rodovias administradas e o tempo médio que um recurso gasta para atender um usuário (soma dos tempos de preparação, deslocamento e atendimento). Verificou-se que o tempo médio de atendimento é muito superior ao tempo de deslocamento, validando a hipótese 9 do tópico 2.4.2.

O Quadro 4 apresenta os recursos do sistema, indicando a nomenclatura utilizada pela Concessionária, o número do servidor para modelagem no Hipercubo, o tempo médio de atendimento total e a taxa de atendimento de cada recurso.

**Quadro 4: Taxas de atendimento dos recursos/servidores**

Recurso	Servidor ( $n$ )	Tempo médio de atendimento	Taxa de atendimento ( $\mu$ )
GP01	1	01h27m00	0,68966
P02	2	01h36m46	0,62005
GP03	3	01h19m57	0,75047
GP05	4	01h27m12	0,68807
GP06	5	01h21m04	0,74013
P08	6	01h09m41	0,86104
GP10	7	01h24m11	0,71273

Fonte: Elaborado pelo autor

Para estimar os valores dos Quadros 4, 5 e 6, foi preciso analisar e modelar um arquivo Excel, enviado pela Concessionária, de 11.401 linhas e 30 colunas. A análise permitiu estimar a média dos tempos totais de todos os atendimentos realizados por cada um dos recursos no período de 18 meses e a quantidade de ocorrências ao longo da rodovia.

Portanto, o recurso “P02” (servidor 2) é o que opera com a menor taxa de atendimento (0,62005 atendimentos/hora), pois os atendimentos realizados por esse recurso demandam maior tempo total. Já o recurso “P08” (servidor 6) possui a maior taxa. Apesar de serem veículos iguais, a diferença entre as taxas desses recursos se dá no tempo de execução do serviço, pois a região de atuação do “P02” é diferente da região de atuação do “P08”, em termos de clima, relevo e localização de pontos de apoio, por exemplo.

Além disso, a Concessionária também informou a política adotada para o despacho dos recursos, indicando os servidores preferenciais e os *backups*. Tal política é baseada nos quilômetros em que, usualmente, cada recurso atende um usuário. Essas informações culminaram na configuração de 13 átomos ( $N_A$ ), os quais se apresentam nos Quadros 5 e 6.

Em adição, os Quadros 5 e 6 apresentam os respectivos km de início e fim, bem como os servidores preferenciais e *backups* de cada átomo, além do total de acionamentos e a taxa de chamada para cada tipo. Alguns átomos não possuem *backup* devido ao baixo número de recursos e à grande extensão das rodovias.

**Quadro 5: Servidores preferenciais e *backups* e taxas de chamadas do tipo 1**

Átomo ( $i$ )	km início	km fim	Chamada do tipo 1			
			Preferencial	<i>Backup</i>	Atend.	Taxa ( $\lambda_i^1$ )
1	71,1	115,2	Servidor 1	Servidor 2	840	0,064103
2	614	650	Servidor 2	Servidor 1	811	0,061889
3	651	670	Servidor 3	Servidor 2	1376	0,105006
4	671	13	Servidor 3	-	958	0,073107
5	14	24	Servidor 3	Servidor 4	178	0,013584
6	25	90	Servidor 4	-	1078	0,082265
7	91	100	Servidor 4	Servidor 5	152	0,0116
8	101	110	Servidor 5	Servidor 4	155	0,011828
9	111	152	Servidor 5	-	955	0,072879
10	153	169	Servidor 6	Servidor 5	290	0,022131
11	170	199	Servidor 6	Servidor 7	452	0,034493
12	200	229	Servidor 7	Servidor 6	626	0,047772
13	230	244	Servidor 7	-	332	0,025336
Total					8203	0,625992

Fonte: Elaborado pelo autor

**Quadro 6: Servidores preferenciais e backups e taxas de chamadas do tipo 2**

Átomo (i)	km início	km fim	Chamada do tipo 2			
			Preferencial	Backup	Atend.	Taxa ( $\lambda_i^2$ )
1	71,1	115,2	Servidor 1	-	415	0,03167
2	614	650	Servidor 1	-	313	0,023886
3	651	670	Servidor 3	-	814	0,062118
4	671	13	Servidor 3	-	521	0,039759
5	14	24	Servidor 3	Servidor 4	73	0,005571
6	25	90	Servidor 4	-	301	0,02297
7	91	100	Servidor 4	Servidor 5	42	0,003205
8	101	110	Servidor 5	Servidor 4	38	0,0029
9	111	152	Servidor 5	-	272	0,020757
10	153	169	Servidor 5	-	77	0,005876
11	170	199	Servidor 7	-	97	0,007402
12	200	229	Servidor 7	-	141	0,01076
13	230	244	Servidor 7	-	94	0,007173
Total						

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se analisar os Quadros 5 e 6, percebe-se que o átomo 3 é o que tem a maior taxa de chamadas tanto do tipo 1 quanto do tipo 2, sendo que possui apenas 20 km de extensão. Este trecho (do km 651 ao km 670 da BR-376/PR) em conjunto com o trecho do átomo 4 é onde se localiza a Serra do Mar entre Tijucas do Sul/PR e Garuva/SC (IBGE, 2006). O trecho é composto por fortes rampas ascendentes no sentido norte e segmentos descendentes de inclinação de até 8% no sentido sul e é marcado por diversas curvas sinuosas. Essa composição exige muito dos componentes mecânicos dos veículos pesados e, comumente, esses veículos apresentam panes (ALS, 2014).

Outro segmento com concentração de atendimentos é o do átomo 9 (do km 111 ao km 152 da BR-101/SC), segmento este que vai de Navegantes/SC à Itapema/SC. Esse trecho tem como característica a alta concentração de veículos pesados devido aos acessos aos Portos de Itajaí/SC e de Navegantes/SC (ALS, 2014).

Como o sistema opera com sete servidores, existem 128 ( $2^n = 2^7$ ) equações de equilíbrio para o sistema. Para exemplificar uma das equações, utilizando os mesmos fundamentos do tópico 2.4.4 e da equação (3), além do indicado nos quadros 5 e 6, apresenta-se o equilíbrio do estado 0010011, representado pela equação (11).

$$\begin{aligned}
& (\lambda_1^1 + \lambda_2^1 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2).P_{0010010} + (\lambda_1^1 + \lambda_2^1).P_{0010001} + \mu_3.P_{0010111} + \mu_4.P_{0011011} + \\
& + (\lambda_8^1 + \lambda_9^1 + \lambda_8^2 + \lambda_9^2 + \lambda_{10}^2).P_{0000011} + \mu_6.P_{0110011} + \mu_7.P_{1010011} = \\
& (\mu_1 + \mu_2 + \lambda_3^1 + \lambda_4^1 + \lambda_5^1 + \lambda_3^2 + \lambda_4^2 + \lambda_5^2 + \lambda_6^1 + \lambda_7^1 + \lambda_8^1 + \lambda_6^2 + \lambda_7^2 + \lambda_8^2 + \mu_5 + \lambda_{10}^1 + \\
& + \lambda_{11}^1 + \lambda_{12}^1 + \lambda_{13}^1 + \lambda_{11}^2 + \lambda_{12}^2 + \lambda_{13}^2).P_{0010011}
\end{aligned} \tag{11}$$

Assim como a equação (11), outras 126 igualdades, além da equação de soma das probabilidades igual a um (equação (2)), devem ser satisfeitas para que seja possível conhecer as probabilidades de ocorrência de cada estado e calcular os parâmetros de desempenho do sistema. Semelhante à equação (11), descreve-se as demais equações de equilíbrio. Neste trabalho, serão calculados os parâmetros de desempenho indicados pelas equações (4) a (10).

Para o caso da probabilidade de perda ( $P_p$ ), define-se, então, um novo parâmetro, que consiste em calcular a probabilidade de perda de um atendimento pelo sistema em cada um dos átomos, sendo, portanto, uma parcela da  $P_p$  total. Tal probabilidade nada mais é do que a soma das probabilidades de estado em que pode haver perda no átomo multiplicada pela probabilidade de ocorrência de um chamado neste átomo.

Esta medida se faz necessária devido ao elevado custo mensal que a concessionária tem com o acionamento de guinchos de empresas terceirizadas, sendo que a concessionária avalia esses custos por base operacional, ou seja, os custos provenientes de acionamentos ocorridos no trecho de atuação dos recursos de cada base. Então, é importante avaliar as perdas ocorridas por átomo, que correspondem aos trechos de atuação.

Assim, a equação (5), para cada tipo de chamada, será substituída pelas equações (12) e (13), que indicam a probabilidade de perda no átomo  $i$  para as chamadas de tipo 1 e 2, respectivamente.

$$P_{p_i}^1 = \frac{\lambda_i^1}{\lambda^1} \sum_{E \in C_i} P_E \tag{12}$$

$$P_{p_i}^2 = \frac{\lambda_i^2}{\lambda^2} \sum_{E \in C_i} P_E \tag{13}$$

onde  $C_i$  é o conjunto de estados em que os servidores preferencial e *backup* do átomo  $i$  estão ocupados.

### 3.4 EVOLUÇÃO DA DEMANDA

Quando a ANTT divulgou, em 2007, o edital do leilão do lote 07, ela apresentou estudos indicativos de custos, demanda de tráfego, tributos e outros indicadores até o fim da concessão, a ocorrer em 2033. Um desses estudos é o de previsão de tráfego, baseado em um crescimento do volume desde 2008 até 2032. O ano 7 da concessão é o ano de 2014 (ANTT, 2007). O Quadro 7 apresenta a evolução do tráfego de 2008 a 2032.

**Quadro 7: Evolução do tráfego até 2032**

Ano concessão	Ano	Tráfego (veículos equivalentes)	Crescimento (em relação ao ano anterior)	Crescimento (acumulado em relação a 2008)	Crescimento (acumulado em relação a 2014)
ANO 1	2008	31.236.061,3	-	1	
ANO 2	2009	65.050.665,0	2,082550181	2,082550181	
ANO 3	2010	67.677.022,5	1,04037403	2,166631124	
ANO 4	2011	70.357.582,5	1,039608125	2,252447322	
ANO 5	2012	73.089.607,5	1,03883057	2,339911134	
ANO 6	2013	75.849.555,0	1,037761148	2,428268865	
ANO 7	2014	78.631.402,5	1,036675858	2,517327709	1
ANO 8	2015	81.441.902,5	1,035742717	2,607303842	1,035742717
ANO 9	2016	84.270.470,0	1,034731108	2,697858393	1,071715209
ANO 10	2017	87.095.752,5	1,033526365	2,788307777	1,107645924
ANO 11	2018	89.928.882,5	1,032528911	2,879008393	1,14367644
ANO 12	2019	92.753.982,5	1,031414824	2,969451934	1,179604834
ANO 13	2020	95.582.550,0	1,030495375	3,060006485	1,215577326
ANO 14	2021	98.412.942,5	1,029612021	3,150619462	1,251573028
ANO 15	2022	101.240.415,0	1,028730698	3,241138958	1,287531594
ANO 16	2023	104.049.272,5	1,027744429	3,331062507	1,323253423
ANO 17	2024	106.839.332,5	1,026814796	3,420384268	1,358736193
ANO 18	2025	109.579.387,5	1,025646501	3,508105155	1,393583022
ANO 19	2026	112.129.460,0	1,023271462	3,589743889	1,426013735
ANO 20	2027	114.447.940,0	1,020676814	3,663968356	1,455499156
ANO 21	2028	116.607.645,0	1,018870632	3,733109756	1,482965346
ANO 22	2029	118.625.000,0	1,017300367	3,797693923	1,50862119
ANO 23	2030	120.487.960,0	1,015704615	3,857335246	1,532313505
ANO 24	2031	122.121.517,5	1,013557848	3,909632412	1,55308838
ANO 25	2032	123.548.667,5	1,011686311	3,955321592	1,571238253

Fonte: ANTT (2007), adaptado pelo autor

Baseado no Quadro 7, pode se estabelecer um crescimento de tráfego desde 2014 até o fim da concessão. Esse crescimento, aplicado à demanda atual (2013 e 2014) do sistema de socorro mecânico da ALS, indicará a demanda futura desse

tipo de serviço no trecho administrado. Para tanto, basta multiplicar o fator de crescimento (valores da 6ª coluna do quadro) pela taxa de chegadas atual.

Assim, é possível verificar alguns parâmetros de desempenho do sistema com a demanda futura. Neste trabalho, avaliar-se-á o desempenho do serviço no 10º, 15º, 20º e 25º da concessão, que correspondem, respectivamente, aos anos de 2017, 2022, 2027 e 2032.

Essa análise avaliará a performance do sistema e servirá de base para analisar se o sistema terá capacidade de operar em um bom nível de serviço até o fim da concessão.

Os dados e configurações apresentados neste capítulo são a base para as simulações e os resultados obtidos neste trabalho, que são apresentados nos tópicos a seguir.

#### 4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO DO SISTEMA DE SOCORRO MECÂNICO E PROPOSTA DE MELHORIA

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos neste trabalho ao se avaliar o sistema de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul utilizando o Modelo Hipercubo de Filas. A primeira seção do capítulo indica a análise de parâmetros de desempenho do nível de serviço do sistema atual, bem como sua evolução até o fim da concessão. A segunda seção apresenta as mesmas análises, mas considerando algumas modificações no sistema a fim de se alcançar melhorias no nível de serviço oferecido. Por fim, a terceira seção demonstra algumas comparações entre o sistema atual e o modificado.

Para se obter os resultados, foi necessário resolver o sistema de equações lineares baseado na equação (11). Para tanto, foi proposto um algoritmo na linguagem de programação *Python*, que calculou as probabilidades de ocorrência de cada estado resolvendo o sistema de equações lineares por meio da matriz inversa. O código do algoritmo é apresentado no Apêndice A.

O programa computacional construído pede, como dados de entrada, as taxas de atendimento dos servidores, as taxas de chamadas dos átomos e a política de despacho. Com base nisso, o programa retorna as probabilidades de ocorrência dos estados (calculadas com base na equação (11)), os *Workloads* dos servidores (calculados pela equação (4)), as frequências de despacho (calculadas pelas equações (7) e (8)) e as probabilidades de perda por átomo (calculadas pelas equações (12) e (13)).

Posteriormente, é possível calcular as frações de despacho dos servidores como *backup* e as frações de atendimentos nos átomos por um servidor *backup* (calculados pelas equações (9) e (10)).

Os resultados obtidos com a utilização do algoritmo foram validados a partir da utilização dos dados de Mendonça e Morabito (2000) e Iannoni e Morabito (2006), onde o programa retornou os mesmos valores indicados nos trabalhos supracitados, que analisaram os sistemas médico emergenciais “Anjos do Asfalto” e da Concessionária Centrovias.

Os resultados retornados pelo programa computacional, bem como os indicadores de desempenho calculados pelas equações supracitadas, são demonstrados nos tópicos a seguir.

#### 4.1 SISTEMA ATUAL

Este tópico apresenta os resultados e discussões considerando o sistema atual de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul (com cinco guinchos pesados e dois pipa-guinchos). Tais resultados nada mais são do que os parâmetros de desempenho observados ao se utilizar o Modelo Hipercubo.

##### 4.1.1 Sistema no ano de 2014

Conforme informado anteriormente, utilizaram-se os dados de atendimento do sistema de janeiro de 2013 a junho de 2014, num total de 18 meses. A análise de um longo período exclui a hipótese de haver influência da sazonalidade. No entanto, devido à modelagem com taxas horárias, os resultados obtidos indicam como se comporta o sistema com a demanda e oferta do ano de 2014. Tais resultados são apresentados a seguir.

##### 4.1.1.1 Workloads

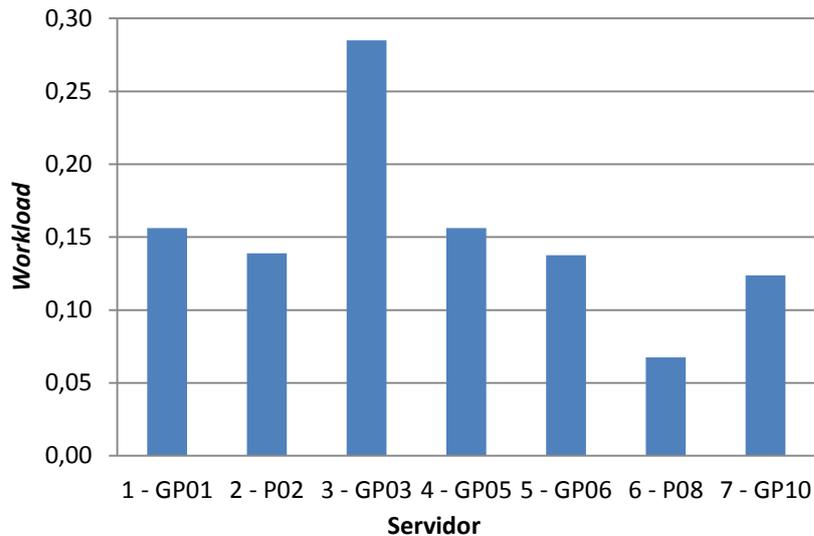
A partir da equação (4), calculou-se o *workload* de cada servidor, ou seja, a fração de tempo em que o servidor está ocupado. Os resultados são apresentados no Quadro 8, que também indica qual recurso corresponde a cada servidor. Por exemplo, o recurso GP06 (guincho pesado da BSO 06 é o servidor 5).

**Quadro 8: Workloads dos servidores no sistema atual**

Servidor	Recurso	Workload
1	GP01	0,156
2	P02	0,139
3	GP03	0,285
4	GP05	0,156
5	GP06	0,138
6	P08	0,068
7	GP10	0,124

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 2 apresenta os dados do Quadro 8 de forma mais visual.

**Gráfico 2: Workloads dos servidores no sistema atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se, portanto, que o servidor 3 (GP03) é o recurso com o maior valor de *workload* (0,285) e, então, é o servidor que fica mais tempo ocupado realizando atendimentos. Também se pode observar que os servidores 1 e 4, bem como os servidores 2 e 5, possuem os mesmos *workloads* e ficam mais tempo ocupados do que os servidores 6 e 7.

Tais resultados são coerentes, uma vez que os átomos de atendimento (como servidor preferencial ou *backup*) dos servidores 1 a 5 têm altas taxas de chegada de chamados, conforme indicado pelos Quadros 5 e 6, especialmente os átomos 3 e 4 (átomos com atendimento preferencial do servidor 3).

No entanto, também percebe-se que as cargas de trabalho dos servidores estão balanceadas, ou seja, os valores são parecidos, o que configura um baixo desvio-padrão (0,061). Segundo Iannoni (2005), o desbalanceamento deve ser mínimo e corresponde a uma das principais medidas de desempenho de um sistema de atendimento emergencial.

#### 4.1.1.2 Probabilidades de perda

As probabilidades de perda de um atendimento, que ocorre quando o atendimento é transferido para uma empresa terceira, foram calculadas pelas equações (12) e (13) e são apresentadas no Quadro 9. Assim, demonstra-se a probabilidade de perda por átomo e por tipo de chamada.

Seguindo o indicado por Iannoni e Morabito (2006), calculou-se a probabilidade de perda em cada átomo considerando os dois tipos de chamadas. Tal cálculo se deu por meio da média ponderada entre a probabilidade de perda de cada tipo de chamada e a porcentagem de ocorrência do tipo.

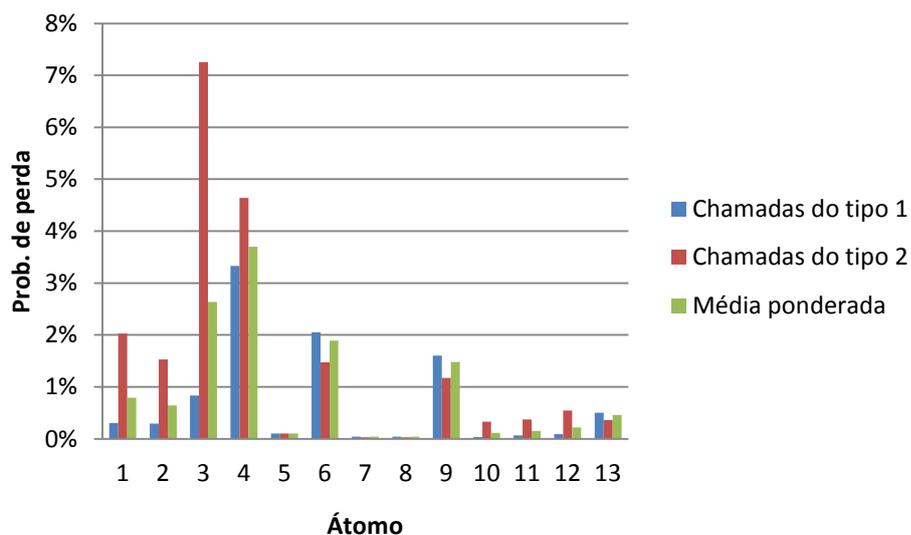
**Quadro 9: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema atual**

Átomo	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	0,31%	2,03%	0,79%
2	0,30%	1,53%	0,64%
3	0,83%	7,25%	2,63%
4	3,33%	4,64%	3,70%
5	0,1%	0,11%	0,10%
6	2,05%	1,47%	1,89%
7	0,04%	0,03%	0,04%
8	0,04%	0,03%	0,04%
9	1,6%	1,17%	1,48%
10	0,04%	0,33%	0,12%
11	0,07%	0,38%	0,15%
12	0,09%	0,55%	0,22%
13	0,5%	0,36%	0,46%
Total	9,30%	19,87%	12,27%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados indicados no Quadro 9 são também demonstrados no Gráfico 3.

**Gráfico 3: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema atual**



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, os átomos 3 e 4 são os que têm as maiores probabilidades de perda do sistema, seguidos dos átomos 6 e 9. Somente esses quatro átomos correspondem a quase 80% das perdas. Esses átomos são os que concentram as maiores taxas de chamadas e tais resultados indicam que a demanda por atendimentos é superior à capacidade dos servidores. No total, 12,27% dos atendimentos são transferidos para empresas terceiras, sendo quase 20% das ocorrências do tipo 2.

#### 4.1.1.3 Fração dos atendimentos do servidor como *backup*

Esse parâmetro indica a porcentagem de atendimentos realizados por um servidor quando este é despachado a um átomo como *backup*. Tal parâmetro foi calculado pela equação (9), considerando cada tipo de chamada e a média ponderada. Os resultados são apresentados no Quadro 10.

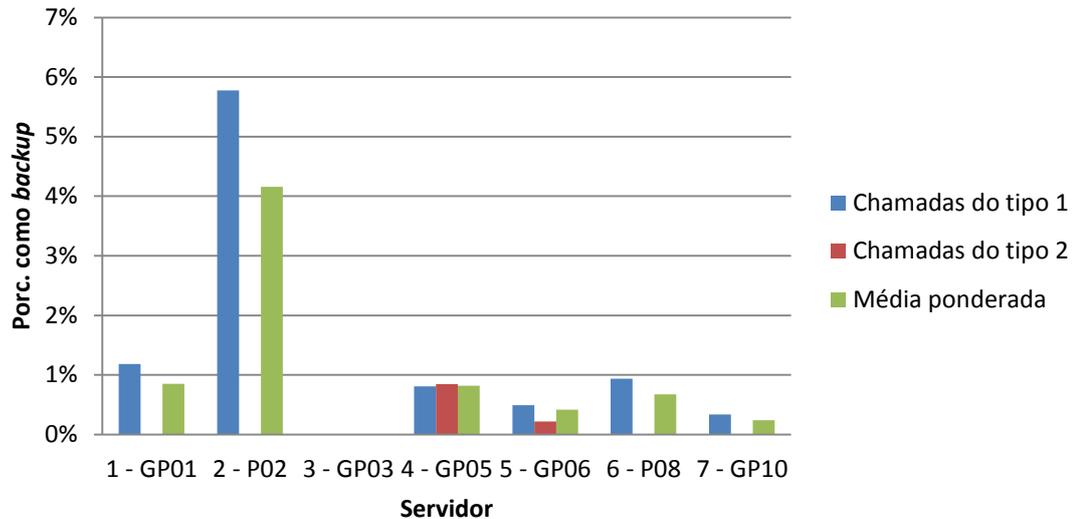
**Quadro 10: Fração dos atendimentos do servidor como *backup* no sistema atual**

Servidor	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	1,19%	0,00%	0,85%
2	5,78%	0,00%	4,16%
3	0,00%	0,00%	0,00%
4	0,81%	0,85%	0,82%
5	0,50%	0,22%	0,42%
6	0,94%	0,00%	0,68%
7	0,34%	0,00%	0,24%
Total	9,54%	1,07%	7,17%

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 4 apresenta os dados do Quadro 10 de forma mais visual.

**Gráfico 4: Fração dos atendimentos do servidor como *backup* no sistema atual**



Fonte: Elaborado pelo autor

Como os servidores 1, 2, 3, 6 e 7 não são *backup* em nenhum átomo nos atendimentos do tipo 2, as frações têm valor 0 (zero). O servidor 3, especificamente, não é *backup* em nenhum átomo e em nenhum tipo de chamada.

O servidor 2 (P02) é o que tem a maior fração de atendimentos como *backup* (4,16%), isso se deve a ele ser o *backup* no átomo 1 e 3, sendo que o átomo 3 é o que tem a maior taxa de chegada de chamadas. Em seguida aparece o servidor 1 (GP01) com fração de 0,85% e o servidor 4 (GP05) com fração de 0,82%.

Esses resultados indicam que, provavelmente, devido à alta demanda no átomo 3, o servidor 3 (GP03) fica sobrecarregado (é o servidor com maior valor de *workload*), o que faz com que os servidores 2 e 4 realizem atendimentos como *backup* nos átomos 3 e 5 (são despachados quando o servidor 3 está ocupado) e, como o servidor 2 fica ocupado, o servidor 1 é acionado como *backup* no átomo 2.

#### 4.1.1.4 Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo

Este indicador apresenta a mesma análise do parâmetro anterior, mas tendo como base os átomos e não os servidores. Os resultados são demonstrados no Quadro 11, sendo calculados pela equação (10).

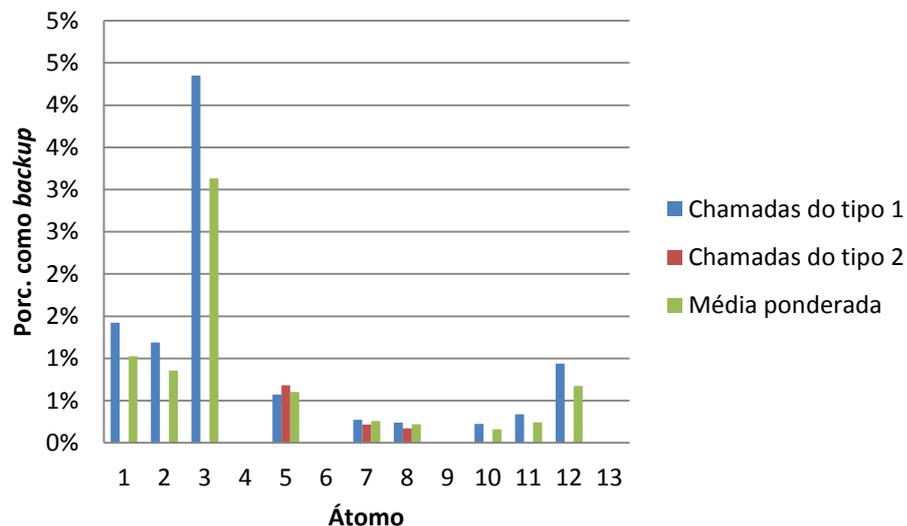
**Quadro 11: Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo no sistema atual**

Átomo	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	1,42%	0,00%	1,02%
2	1,19%	0,00%	0,85%
3	4,35%	0,00%	3,13%
4	0,00%	0,00%	0,00%
5	0,57%	0,68%	0,60%
6	0,00%	0,00%	0,00%
7	0,27%	0,22%	0,26%
8	0,24%	0,17%	0,22%
9	0,00%	0,00%	0,00%
10	0,22%	0,00%	0,16%
11	0,34%	0,00%	0,24%
12	0,94%	0,00%	0,68%
13	0,00%	0,00%	0,00%
Total	9,54%	1,07%	7,17%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados indicados no Quadro 11 são também demonstrados no Gráfico

5.

**Gráfico 5: Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo no sistema atual**

Fonte: Elaborado pelo autor

Os átomos 4, 6, 9 e 13 tem valores iguais a 0 (zero) porque não são atendidos por nenhum servidor como *backup*. O somatório das frações de atendimentos como *backup* em um átomo deve ser igual ao somatório das frações de atendimentos realizados pelos servidores como *backup*. Isto se mostrou verdadeiro na análise.

É possível observar que o átomo 3 é o que mais recebe atendimentos de servidor como *backup* (3,13%) seguido dos átomos 1, 2 e 5. Essas são informações já esperadas devido ao apresentado anteriormente. Este resultado corrobora o indicado no tópico anterior.

Pode-se concluir que as altas demandas nos átomos 3 e 4 sobrecarregam o servidor 3 e interferem na operação dos outros átomos e servidores, o que é prejudicial para o sistema como um todo.

#### 4.1.2 Evolução até o fim da concessão

Conforme indicado no tópico 3.4, é possível avaliar o nível de serviço do sistema com o aumento de demanda. Considerando a evolução do tráfego até o fim da concessão (em fevereiro de 2033), verificaram-se três parâmetros de desempenho do sistema na configuração atual nos anos de 2014 (ano de análise), 2017, 2022, 2027 e 2032. Tais anos são, respectivamente, o 10º, 15º, 20º e 25º ano de concessão.

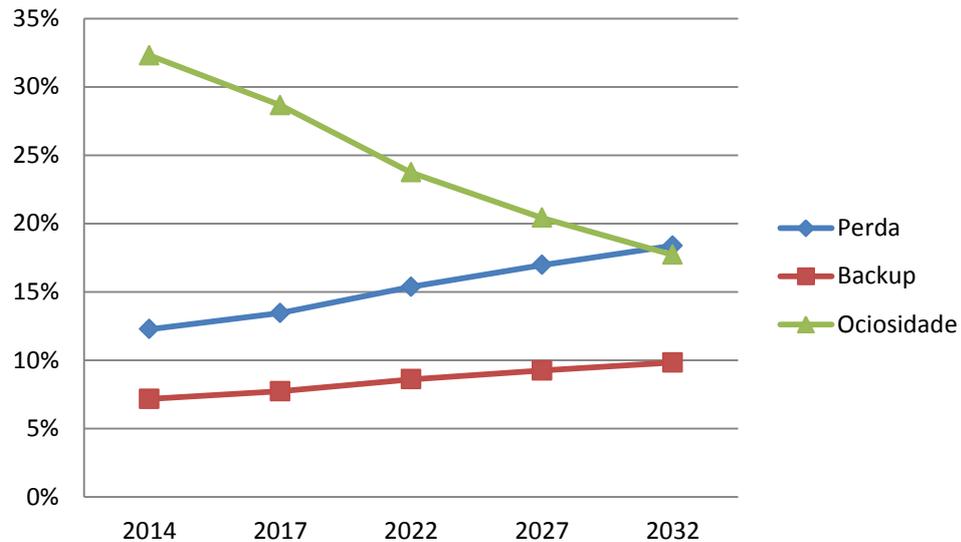
Os parâmetros de desempenho observados foram a probabilidade de perda de atendimento (transferência para empresas terceiras), as frações de atendimento como *backup* e a ociosidade do sistema (indicada pela probabilidade de todos os servidores estarem livres, ou seja, a  $P_{0000000}$ ). O Quadro 12 apresenta esses resultados.

**Quadro 12: Evolução do nível de serviço do sistema atual até o fim da concessão**

Ano	Prob. Perda	Fração <i>Backup</i>	Ociosidade
2014	12,27%	7,17%	32,30%
2017	13,45%	7,73%	28,65%
2022	15,36%	8,61%	23,74%
2027	16,96%	9,25%	20,43%
2032	18,38%	9,84%	17,72%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 6.

**Gráfico 6: Evolução do nível de serviço do sistema atual até o fim da concessão**

Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, atualmente, a ociosidade do sistema é de 32,3%, índice considerado alto por Mendonça e Morabito (2000), no entanto, em 2032, esse valor deverá cair para 17,72, um índice 55% menor. Além disso, a probabilidade de perda de um chamado, no ano de 2032, deverá ser de 18,38%, que é um valor muito alto. Isso significa dizer que quase uma em cada cinco ocorrências é atendida por uma empresa terceira. Já a fração de atendimentos como *backup* sofre pouco impacto com o aumento da demanda.

No ano de 2022, a probabilidade de ociosidade do sistema deve ser inferior a 25% e a probabilidade de perda será superior a 15%. Esses parâmetros não são satisfatórios e indicam a necessidade de mudança na configuração no sistema.

Deste modo, propõe-se a utilização de mais um guincho pesado no sistema. Tal recurso deve ser alocado de forma a atender a região que compreende os átomos 3 e 4 atualmente. A operação desse recurso deve diminuir as probabilidades de perda do sistema e balancear ainda mais os *workloads*, além de diminuir as frações de atendimento de alguns servidores como *backup*, contribuindo para melhorar a qualidade do serviço oferecido.

Recomenda-se que esta modificação seja adotada em 2015, a fim de que o sistema apresente melhorias no seu nível de serviço atual e futuro. A análise do sistema modificado com a inclusão de mais um servidor é apresentada no tópico a seguir.

## 4.2 SISTEMA MODIFICADO

A Autopista Litoral Sul indicou que um local interessante de alocação desse recurso é no km 663 da BR-376/PR, no sentido norte, onde há uma base inoperante da Polícia Rodoviária Federal (PRF). Tal recurso poderia ser chamado de “GP13” devido à proximidade com BSO 03 e atenderia os dois tipos de chamada (atendimentos a veículos com 2, 3 e 5 eixos – tipo 1; atendimentos a veículos com 4, 6, 7, 8 e 9 eixos – tipo 2).

Com esta modificação, em 2015, o sistema passaria a operar com oito servidores, sendo seis guinchos pesados e dois caminhões pipa-guincho. Atualmente, o recurso GP03 atua no segmento a ser atendido pelo GP13, portanto, considerou-se que a taxa de atendimento deste recurso será a mesma do GP03. Assim, o Quadro 13 apresenta os tempos médios e as taxas de atendimento de cada servidor no sistema modificado.

**Quadro 13: Taxas de atendimento dos recursos/servidores no sistema modificado**

Recurso	Servidor (n)	Tempo médio de atendimento	Taxa de atendimento ( $\mu$ )
GP01	1	01h27m00	0,689655
P02	2	01h36m46	0,620048
GP13	3	01h19m57	0,750469
GP03	4	01h19m57	0,750469
GP05	5	01h27m12	0,688073
GP06	6	01h21m04	0,740132
P08	7	01h09m41	0,861038
GP10	8	01h24m11	0,71273

Fonte: Elaborado pelo autor

Porém, a operação de um novo guincho pesado acarreta em mudanças nos segmentos de atendimento dos recursos, ou seja, a configuração dos átomos também muda. Devido aos atendimentos como *backup* e aos índices *de workload* de alguns servidores, propõe-se a nova política de despacho apresentada nos Quadros 14 e 15. Os quadros também indicam as taxas de chamadas em cada átomo.

Os km de início e fim de cada átomo foram definidos com base na disponibilidade de retornos (para mudança do sentido de tráfego) e na distância em relação à BSO em que o servidor está alocado. Essas considerações fizeram com que o sistema tenha 14 átomos.

**Quadro 14: Servidores preferenciais e *backups* e taxas de chamadas do tipo 1 no sistema modificado**

Átomo ( <i>i</i> )	km início	km fim	Chamada do tipo 1			
			Preferencial	<i>Backup</i>	Atend.	Taxa ( $\lambda_i^1$ )
1	71,1	115,2	Servidor 1	Servidor 2	840	0,064103
2	614	634	Servidor 2	Servidor 1	405	0,030907
3	635	653	Servidor 2	Servidor 3	529	0,040369
4	654	675	Servidor 3	Servidor 4	1770	0,135073
5	676	13	Servidor 4	Servidor 3	441	0,033654
6	14	37	Servidor 4	Servidor 5	374	0,028541
7	38	90	Servidor 5	-	882	0,067308
8	91	100	Servidor 5	Servidor 6	152	0,0116
9	101	122	Servidor 6	Servidor 5	460	0,035104
10	123	152	Servidor 6	-	650	0,049603
11	153	169	Servidor 7	Servidor 6	290	0,022131
12	170	199	Servidor 7	Servidor 8	452	0,034493
13	200	229	Servidor 8	Servidor 7	626	0,047772
14	230	244	Servidor 8	-	332	0,025336
Total					8203	0,625992

Fonte: Elaborado pelo autor

**Quadro 15: Servidores preferenciais e *backups* e taxas de chamadas do tipo 2 no sistema modificado**

Átomo ( <i>i</i> )	km início	km fim	Chamada do tipo 2			
			Preferencial	<i>Backup</i>	Atend.	Taxa ( $\lambda_i^2$ )
1	71,1	115,2	Servidor 1	-	415	0,03167
2	614	634	Servidor 1	-	149	0,011371
3	635	653	Servidor 3	-	219	0,016712
4	654	675	Servidor 3	Servidor 4	1071	0,081731
5	676	13	Servidor 4	Servidor 3	209	0,015949
6	14	37	Servidor 4	Servidor 5	134	0,010226
7	38	90	Servidor 5	-	240	0,018315
8	91	100	Servidor 5	Servidor 6	42	0,003205
9	101	122	Servidor 6	Servidor 5	119	0,009081
10	123	152	Servidor 6	-	191	0,014576
11	153	169	Servidor 6	-	77	0,005876
12	170	199	Servidor 8	-	97	0,007402
13	200	229	Servidor 8	-	141	0,01076
14	230	244	Servidor 8	-	94	0,007173
Total					3198	0,244048

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se analisar os Quadros 14 e 15, percebe-se que o átomo 4 é o que tem a maior taxa de chamadas tanto do tipo 1 quanto do tipo 2, sendo que possui apenas

21 km de extensão. Este trecho (do km 654 ao km 675 da BR-376/PR) é onde se localiza a Serra do Mar entre Tijucas do Sul/PR e Garuva/SC, local que exige maior esforço dos componentes mecânicos dos veículos pesados, e deverá ser atendido pelos servidores 3 e 4.

Os átomos 7, 9 e 10 são outros segmentos com alta concentração de atendimentos, que, em conjunto com o átomo 8, configuram o segmento que se estende de Joinville/SC à Itapema/SC. Esse trecho tem como característica a alta concentração de veículos pesados. Tais segmentos serão atendidos pelos servidores 5 e 6.

Portanto, a nova configuração é composta por oito servidores e 14 átomos. Como o número de servidores é oito, 256 ( $2^n = 2^8$ ) equações de equilíbrio devem ser satisfeitas para se obter as probabilidades dos 256 possíveis estados do sistema. Para tanto, seguiu-se o padrão indicado pela equação (11) e a equação do somatório das probabilidades ser igual a 1 (um).

Com a nova política de despacho e as taxas de atendimento e de chamadas, modelou-se o sistema pelo Modelo Hipercubo, obtendo os parâmetros de desempenho por meio do programa computacional desenvolvido. Do mesmo modo que no sistema atual, calcularam-se os parâmetros de desempenho indicados pelas equações (4) a (10), sendo que as probabilidades de perda foram calculadas para cada átomo, conforme equações (12) e (13). Os resultados obtidos são apresentados nos tópicos a seguir.

#### **4.2.1 Sistema no ano de 2014**

Utilizaram-se, também, os dados de atendimento do sistema de janeiro de 2013 a junho de 2014, num total de 18 meses, excluindo a possibilidade de haver influência da sazonalidade. No entanto, devido à modelagem com taxas horárias, os resultados obtidos indicam como se comporta o sistema com a demanda e oferta do ano de 2014 e apresentam-se os resultados a seguir.

##### **4.2.1.1 Workloads**

A partir da equação (4), calculou-se o *workload* de cada servidor do sistema modificado, ou seja, a fração de tempo em que o servidor está ocupado. Os

resultados são apresentados no Quadro 16, que também indica qual recurso corresponde a qual servidor.

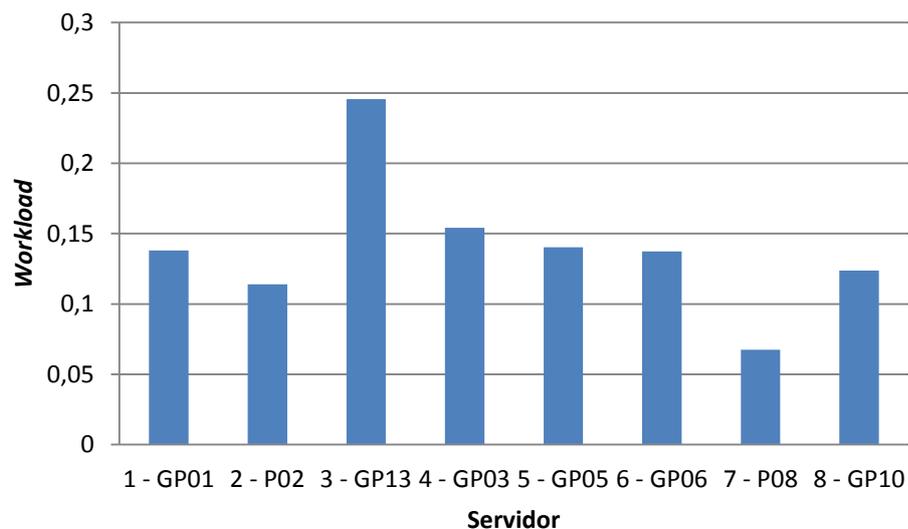
**Quadro 16: Workloads dos servidores no sistema modificado**

Servidor	Recurso	Workload
1	GP01	0,138
2	P02	0,114
3	GP13	0,246
4	GP03	0,154
5	GP05	0,140
6	GP06	0,137
7	P08	0,068
8	GP10	0,124

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 7 apresenta os dados do Quadro 16 de forma visual.

**Gráfico 7: Workloads dos servidores no sistema modificado**



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebe-se, portanto, que o servidor 3 (GP13) será o recurso com o maior valor de *workload* (0,246) e, então, é o servidor que permanece mais tempo ocupado realizando atendimentos. Também se pode observar que os servidores 1, 4, 5, 6 e 8 são os que têm maiores valores de *workload*; esses servidores são os guinchos pesados do sistema. Os caminhões pipa-guincho atuam com menores cargas de trabalho.

Tais resultados são importantes, uma vez que a prioridade de atendimento dos caminhões pipa-guincho é o apoio aos Corpos de Bombeiros em caso de incêndio.

Assim, com baixas cargas de trabalho, os recursos terão maior disponibilidade para atendimento a este tipo de ocorrência, caso ocorra.

Também se percebe que as cargas de trabalho dos servidores estão balanceadas, resultando em um baixo desvio-padrão (0,047), o que corrobora com as considerações de Iannoni (2005).

#### 4.1.1.2 Probabilidades de perda

As porcentagens de ocorrências que são transferidas para uma empresa terceira, que são as probabilidades de perda de um atendimento, foram calculadas pelas equações (12) e (13) e são apresentadas no Quadro 17. Assim, demonstra-se a probabilidade de perda por átomo e por tipo de chamada.

Novamente, calculou-se a probabilidade de perda em cada átomo considerando os dois tipos de chamadas, por meio da média ponderada entre a probabilidade de perda de cada tipo de chamada e a porcentagem de ocorrência do tipo, seguindo o indicado por Iannoni e Morabito (2006).

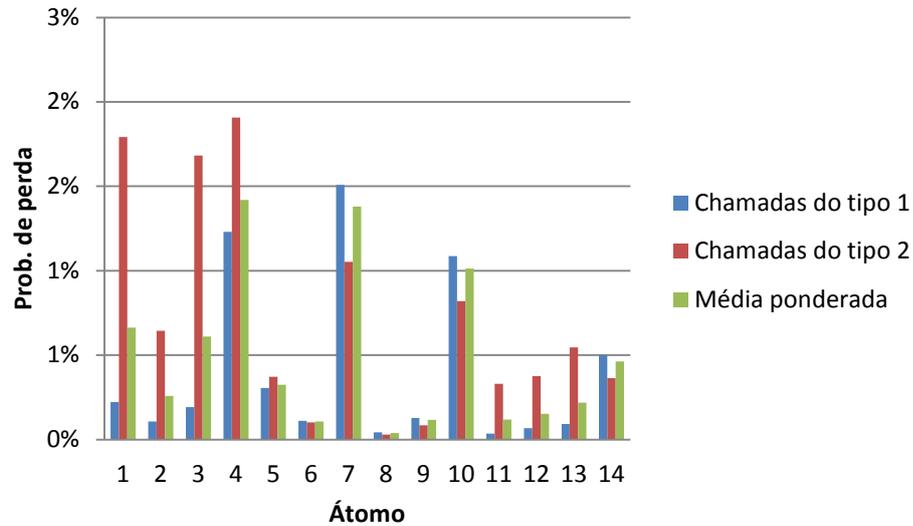
**Quadro 17: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema modificado**

Átomo	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	0,22%	1,79%	0,66%
2	0,11%	0,64%	0,26%
3	0,19%	1,68%	0,61%
4	1,23%	1,91%	1,42%
5	0,31%	0,37%	0,32%
6	0,11%	0,10%	0,11%
7	1,51%	1,05%	1,38%
8	0,04%	0,03%	0,04%
9	0,13%	0,08%	0,12%
10	1,09%	0,82%	1,01%
11	0,04%	0,33%	0,12%
12	0,07%	0,38%	0,15%
13	0,09%	0,55%	0,22%
14	0,50%	0,36%	0,46%
Total	5,63%	10,10%	6,88%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados indicados no Quadro 17 são também demonstrados no Gráfico

**Gráfico 8: Probabilidades de perda por tipo de chamada no sistema modificado**



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, os átomos 4 e 7 são os que têm as maiores probabilidades de perda do sistema, seguidos do átomo 10. Esses três átomos correspondem a aproximadamente 55% das perdas. São átomos que concentram as maiores taxas de chamadas, o que sobrecarrega os servidores que atendem ocorrências nesses locais e aumenta a probabilidade de haver perda. No entanto, no sistema modificado, são transferidos para empresas terceiras 6,88% dos atendimentos, sendo pouco mais que 10% das ocorrências do tipo 2.

#### 4.1.1.3 Fração dos atendimentos do servidor como *backup*

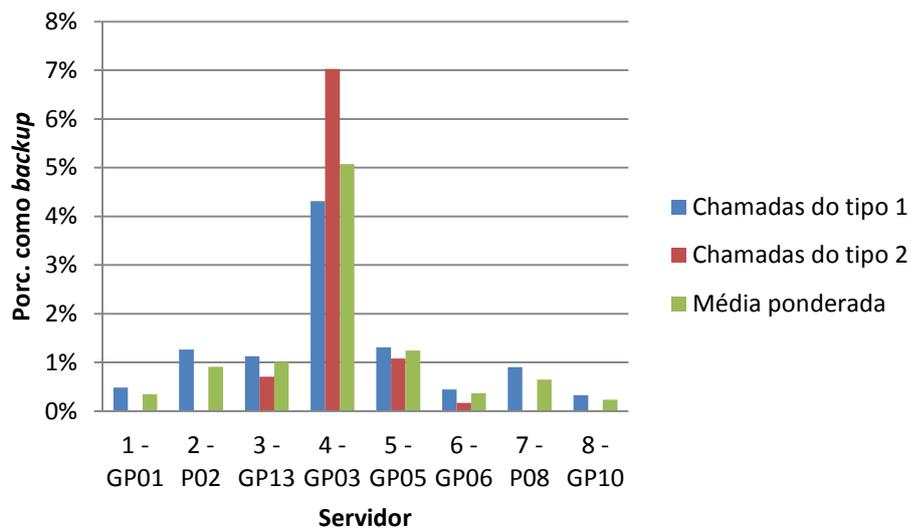
Esse parâmetro indica a porcentagem de atendimentos realizados por um servidor quando este é despachado a um átomo como *backup*. Tal parâmetro foi calculado pela equação (9), considerando cada tipo de chamada e a média ponderada. Os resultados são apresentados no Quadro 18.

**Quadro 18: Fração dos atendimentos do servidor como *backup* no sistema modificado**

Servidor	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	0,48%	0,00%	0,35%
2	1,26%	0,00%	0,91%
3	1,13%	0,71%	1,01%
4	4,31%	7,03%	5,08%
5	1,31%	1,08%	1,24%
6	0,45%	0,17%	0,37%
7	0,90%	0,00%	0,65%
8	0,32%	0,00%	0,23%
Total	10,17%	8,99%	9,84%

Fonte: Elaborado pelo autor

O Gráfico 9 também apresenta os dados do Quadro 18.

**Gráfico 9: Fração dos atendimentos do servidor como *backup* no sistema modificado**

Fonte: Elaborado pelo autor

Como os servidores 1, 2, 7 e 8 não são *backup* em nenhum átomo nos atendimentos do tipo 2, as frações têm valor 0 (zero). O servidor 4 (GP03) é o que tem a maior fração de atendimentos como *backup* (5,08%), isso se deve a ele ser o *backup* no átomo 4, que é o de maior taxa de chegada de chamadas. Em seguida aparece o servidor 5 (GP05) com fração de 1,24% e o servidor 3 (GP13) com fração de 1,01%.

Esses resultados indicam que, provavelmente, devido à alta demanda no átomo 3, o servidor 3 (GP03) fica sobrecarregado (é o servidor com maior valor de

*workload*), o que faz com que o servidor 4 realize atendimentos como *backup* neste átomo e, como o servidor 4 fica ocupado, o servidor 5 é acionado como *backup* no átomo 6. O servidor 5 também é *backup* no átomo 9, que representa a região de Navegantes/SC à Itajaí/SC.

#### 4.1.1.4 Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo

Este parâmetro trata da porcentagem de atendimento realizados por um servidor *backup* em um átomo, ou seja, o mesmo que o parâmetro anterior, mas tendo como base os átomos e não os servidores. Os resultados são demonstrados no Quadro 19, sendo calculados pela equação (10).

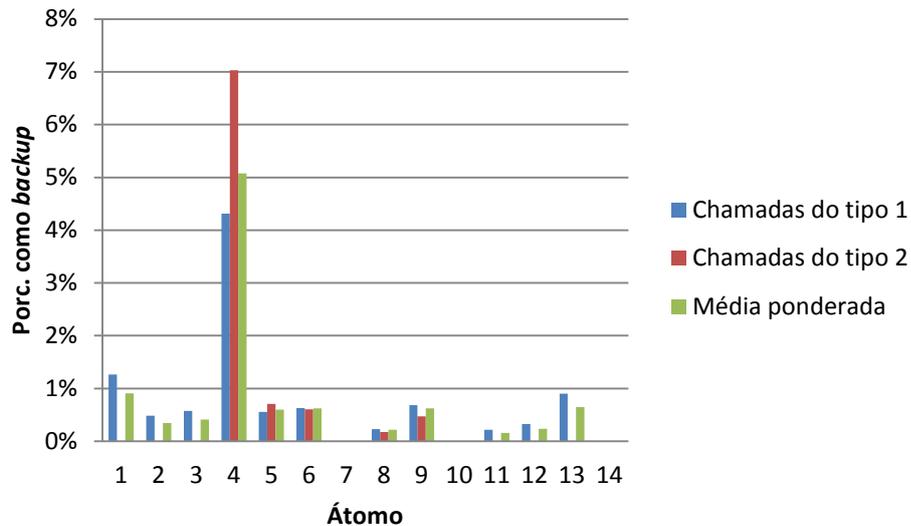
**Quadro 19: Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo no sistema modificado**

Átomo	Chamada do tipo 1	Chamada do tipo 2	Total (ponderado)
1	1,26%	0,00%	0,91%
2	0,48%	0,00%	0,35%
3	0,57%	0,00%	0,41%
4	4,31%	7,03%	5,08%
5	0,55%	0,71%	0,60%
6	0,63%	0,61%	0,62%
7	0,00%	0,00%	0,00%
8	0,23%	0,17%	0,21%
9	0,68%	0,47%	0,62%
10	0,00%	0,00%	0,00%
11	0,22%	0,00%	0,16%
12	0,32%	0,00%	0,23%
13	0,90%	0,00%	0,65%
14	0,00%	0,00%	0,00%
Total	10,17%	8,99%	9,84%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os mesmos resultados indicados no Quadro 19 encontram-se no Gráfico 10.

**Gráfico 10: Fração dos atendimentos como *backup* em um átomo no sistema modificado**



Fonte: Elaborado pelo autor

Os átomos 7, 10 e 14 tem valores iguais a 0 (zero) porque não são atendidos por nenhum servidor como *backup*. O somatório das frações de atendimentos como *backup* em um átomo deve ser igual ao somatório das frações de atendimentos realizados pelos servidores como *backup*. Isto se mostrou verdadeiro na análise.

É possível observar que o átomo 4 é o que mais recebe atendimentos de servidor como *backup* (5,08%), enquanto os demais apresentam valores muito menores (inferiores a 1%). Essa informação ratifica as discussões anteriores e reafirma a importância do átomo 4 para o sistema.

No entanto, diferentemente do ocorrido no sistema atual, a alta demanda no átomo 4 sobrecarrega os servidores 3 e 4, mas não interfere tão fortemente na operação dos outros átomos e servidores, o que melhora a qualidade do serviço oferecido ao usuário.

#### 4.2.2 Evolução até o fim da concessão

Do mesmo modo que demonstrado no sistema atual e conforme indicado no tópico 3.4, é possível avaliar o nível de serviço do sistema com o aumento de demanda. Verificou-se três parâmetros de desempenho do sistema na configuração atual nos anos de 2014 (ano de análise), 2017, 2022, 2027 e 2032, considerando a evolução do tráfego até o fim da concessão (em fevereiro de 2033).

Novamente, os parâmetros de desempenho avaliados foram a ociosidade do sistema (indicada pela probabilidade de todos os servidores estarem livres, ou seja, a  $P_{00000000}$ , a probabilidade de perda de atendimento (transferência para empresas terceiras) e as frações de atendimento como *backup*. Os resultados são apresentados no Quadro 20.

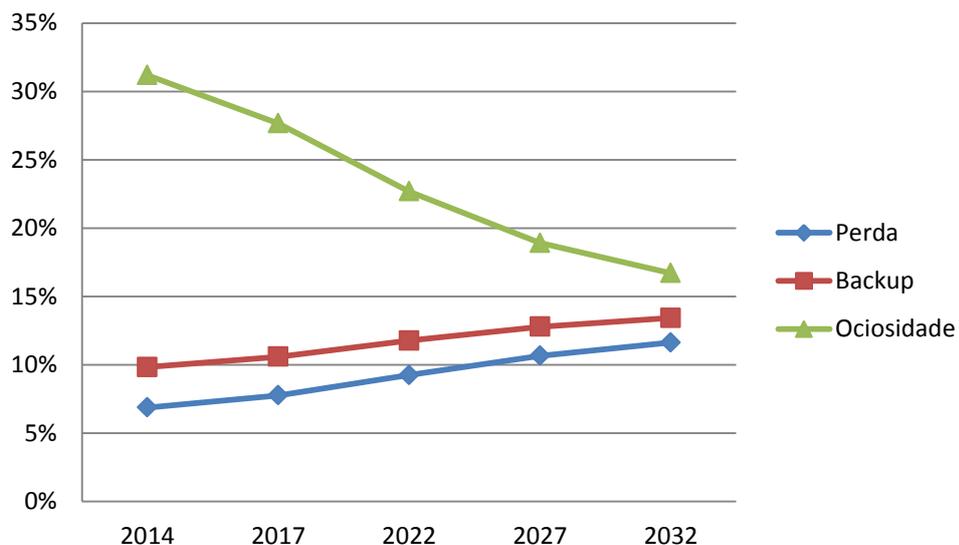
**Quadro 20: Evolução do nível de serviço do sistema modificado até o fim da concessão**

Ano	Prob. Perda	Porc. Backup	Ociosidade
2014	6,88%	9,84%	31,19%
2017	7,76%	10,59%	27,66%
2022	9,25%	11,77%	22,69%
2027	10,66%	12,78%	18,91%
2032	11,63%	13,43%	16,71%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os mesmos resultados são apresentados no Gráfico 11.

**Gráfico 11: Evolução do nível de serviço do sistema modificado até o fim da concessão**



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, com a disponibilização de um novo guincho pesado, considerando a demanda atual, o sistema ficaria ocioso em 31,2% do tempo, índice considerado alto por Mendonça e Morabito (2000), o que é um pouco menor que o índice do sistema atual. Em 2032, esse valor deverá cair para 16,7%.

A probabilidade de perda de um chamado, no ano de 2032, deverá ser de 11,63%, que é um valor menor do que o registrado pelo sistema atual com a

demanda de 2014. Novamente, a fração de atendimentos como *backup* sofre pouco impacto com o aumento da demanda.

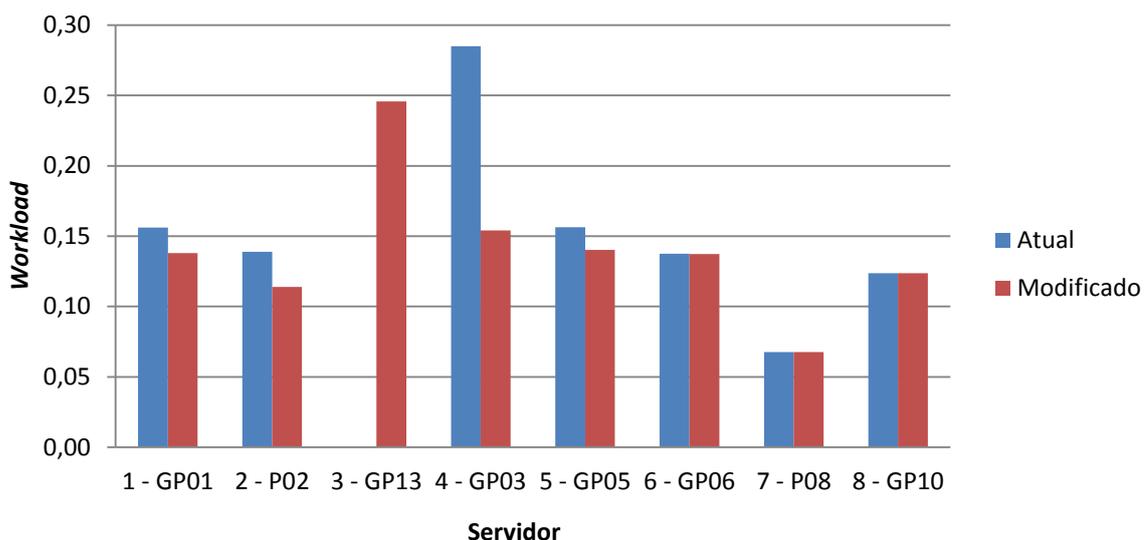
Os resultados demonstram a melhora na qualidade do serviço oferecido com a operação com oito guinchos pesados e dois caminhões pipa-guincho. Ainda assim, o próximo tópico apresenta uma comparação entre o sistema atual e o sistema modificado.

#### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA ATUAL E O SISTEMA MODIFICADO

Este tópico apresenta os *workloads* dos servidores e as probabilidades de perda de atendimento pelo sistema comparando o sistema atual (com sete servidores e 13 átomos) e o sistema modificado (com oito servidores e 14 átomos).

No sistema atual, o recurso GP03 é o servidor 3, enquanto no sistema modificado ele passa a ser o servidor 4. Os servidores subsequentes também são diferentes. Portanto, para se comparar os *workloads* dos sistemas, optou-se por observar as diferenças por recurso e considerando oito servidores, sendo que o novo servidor 3 (GP13) só tem valor de *workload* no sistema modificado. A comparação pode ser vista no Gráfico 12.

**Gráfico 12: Workloads dos servidores no sistema atual e modificado**



Fonte: Elaborado pelo autor

Portanto, há queda na carga de trabalho do servidor 1 ao 6, enquanto os servidores 7 e 8 apresentam a mesma carga nos dois sistemas. A queda mais

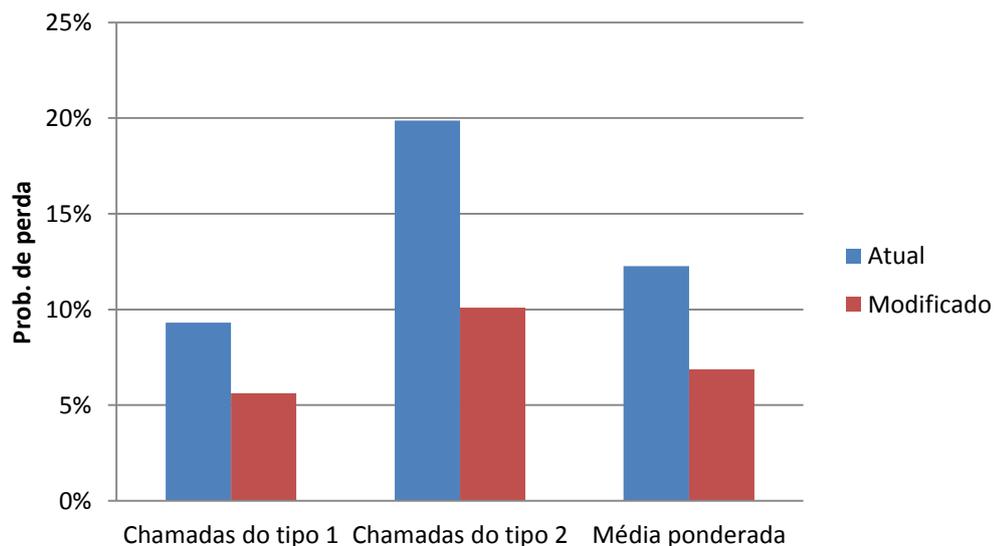
acentuada, que corresponde a 46%, foi registrada no servidor 4 (GP03). No sistema modificado, o maior valor de *workload* é do servidor 3 (GP13) com 0,246, valor 13,7% menor que o maior valor registrado no sistema atual (0,285 do GP03).

A queda nas cargas de trabalho da maioria dos servidores é muito importante para que o sistema possa oferecer um serviço de qualidade e alinhado com as expectativas dos usuários. Como já comentado nos tópicos anteriores, o desvio-padrão no sistema modificado é menor do que no atual, indo ao encontro do indicado na literatura pesquisada, que defende que o desvio deve ser mínimo.

Também cabe salientar que uma alta carga de trabalho reflete em maior uso dos componentes mecânicos do guincho, o que aumenta a necessidade de manutenção dos veículos. Portanto, um sistema que opera com baixas cargas de trabalho tende a ser mais confiável para o usuário e também para o cliente interno (que fornece o serviço).

Considerando a soma das probabilidades de perda de todos os átomos, tem-se a probabilidade de perda do sistema como um todo, sendo que essa probabilidade pode ser dividida por tipo de chamada, além de ser possível se calcular a perda para qualquer chamada (pela média ponderada, segundo Iannoni e Morabito (2006)). Esses parâmetros são apresentados no Gráfico 13.

**Gráfico 13: Probabilidades de perda no sistema atual e modificado**



Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se evidenciar que há redução de 44% na probabilidade de perda de todas as chamadas do sistema, ocorrendo redução de 39,5% nas chamadas do tipo 1 e de 49,2% nas chamadas do tipo 2.

No entanto, os resultados demonstram que o sistema necessita de mais recursos a fim de minimizar o desvio-padrão entre os *workloads* e as probabilidades de perda, uma vez que a demanda supera a capacidade do sistema. Porém, é importante verificar os custos advindos da implementação de mudanças.

Os resultados e discussões apresentadas nesse capítulo indicam que o oferecimento de apenas mais um guincho pesado no sistema traz ótimos resultados para melhora no desempenho de todo o sistema. Isso se dá devido à alocação do recurso no ponto mais crítico do sistema em relação à demanda de atendimentos. Portanto, a operação do sistema modificado é recomendada e deverá ser aplicada o mais breve possível.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 CONCLUSÕES REFERENTES AO TRABALHO**

Estudos para melhoria na qualidade de serviços de transporte são muito importantes, uma vez que a qualidade na prestação desses serviços deve ser uma meta a ser alcançada ou superada, além de reduzir os custos operacionais. A qualidade de um serviço está ligada com o desempenho deste serviço no curto e no longo prazo.

Em serviços de transportes, qualidade e nível de serviço são quase sinônimos e sua análise é feita por meio de indicadores da qualidade técnica dos processos, ou seja, por meio de parâmetros de desempenho. Além disso, a qualidade do serviço é dependente da avaliação do cliente/usuário que o utiliza e da confiabilidade que o serviço traz ao usuário.

O estudo de caso apresentado nesse trabalho abordou os aspectos supracitados e confirmou a importância de estudos para propostas de melhorias na qualidade de serviços de transporte.

A etapa de fundamentação teórica foi fundamental para o desenvolvimento do estudo, possibilitando identificar a importância da avaliação da qualidade em serviços de transportes e seu impacto na avaliação do usuário que utiliza o serviço. Nessa fase também foi possível definir os tempos e etapas do processo de atendimento de um sistema emergencial, o que demonstrou a grande semelhança que o sistema de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul tem com um sistema de atendimento emergencial.

A fundamentação teórica também demonstrou o crescimento de concessões rodoviárias no Brasil e no mundo, confirmando a importância do trabalho desenvolvido pelas concessionárias para o Estado e para a sociedade. A pesquisa referente ao Modelo Hipercubo de Filas indicou a importância dessa ferramenta para avaliação de sistemas de atendimento, sua validade ao modelar sistemas conhecidos e sua relação com o sistema de socorro mecânico da ALS.

O desenvolvimento de um programa computacional (algoritmo) foi de extrema importância para facilitar o cálculo das equações de equilíbrio de estados do modelo e, por consequência, o cálculo das probabilidades de ocorrência de cada estado e dos parâmetros de desempenho do sistema.

Como o Modelo Hiper cubo modela sistemas de serviços de transportes e retorna parâmetros de desempenho desse sistema, ele fornece uma sofisticada avaliação de desempenho do sistema e, portanto, indica seu nível de serviço, podendo ser utilizado para recomendar alterações em um sistema já operante a fim de aumentar sua qualidade e confiabilidade.

Diante deste cenário, o Modelo Hiper cubo foi uma ferramenta capaz de avaliar o sistema emergencial de socorro mecânico da Autopista Litoral Sul. A ALS é uma empresa que oferece este tipo de serviço, o qual é de grande importância para os usuários que utilizam as rodovias sob sua administração e para a sociedade brasileira, que usufrui dos produtos transportados no modal rodoviário.

Além da avaliação do sistema atual de socorro mecânico da ALS, o modelo indicou o impacto nos parâmetros de desempenho do sistema com a utilização de mais um recurso, bem como o comportamento do serviço com o aumento da demanda até o fim da concessão. Os resultados obtidos se mostraram muito satisfatórios e validaram a capacidade do modelo e a qualidade do serviço oferecido.

O presente trabalho confirmou sua contribuição para a academia ao validar o uso do Modelo Hiper cubo em um novo estudo de caso, uma vez que os resultados obtidos refletem a realidade observada diariamente pela Concessionária. Além disso, a aplicação das alterações recomendadas pelo trabalho deve contribuir para a melhoria na qualidade e confiabilidade do serviço prestado.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Eventualmente, novas mudanças no sistema poderão ser verificadas no futuro, tomando como base a projeção dos parâmetros de desempenho até o fim da concessão. Tais mudanças devem ser pautadas na melhoria da qualidade do serviço oferecido, na sua confiabilidade, no aprimoramento do desempenho e na avaliação do usuário de modo que o sistema seja reconhecido pela sua qualidade e desempenho no longo prazo.

Também se recomenda modelar o sistema considerando todos os veículos que um caminhão pipa-guincho pode remover, bem como considerar a demanda deste recurso no apoio em atendimentos a incêndios. Recomenda-se a identificação da

quantidade de recursos necessários para que o sistema opere sem probabilidade de perda, além da consideração de custos advindos com mudanças.

Outra possibilidade de estudo é a otimização do dimensionamento das regiões de cobertura e da localização dos recursos. Como a região da Serra do Mar é a que apresenta maior concentração de demanda e a que mais impacta na operação do sistema, uma avaliação específica para essa região pode ser interessante.

Por fim, recomenda-se a avaliação de outros serviços de socorro mecânico e até mesmo de sistemas médico emergenciais em concessionárias de rodovias brasileiras ou de outras instituições como Bombeiros e SAMU.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. **Relatório Anual 2013**. São Paulo, 2014. Disponível em:

<<http://www.abcr.org.br/Conteudo/Secao/6/relatorio+anual.aspx>>. Acesso em: 18 set. 2014.

ALS – Autopista Litoral Sul. **Informações repassadas e banco de dados do sistema operacional KCOR**. Joinville, 2014

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Editais 003 lote 07 - Autopista Litoral Sul**. 2007. Disponível em:

<[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4981/2\\_\\_Etapa\\_de\\_Concessoes\\_\\_F ASE\\_I\\_e\\_FASE\\_II\\_.html#lista](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4981/2__Etapa_de_Concessoes__F ASE_I_e_FASE_II_.html#lista)>. Acesso em: 30 out. 2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Rodovias Federais Concedidas: Relatório Anual 2012**. Brasília, 2013. Disponível em:

<[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4983/Relatorios\\_Anuais\\_\\_\\_Rodovias\\_Federais\\_Concedidas.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4983/Relatorios_Anuais___Rodovias_Federais_Concedidas.html)>. Acesso em: 18 set. 2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **RNTRC em Números**. 2014a. Disponível em:

<[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4969/RNTRC\\_em\\_Numeros.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/4969/RNTRC_em_Numeros.html)>. Acesso em: 02 out. 2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Programa de Exploração da Rodovia - BR-116/376/PR e BR-101/SC - Trecho: Curitiba – Florianópolis**. 6. ed. Brasília, DF, 2014b Disponível em:

<[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/9151/Autopista\\_Litoral\\_Sul.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/9151/Autopista_Litoral_Sul.html)>. Acesso em: 19 fev. 2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Concessões Rodoviárias**. 2014c. Disponível em:

< [http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5261/Concessoes\\_Rodoviaras.html](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/5261/Concessoes_Rodoviaras.html)  
>. Acesso em: 02 out. 2014.

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Chamamento Público**. 2014d. Disponível em:  
<[http://3etapaconcessoes.antt.gov.br/index.php/content/view/2662/Chamamento\\_Publico.html](http://3etapaconcessoes.antt.gov.br/index.php/content/view/2662/Chamamento_Publico.html)>. Acesso em: 02 out. 2014.

BARBO, André Roriz de Castro *et al.* **A evolução da regulação nas rodovias federais concedidas**. Revista Antt, Brasília, v. 2, n. 2, nov. 2010. Disponível em:  
<[http://appweb2.antt.gov.br/revistaantt/ed3/\\_asp/ed3-artigosEvolucao.asp](http://appweb2.antt.gov.br/revistaantt/ed3/_asp/ed3-artigosEvolucao.asp)>. Acesso em: 20 out. 2014.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT**. Brasília, 2012. Disponível em:  
<<http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352743917.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2014.

BRISA. **Rede em operação pela Brisa Operação e Manutenção**. 2014. Disponível em: <<http://www.brisa.pt/PresentationLayer/conteudo.aspx?menuid=2>>. Acesso em: 02 out. 2014.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. **Boletim estatístico - Agosto 2014**. 2014. Disponível em:  
<[http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins\\_Detalhes.aspx?b=3](http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3)>. Acesso em: 02 out. 2014.

CHIYOSHI, Fernando; GALVÃO, Roberto D.; MORABITO, Reinaldo. **O uso do Modelo Hipercubo na solução de problemas de localização probabilísticos**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 7, n. 2, p.146-174, ago. 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v7n2/a05v7n2.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

COSTA, Deise Maria Bertholdi. **Uma metodologia iterativa para determinação de zonas de atendimento de serviços emergenciais**. 2003. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85958/226481.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 maio 2014.

FHA - *Federal Highway Administration. Full-Function Service Patrol Concept*. 2014. Disponível em:

<[http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08031/fsp4\\_0.htm](http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08031/fsp4_0.htm)>. Acesso em: 02 out. 2014.

GONÇALVES, Miriam Buss. **Métodos de pesquisa operacional em serviços emergenciais**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 26., 1994, Florianópolis. Anais. p. 597 - 601.

HALPERN, J. **The accuracy of estimates for the performance criteria in certain emergency service queueing systems**. *Transportation Science*, v. 11, n. 3, p. 223 - 242. 1977.

IANNONI, Ana Paula. **Otimização da configuração e operação de sistemas médico emergenciais em rodovias utilizando o Modelo Hipercubo**. 2005. 230 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. Disponível em:

<[http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=596](http://www.btdt.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=596)>. Acesso em: 02 set. 2014.

IANNONI, Ana Paula; MORABITO, Reinaldo. **Modelo de fila hipercubo com múltiplo despacho e backup parcial para análise de sistemas de atendimento médico emergenciais em rodovias**. *Pesquisa Operacional*, São Carlos, v. 26, n. 3, p.493-519, maio 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v26n3/04.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de unidades de relevo do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/relevo\\_2006.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/relevo_2006.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2014.

INDIANA TOLL ROAD. **Emergency Information**. 2014. Disponível em: <<http://www.ezpassin.com/emergency-information/>>. Acesso em: 02 out. 2014.

JURAN, Joseph Moses. **Juran na liderança pela qualidade**. São Paulo: Pioneira, 1990.

LARSON, R.C. **A hypercube queueing model for facility location and redistricting in urban emergency services**. *Computers and operations research*, v.1, p.67-95. 1974.

LARSON, R. C.; ODONI, A. R. **Urban Operations Research**. New Jersey, Prentice-Hall. 1981.

LIMA JÚNIOR, Orlando Fontes. **Qualidade em serviços de transportes: conceituação e procedimento para diagnóstico**. 1995. 223 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995. Disponível em: <<http://www.lalt.fec.unicamp.br/index.php/recursos/downloads/category/11-teses-orlando-fontes-lima-jr?download=22:doutorado>>. Acesso em: 27 set. 2014.

MARINHO, Marcelo. **Procedimentos para Avaliação da Qualidade dos Serviços Operacionais Prestados por Concessionárias de Rodovias**. 2006. 297 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MENDONÇA, Fernando César; MORABITO, Reinaldo. **Aplicação do modelo hipercubo para análise de um sistema médico emergencial em rodovia**. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 7, n. 1, p.73-91, abr. 2000. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/gpv7n1v7n1a06](http://www.scielo.br/pdf/gpv7n1v7n1a06)>. Acesso em: 12 jun. 2013.

O MECÂNICO. **Manutenção é a solução**. 2014. Disponível em:  
<<http://www.omecanico.com.br/modules/revista.php?recid=238&edid=23&topid=2>>.  
Acesso em: 02 out. 2014.

OLIVEIRA, Leisi Kelli de. **Uma aplicação do modelo hipercubo de filas para avaliação do centro de emergência da polícia militar de Santa Catarina**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SENNA, Luiz Afonso dos Santos; MICHEL, Fernando Dutra. **Rodovias Autossustentadas**. São Paulo: CLA, 2006.

SIQUEIRA, Daniel Madureira Rodrigues. **Avaliação da qualidade em serviços: uma proposta metodológica**. 2006. 213 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:  
<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88315/229911.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 28 set. 2014.

SOUZA, Regiane Máximo de. **Análise da configuração de SAMU utilizando modelo hipercubo com prioridade na fila e múltiplas alternativas de localização de ambulâncias**. 2010. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. Disponível em:  
<[http://www.bdttd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=3635](http://www.bdttd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3635)>. Acesso em: 17 jun. 2013.

TAKEDA, Renata Algisi. **Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde**. 2000. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em:  
<[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../TeseRenataAlgisiTakeda.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../TeseRenataAlgisiTakeda.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2014.

VALENTE, Amir Mattar *et al.* **Qualidade e Produtividade nos Transportes.** São Paulo: Cengage Learning, 2008.

ZEITHAML, Valarie A.; BERRY, Leonard L.; PARASURAMAN, A. ***Problems and strategies in services marketing.*** *Journal of Marketing*, v. 49, p. 33-46, Spring 1985.

ZEITHAML, Valerie A.; BERRY, Leonard L. ***A Conceptual model of service quality and its implications for future research.*** *Journal of Marketing*, v. 49, p. 48, 1985.

ZEITHAML, Valerie A.; BERRY, Leonard L.; PARASURAMAN, A. ***The nature and determinants of customer expectations of service.*** *Journal of the Academy of Marketing Science*, v. 21, n. 1, p. 1-12, 1993.

## APÊNDICE A – PROGRAMA COMPUTACIONAL (ALGORITMO) DESENVOLVIDO NA LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON

```

import numpy as np
from numpy import matrix
n = input ("Digite a quantidade de servidores: ")
rotas = input ("Digite a quantidade de átomos: ")
x = input ("Digite a quantidade de possibilidades de chamadas em cada átomo: ")
print "Seu problema tem", n, "servidores/recursos,", rotas, "átomos e", x,
"possibilidade(s) de chamadas!"
## mi e lambda (taxas de atendimento e de chegada)
mi = []
for i in range (n):
    print
    print "Taxa de atendimento do recurso", i+1, ":"
    txa = input ("Digite a taxa de atendimento: ")
    mi.append(txa)
lamb = []
for i in range (rotas):
    for j in range (x):
        print
        print "Taxa de chegada da chamada tipo", j+1, "do átomo", i+1, ":"
        txc = input ("Digite a taxa de chegada: ")
        lamb.append(txc)
## matriz de despacho (primeira e segunda opção)
desp = np.zeros([rotas,2*x])
print
print "Preenchimento da tabela de acionamentos (principal e backup):"
for i in range (rotas):
    print
    print "Acionamentos do átomo", i+1, ":"
    aux0 = 0
    for j in range (x):
        print

```

```

print "Acionamentos da chamada tipo", j+1, ":"
for k in range (2):
    if k == 0:
        rec = input ("Digite o número do servidor principal: ")
    else:
        rec = input ("Digite o número do servidor backup: ")
    desp[i][aux0] = int(rec)
    aux0 = aux0+1
## lista de estados possíveis
num = 2**n
est = {}
for i in range (num):
    est[i]=[0]*n
aux = 0
for i in range (n-1,-1,-1):
    for j in range (2**aux,num,2**(aux+1)):
        for k in range (2**aux):
            est[j+k][i]=1
        aux = aux + 1
## elementos da matriz
matriz = np.zeros([num,num])
for l in range (num):
    listaux = []
    for k in range (n):
        listaux.append(est[l][k])
    listaux2 = []
    for k in range (n):
        listaux2.append(est[l][k])
    coef = []
    sai = 0
    aux1=n-1
    aux2=0
    aux3=0
    for i in range (n):

```

```

aux5=0
if listaux[aux1]==0:
    for j in range (rotas):
        for k in range (x):
            if desp[j][k*2]==i+1:
                sai = sai + lamb[aux5]
            if desp[j][(k*2)+1]==i+1:
                aux2 = int(desp[j][k*2])
                aux3= int(n-aux2)
                if listaux[aux3]==1:
                    sai = sai + lamb[aux5]
            aux5 = aux5+1
        else:
            sai = sai + mi[i]
            aux1 = aux1 - 1
coef.append(sai)
aux1=n-1
aux2=0
aux3=0
for i in range (n):
    aux6=0
    ent = 0
    if listaux2[aux1]==0:
        ent = mi[i]
    else:
        for j in range (rotas):
            for k in range (x):
                if desp[j][k*2]==i+1:
                    ent = ent + lamb[aux6]
                if desp[j][(k*2)+1]==i+1:
                    aux2 = int(desp[j][k*2])
                    aux3= int(n-aux2)
                    if listaux2[aux3]==1:
                        ent = ent + lamb[aux6]

```

```

        aux6 = aux6+1
    aux1 = aux1 - 1
    coef.append(ent)
aux4 = 0
matriz[l][l]=coef[0]
y=1
for i in range (n-1,-1,-1):
    listaux3 = []
    for k in range (n):
        listaux3.append(est[l][k])
    if listaux3[i]==0:
        listaux3[i]=1
    else:
        listaux3[i]=0
    for j in range (num):
        if listaux3==est[j]:
            aux4 = j
        matriz[l][aux4]=((coef[y])*(-1))
    y = y + 1
for i in range (num):
    matriz[2][i]=1
## cálculo das probabilidades
val = np.zeros([num,1])
val[2][0]=1
M = matrix(matriz)
inv = M.I
prob = inv*val
arq=open("probabilidades.txt","w")
arq=open("probabilidades.txt","a")
for i in range (num):
    arq.write ('%f;' % prob[i][0])
## parâmetros de desempenho
## workloads
work = []

```

```

aux7=0
for i in range (n-1,-1,-1):
    workload=0
    for j in range (num):
        if est[j][i]==1:
            aux7 = j
            workload = workload + prob[j][0]
    work.append(workload)
arq=open("workloads.txt","w")
arq=open("workloads.txt","a")
for i in range (n):
    arq.write ('%f;' % work[i])
## probabilidade de perda
lambtotal = []
for i in range (x):
    aux90 = 0
    for j in range (i,len(lamb),x):
        aux90 = aux90 + lamb[j]
    lambtotal.append(aux90)
pp = []
pps = [0]*(rotas*x)
for z in range (x):
    aux91 = 0
    for l in range (num):
        listaux = []
        for k in range (n):
            listaux.append(est[l][k])
        aux1=n-1
        aux2=0
        aux3=0
        for i in range (n):
            if listaux[aux1]==1:
                for j in range (rotas):
                    if desp[j][z*2]==i+1:

```

```

aux2 = int(desp[j][(z*2)+1])
if aux2 == 0:
    aux91 = aux91 + (((lamb[(j*x)+z])/lambtotal[z])*prob[l])
    pps[(j*x)+z]=pps[(j*x)+z]+(((lamb[(j*x)+z])/lambtotal[z])*prob[l])
else:
    aux3 = int(n-aux2)
    if listaux[aux3]==1:
        aux91 = aux91 + (((lamb[(j*x)+z])/lambtotal[z])*prob[l])
        pps[(j*x)+z]=pps[(j*x)+z]+(((lamb[(j*x)+z])/lambtotal[z])*prob[l])
    aux1 = aux1 - 1
pp.append(aux91)
arq=open("perda.txt","w")
arq=open("perda.txt","a")
for i in range (x*rotas):
    arq.write ('%f;' % pps[i])
## frequência de despacho
fnj = []
for i in range (rotas):
    for j in range (x):
        somaprob = 0
        aux1=n-int(desp[i][j*2])
        for l in range (num):
            listaux = []
            for k in range (n):
                listaux.append(est[l][k])
            if listaux[aux1]==0:
                somaprob = somaprob + prob[l]
        aux3 = lamb[((i*x)+j)]
        aux4 = (((aux3/lambtotal[j])*somaprob)/(1-pp[j]))
        fnj.append(aux4)
        somaprob = 0
        aux2=n-int(desp[i][(j*2)+1])
        if aux2!=n:
            for l in range (num):

```

```
listaux = []
for k in range (n):
    listaux.append(est[l][k])
if listaux[aux2]==0:
    if listaux[aux1]==1:
        somaprob = somaprob + prob[l]
    aux3 = lamb[((i*x)+j)]
    aux4 = (((aux3/lambtotal[j])*somaprob)/(1-pp[j]))
    fnj.append(aux4)
arq=open("frequencia.txt","w")
arq=open("frequencia.txt","a")
for i in range (2*x*rotas):
    arq.write ('%f;' % fnj[i])
```