

Pedro Marinho Sizenando Silva

**ANÁLISE DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO
MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) DE BELO
HORIZONTE VIA SIMULAÇÃO E
OTIMIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Produção e Logística

Orientador: Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto

Belo Horizonte
UFMG
2010

“Conseguir que as gerações futuras sejam mais felizes que a nossa será o prêmio mais grandioso a que se possa aspirar. Não haverá valor comparável ao cumprimento desta grande missão, que consiste em preparar para a humanidade futura um mundo melhor.”

Carlos Bernardo González Pecotche - RAUMSOL

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Ricardo Pinto, pelos conselhos e sugestões nas horas certas e pelo aprendizado ao longo de tantos anos.

À Fapemig, pela bolsa de estudos concedida ao longo da maior parte do trabalho.

Ao ex-coordenador médico do SAMU, doutor Anselmo Dornas Moura, por ter recebido o projeto de braços abertos.

À coordenadora médica do SAMU, doutora Maria Silvia Mascarenhas Martins de Lucena, pelo apoio ao projeto durante mais de um ano, respondendo pacientemente as dúvidas e facilitando ao máximo o desenvolvimento do trabalho.

A todos os funcionários da central de regulação do SAMU de Belo Horizonte, pela paciência durante as horas gastas na coleta de dados.

Ao Walter, funcionário da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte, analista de sistemas responsável pelo banco de dados.

Ao Comitê de Ética em Pesquisa da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte, por ter aprovado o projeto, considerando relevante para melhoria do processo de atendimento do Samu.

Aos colegas de mestrado, pelas conversas, apoio e companheirismo nas horas alegres e nos momentos difíceis.

À minha família, especialmente aos meus pais, por terem me mostrado através do exemplo e dos ensinamentos qual o grande significado e objetivo da vida.

Um agradecimento póstumo ao Renato Xavier Jardim, que foi quem idealizou este trabalho.

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa.....	1
1.2. Objetivo Geral	2
1.3. Objetivos Específicos	2
1.4. Estrutura da Dissertação	3
2. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	4
3. CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA	8
3.1. O que é o SAMU	8
3.2. Caracterização detalhada do processo de resgate	9
3.3. Samu de Belo Horizonte.....	17
4. MOTIVAÇÃO NO USO DA SIMULAÇÃO	21
5. REVISÃO DE LITERATURA	23
5.1. Simulação a eventos discretos	23
5.2. Simulação aplicada ao serviço médico de emergência (SME).....	25
6. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS	39
6.1. Chegada das chamadas	39
6.2. Características das chamadas.....	44
7. MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O SAMU.....	50
7.1. Modelo Computacional	50
7.2. Verificação e Validação.....	60
7.3. Regime Transiente x Permanente	65
7.4. Número de Replicações	66
7.5. Cenário Atual de Operação.....	68
8. ANÁLISE DE CENÁRIOS	74
8.1. Cenário 1 – Aumento de demanda	74
8.2. Cenário 2 – Reposição feita nos hospitais	79
8.3. Cenário 3 – Nova central de regulação.....	82
8.4. Cenário 4 – Otimização do número e localização das ambulâncias.....	86
9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
ANEXO I – Distribuição dos tempos de atendimento	112

ANEXO II – Distribuição da taxa média de chamadas por dia e por faixa de horário..	116
ANEXO III – Taxa de utilização das ambulâncias para o cenário atual	120
ANEXO IV – Custo mensal de uma unidade de suporte básico	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Etapas de um estudo de simulação.....	4
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de atendimento a uma chamada	16
Figura 3.2 – Distribuição espacial das unidades de resgate	18
Figura 3.3 – Distribuição espacial dos centros de atendimento	20
Figura 4.1 – Sequência de eventos no atendimento de emergência	21
Figura 5.1 – Interação entre os elementos de um modelo de simulação	25
Figura 6.1 – Evolução no número de chamadas (out/2006 – ago/2009)	40
Figura 6.2 – Comparativo do número de chamadas entre dias úteis e final de semana ..	42
Figura 6.3 – Distribuição das chamadas por região (out/2006 – ago/2009)	43
Figura 6.4 – Evolução da participação de cada região no total de chamadas (jan/2009 – ago/2009)	44
Figura 6.5 – Legenda para as tabelas de descrição das chamadas.....	45
Figura 6.6 – Evolução do número de chamadas atendidas (despacho de ambulância) ..	49
Figura 7.1 – Fluxograma do processo de atendimento de uma chamada de emergência.	51
Figura 7.2 – Mapeamento da região de Venda Nova	56
Figura 7.3 – Matriz de controle das ambulâncias (retirado diretamente da tela do Arena).....	59
Figura 7.4 – Gráfico comparativo do número de atendimentos realizados (validação)	64
Figura 7.5 – Período transiente para o tempo de resposta médio	66
Figura 7.6 – Histograma do tempo de resposta para cenário atual.....	69
Figura 7.7 – Histograma do tempo de espera da chamada para cenário atual.....	71
Figura 7.8 – Freqüência relativa da quantidade de atendimentos em cada centro	73
Figura 8.1 – Variação do tempo de resposta médio com o aumento da demanda.....	75
Figura 8.2 – Variação do tempo de espera médio com o aumento da demanda	76
Figura 8.3 – Variação do tamanho médio da fila de espera com o aumento da demanda	76
Figura 8.4 – Variação do tamanho máximo da fila de espera com o aumento da demanda	77
Figura 8.5 – Histograma do tempo de espera para o cenário 3	84
Figura 8.6 – Histograma do tempo de resposta para o cenário 3	85
Figura 8.7 – Representação básica do processo de otimização baseada em simulação ..	87

Figura 8.8 – Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.1	92
Figura 8.9 – Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.1	92
Figura 8.10 – Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.2	95
Figura 8.11 – Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.2	95
Figura 8.12 – Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.3	98
Figura 8.13 – Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.3	98
Figura I.1 – Distribuição para o tempo de despacho	112
Figura I.2 – Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de não despachar uma ambulância	112
Figura I.3 – Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de envio de uma ambulância USA	112
Figura I.4 – Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de envio de uma ambulância USB	113
Figura I.5 – Distribuição para o tempo de parada para manutenção	113
Figura I.6 – Distribuição para o tempo de atendimento do teledigifonista no caso de uma ocorrência médica.....	113
Figura I.7 – Distribuição para o tempo de atendimento do teledigifonista no caso de uma ocorrência não médica	114
Figura I.8 – Distribuição para o tempo de atendimento local no caso de uma USB.....	114
Figura I.9 – Distribuição para o tempo de atendimento local no caso de uma USA.....	114
Figura I.10 – Distribuição para o tempo de transmissão das informações sobre o estado do paciente para o despachante	115
Figura I.11 – Distribuição para o tempo de orientação médica da equipe de resgate através do médico regulador da central (regulação secundária)	115
Figura II.1 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (segunda-feira)	116
Figura II.2 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (terça-feira).	116

Figura II.3 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (quarta-feira)	
.....	117
Figura II.4 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (quinta-feira)	
.....	117
Figura II.5 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (sexta-feira).	118
Figura II.6 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (sábado)	118
Figura II.7 – Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (domingo) ..	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Bases do SAMU em Belo Horizonte.....	17
Tabela 3.2 – Centros de Atendimento de Belo Horizonte.....	19
Tabela 5.1 – Elementos da simulação (exemplos)	24
Tabela 5.2 – Padrões de tempos de resposta retirados da literatura	36
Tabela 5.3 – Tempos de atendimento de diferentes localidades (valores em minutos)...	37
Tabela 5.4 – Trabalhos de simulação de serviços de atendimento móveis de urgência desde a década de 90	38
Tabela 6.1 – Quantidade média de chamadas por dia e horário (março a junho de 2009)	41
Tabela 6.2 – Distribuição dos motivos de chamada (out/2006 – ago/2009)	46
Tabela 6.3 – Distribuição dos tipos de ocorrência (out/2006 – ago/2009)	47
Tabela 6.4 – Frequência relativa dos tipos de ocorrência por região (ano de 2009)	47
Tabela 6.5 – Distribuição das condutas médicas (out/2006 – ago/2009)	47
Tabela 6.6 – Distribuição do tipo de ambulância despachada por tipo de ocorrência para o ano de 2009.....	48
Tabela 7.1 – Critérios usuais para a classificação do <i>p-value</i>	54
Tabela 7.2 – Compilado das distribuições utilizadas no modelo	55
Tabela 7.3 – Validação do tempo de espera	62
Tabela 7.4 – Validação do tempo de espera + deslocamento + atendimento.....	63
Tabela 7.5 – Validação do número de atendimentos realizados (real x simulado)	64
Tabela 7.6 – Intervalos de confiança para as variáveis de resposta	67
Tabela 7.7 – Tempo de resposta para cenário atual.....	68
Tabela 7.8 – Distribuição do tempo de resposta para cenário atual	69
Tabela 7.9 – Tempo de espera da chamada para cenário atual.....	70
Tabela 7.10 – Distribuição do tempo de espera da chamada para cenário atual	71
Tabela 7.11 – Variáveis de resposta para a ambulância de saúde mental (valores médios em minutos)	71
Tabela 8.1 – Descrição dos cenários analisados.....	74
Tabela 8.2 – Tempo de resposta médio para o cenário 2	79
Tabela 8.3 – Comparativo do tempo de resposta atual e cenário 2	80
Tabela 8.4 – Tempo total de deslocamento para reposição (cenário 2)	82
Tabela 8.5 – Tempo de espera em minutos para o cenário 3.....	83

Tabela 8.6 – Distribuição do tempo de espera em minutos para o cenário 3	83
Tabela 8.7 – Tempo de resposta em minutos para o cenário 3.....	84
Tabela 8.8 – Distribuição do tempo de resposta em minutos para o cenário 3	84
Tabela 8.9 – Diferenças para o tempo de espera médio entre cenário atual e cenário 3	85
Tabela 8.10 – Diferenças para o tempo de resposta médio entre cenário atual e cenário 3	86
Tabela 8.11 – Configuração para o cenário 8.4.1	91
Tabela 8.12 – Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.1	91
Tabela 8.13 – Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.1	92
Tabela 8.14 – Configuração para o cenário 8.4.2.....	94
Tabela 8.15 – Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.2	94
Tabela 8.16 – Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.2	95
Tabela 8.17 – Configuração para o cenário 8.4.3.....	97
Tabela 8.18 – Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.3	97
Tabela 8.19 – Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.3	98
Tabela III.1 – Taxa de utilização das ambulâncias.....	120
Tabela IV.1 – Custo mensal de uma USB.....	121

LISTA DE ABREVIATURAS

ALS	Advanced Life Support
BLS	Basic Life Support
CERSAM	Centro de Referência em Saúde Mental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SAMU	Serviço de Atendimento Móvel de Urgência
SME	Serviço Médico de Emergência
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
USA	Unidade de Serviço Avançada
USB	Unidade de Serviço Básica
UTM	Universal Transverse Mercator

RESUMO

Diversos trabalhos publicados na literatura médica e na área de pesquisa operacional demonstram que existe uma relação direta entre o tempo de resposta das unidades de resgate e a probabilidade de sobrevivência das vítimas envolvidas em acidentes. Apresenta-se, neste trabalho, o desenvolvimento de um modelo de simulação representativo das operações do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência de Belo Horizonte. Uma análise é feita para mapeamento das atividades componentes do sistema e levantamento das características e tendências relativas às chamadas que chegam à central de regulação. Os tempos de todos os processos são estimados e, com o modelo verificado e validado, apresentam-se estimativas para o tempo de resposta médio, variável de interesse utilizada para avaliação de desempenho deste tipo de sistema. Alguns cenários foram avaliados utilizando do modelo computacional implementado e análises foram conduzidas para determinação dos ganhos e eventuais perdas nas diversas etapas do processo de resgate decorrentes das mudanças consideradas. Um estudo também foi conduzido integrando o modelo de simulação com um otimizador, de maneira a identificar a melhor configuração (dentro de critérios de busca e parada estabelecidos), levando em consideração a restrição relativa ao tempo de resposta.

ABSTRACT

Several studies published in the medical literature and in the area of operational research shows that there is a direct relation between response time of rescue units and the probability of survival for victims involved in accidents. This study presents the development of a simulation model representing the operations of the Emergency Medical System of Belo Horizonte. An analysis is made for mapping the activities of the system and study the characteristics and trends related to the calls that arrive in the central regulation. The times of all processes are estimated and, with the model verified and validated, experiments were conducted to estimate the average response time, the variable of interest used to evaluate the performance of this type of system. Some scenarios were evaluated using the computational model implemented and analyses were conducted to determine the gains and losses in the various stages of the rescue process related to the considered changes. A study was also conducted by integrating the simulation model with an optimizer, in order to identify the best configuration (within search criteria and stopping criteria adopted), taking into consideration restrictions concerning the response time.

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A função básica de um Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) é responder de forma organizada, a fim de evitar o uso excessivo de recursos, a toda situação de urgência que necessite de meios médicos, desde o primeiro contato telefônico até a liberação das vítimas ou seus encaminhamentos hospitalares. O sistema deve determinar e desencadear a resposta mais adequada para o caso, assegurar a disponibilidade dos meios hospitalares, determinar o tipo de transporte exigido e preparar o acolhimento dos pacientes (TAKEDA *et al.*, 2001).

Serviços emergenciais como os SAMU's apresentam altos graus de incerteza, e normalmente suas eficiências são medidas através do tempo médio de resposta a um chamado, ou seja, o tempo que uma vítima espera em média para começar a receber algum tipo de atendimento. Quanto maior o grau de incerteza envolvido e maior a necessidade de se obter respostas rápidas, menor deve ser a taxa de utilização dos operadores e equipamentos do sistema. Caso contrário, o nível de serviço oferecido pode ser deteriorado. Neste contexto, quando bem dimensionados, geralmente ocorrem longos períodos em que os operadores e equipamentos permanecem desocupados (GONÇALVES, 1994).

Diversos autores apontam a existência de uma relação direta entre o tempo de espera por atendimento e a probabilidade de sobrevivência das vítimas. Cummings (1989) afirma que para pacientes com parada cardíaca, cada minuto de atraso no resgate diminui a taxa de sobrevivência de 7-10%. Cummins *et al.* (1985) também observaram que se o procedimento de ressuscitação cardiopulmonar for feito dentro de 5 minutos desde o instante da parada cardíaca e a desfibrilação ocorrer dentro de 10 minutos, a porcentagem de sobrevivência até a liberação pelo hospital é de 30%, caso contrário diminui para menos de 7%. Mayer (1979) examinou 525 casos de parada cardíaca ocorridas em Seattle durante um período de um ano. Foi possível identificar uma relação estatística significativa entre sobrevivência a curto prazo (admissão no hospital) e a longo prazo (liberação do hospital) e tempo de viagem das unidades de resgate. Por exemplo, para tempos de viagem de 3 minutos ou menos, 77% de todas as vítimas

foram admitidas no hospital, enquanto 48% foram liberadas do hospital. Para tempos de viagem de 7 minutos ou mais, os valores correspondentes foram de 52% e 19%.

O problema da análise de serviços emergenciais pode ser abordado de diferentes maneiras: localização de bases (Toregas *et al.*, 1971), projeto das áreas de cobertura específicas (Church e ReVelle, 1974), simulação (Su e Shih, 2003), modelo hipercubo (Oliveira e Gonçalves, 2004), dentre outros. O presente trabalho utiliza das técnicas de simulação a eventos discretos para condução do estudo de análise do serviço de atendimento móvel de urgência de Belo Horizonte – MG.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de simulação capaz de representar de maneira confiável as operações de resgate do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Belo Horizonte, com o objetivo de gerar estimativas dos parâmetros de desempenho (tempo de resposta e espera no atendimento) comumente utilizados para avaliação deste tipo de sistema. Com o modelo desenvolvido, avaliar configurações alternativas de operação buscando reduzir o tempo de resposta (tempo gasto desde a chegada da chamada na central de regulação até a chegada da equipe de atendimento no local do incidente).

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Avaliação do número de servidores no sistema, buscando identificar a quantidade ideal que atenda a população com um nível de serviço considerado de alta qualidade. De acordo com Ball e Lin (1993) a regulamentação americana para os serviços médicos de urgência estabelece que 95% das solicitações em área urbana devem ser atendidas em, no máximo, 10 minutos, sendo este período estendido para 30 minutos para áreas rurais.
- ii. Análise das características das chamadas que chegam à central bem como sua distribuição temporal e espacial.
- iii. Avaliar o impacto no tempo de resposta do sistema considerando as seguintes mudanças:
 - ✓ Aumento na demanda por serviços;
 - ✓ Alteração na localização da central de regulação;

- ✓ Mudanças na lógica de operação;
- ✓ Mudanças no número e localização das ambulâncias em operação.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está dividida da seguinte maneira: nesta seção é feita uma introdução ao problema e a apresentação dos objetivos gerais e específicos para o trabalho, buscando delimitar de maneira clara o seu escopo, a seção 2 resume a metodologia utilizada para abordagem e tratamento do problema, a seção 3 apresenta uma caracterização do objeto de estudo focando nos aspectos que serão considerados para futura modelagem computacional, a seção 4 apresenta uma justificativa e motivação para o uso de técnicas de simulação a eventos discretos neste contexto, a seção 5 apresenta uma revisão de literatura sobre simulação a eventos discretos e simulação aplicada no contexto de atendimento médico de emergência, a seção 6 resume as principais informações retiradas do banco de dados e coletadas em campo, explicitando seu uso no modelo, a seção 7 detalha o modelo computacional desenvolvido bem como as considerações e simplificações feitas, a seção 8 apresenta os principais resultados obtidos a partir dos cenários analisados e a seção 9 traz a conclusão do trabalho desenvolvido e sugestões para trabalhos futuros.

2 METODOLOGIA DE TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido seguindo os passos apresentados no fluxograma a seguir.

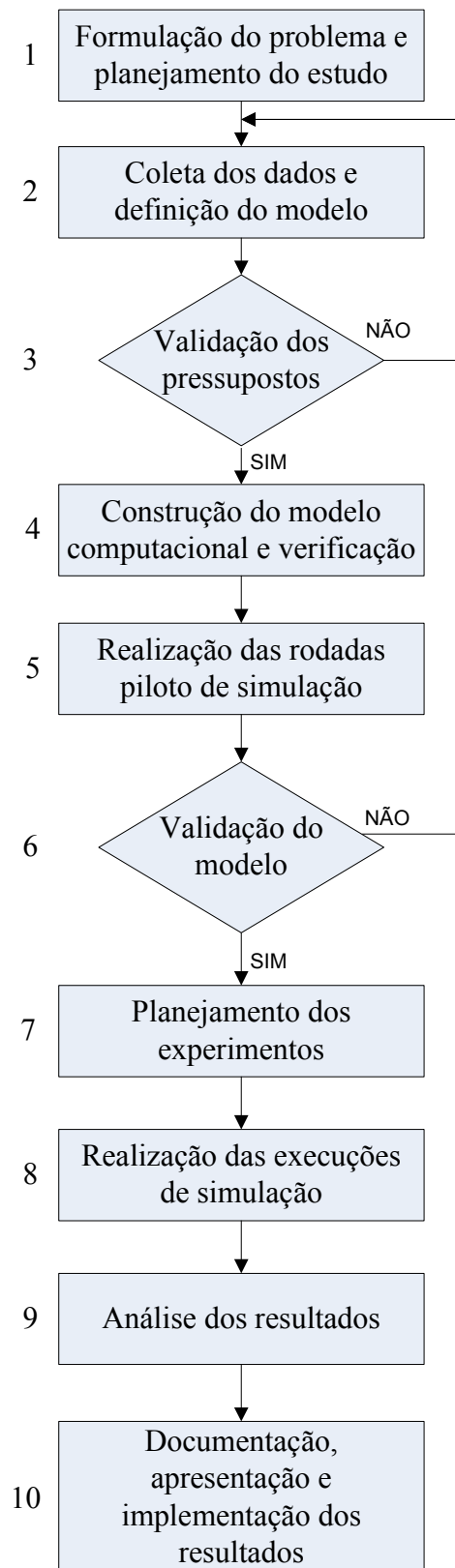


Figura 2.1: Etapas de um estudo de simulação
Fonte: Law (2007)

1. Formulação do problema e planejamento do estudo

Definição clara do escopo do problema e levantamento de quais questões serão abordadas pelo estudo de simulação. Importante participação de responsável da empresa ou instituição onde será desenvolvido o trabalho, com levantamento das medidas de desempenho que serão utilizadas para avaliar a eficácia de diferentes configurações do sistema e definição do tempo de projeto e recursos a serem utilizados.

2. Coleta dos dados e definição do modelo

Os dados a serem utilizados e o nível de detalhamento do modelo vão depender dos objetivos e metas levantados no item anterior. Os dados serão utilizados para especificação dos parâmetros do modelo e definição das distribuições de probabilidade utilizadas como entrada.

3. Validação dos pressupostos

Uma vez feita a modelagem conceitual do problema e a coleta e tratamento completos dos dados a serem utilizados, a participação da gerência da empresa ou instituição envolvida no projeto é de extrema importância, de maneira a validar o que já foi feito e evitar retrabalho em etapas posteriores do estudo. Caso algum aspecto seja motivo de insatisfação e seja identificada a necessidade de alguma alteração, retorna-se para o passo 2.

4. Construção do modelo computacional e verificação

Modelagem computacional do problema a ser tratado utilizando das informações levantadas e dados coletados nos itens anteriores. Nesta etapa, pode-se utilizar de alguma linguagem de programação (melhor controle do programa, menor custo de aquisição e menor tempo de execução) ou algum *software* específico de simulação (redução no tempo de programação e maior facilidade de implementação). Uma vez implementado, o modelo computacional é verificado de maneira a garantir que cada procedimento ou função implementada esteja funcionando da maneira prevista de acordo com a operação real do sistema em estudo.

5. Realização das rodadas piloto de simulação

O modelo verificado é testado em rodadas piloto de maneira a gerar dados suficientes para serem utilizados no processo de validação.

6. Validação do modelo

Confrontar os valores das variáveis de resposta fornecidos pelo modelo computacional desenvolvido com valores reais coletados no sistema em funcionamento (passo 2). Diferentes técnicas estatísticas podem ser utilizadas nesta etapa, como por exemplo o teste de hipóteses, intervalo de confiança e análise de variância. Quando dados reais não estiverem disponíveis para comparação, a participação e análise detalhada tanto dos programadores quanto dos gerentes envolvidos é de extrema importância, de maneira a garantir a representatividade e eficiência do mesmo.

7. Planejamento dos experimentos

Definição de quais cenários serão simulados com o modelo desenvolvido, levando em conta os objetivos traçados no passo 1 bem como o nível de detalhamento do modelo, buscando garantir que as configurações testadas irão fornecer informações suficientes para auxiliar na tomada de decisão por parte dos gestores do sistema. Devem ser definidos, para cada configuração, a duração de cada rodada de simulação, do tempo de aquecimento quando necessário e quantidade de replicações.

8. Realização das execuções de simulação

Simular os cenários levantados no item anterior e armazenar as informações relevantes para análise relativa ao desempenho do sistema.

9. Análise dos resultados

As informações utilizadas nesta etapa devem ser suficientemente precisas para determinar o desempenho do sistema sob determinada configuração e ser possível comparar diferentes cenários. Mais uma vez as técnicas estatísticas são fundamentais no auxílio às análises.

10. Documentação, apresentação e implementação dos resultados

Documentar os pressupostos, o modelo computacional de simulação desenvolvido e os resultados dos cenários simulados. O documento gerado é de grande valia para uso futuro do projeto por pessoas diferentes e até mesmo para novos estudos na mesma área. Os resultados encontrados devem ser apresentados para as partes envolvidas e utilizados no auxílio à tomada de decisões, dado que as etapas anteriores foram cumpridas de acordo e validadas sempre que necessário. Nesta etapa, o uso da animação facilita a

comunicação e exposição do modelo implementado para aqueles que não estão familiarizados com a lógica de programação ou com os detalhes do modelo.

3 CARACTERIZAÇÃO DO SERVIÇO DE ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA

As informações relativas aos dados históricos e processo de funcionamento do SAMU, quando não referenciadas, foram retiradas e adaptadas do site www.portal.saude.gov.br.

3.1 O QUE É O SAMU

O serviço de atendimento móvel de urgência no Brasil segue o modelo francês de tratamento pré-hospitalar, que presta socorro às vítimas no local do acidente, não se atendo somente ao transporte da vítima para o hospital. Lançado em setembro de 2003 pelo Governo Federal, está disponível 24 horas por dia, sendo constituído por equipes de profissionais da saúde que incluem médicos, enfermeiras e assistentes, que respondem a emergências de diferentes naturezas, incluindo trauma, pediátrica, cirúrgica, ginecológica, obstétrica e saúde mental (TIMERMAN *et al.*, 2006).

O Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (Samu/192) é um programa que tem como finalidade prestar o socorro à população em casos de emergência. Com o Samu/192, o governo federal busca reduzir o número de óbitos, o tempo de internação em hospitais e as seqüelas decorrentes da falta de socorro precoce. O Samu realiza o atendimento de urgência e emergência em qualquer lugar: residências, locais de trabalho e vias públicas. O socorro é feito após chamada gratuita, feita para o telefone 192. A ligação é atendida por técnicos na Central de Regulação que identificam a emergência e, imediatamente, transferem o telefonema para o médico regulador. Esse profissional faz o diagnóstico da situação e inicia o atendimento no mesmo instante, orientando o paciente, ou a pessoa que fez a chamada, sobre as primeiras ações. Ao mesmo tempo, o médico regulador avalia qual o melhor procedimento para o paciente: orienta a pessoa a procurar um posto de saúde; designa uma ambulância de suporte básico de vida, com auxiliar de enfermagem e socorrista para o atendimento no local; ou, de acordo com a gravidade do caso, envia uma unidade avançada, com médico e enfermeiro. Com poder de autoridade sanitária, o médico regulador comunica a urgência ou emergência aos hospitais públicos e, dessa maneira, reserva leitos para que o atendimento de urgência tenha continuidade.

Atualmente, a rede nacional SAMU 192 conta com 146 Serviços de Atendimento Móvel de Urgência no Brasil. Ao todo, 1.269 municípios são atendidos pelo SAMU, num total de 101.794.573 milhões de pessoas.

O Samu pode ser chamado nos seguintes casos:

- ✓ Na ocorrência de problemas cardio-respiratórios;
- ✓ Em casos de intoxicação, trauma ou queimadura;
- ✓ Na ocorrência de quadros infecciosos;
- ✓ Na ocorrência de maus tratos;
- ✓ Em trabalhos de parto;
- ✓ Em casos de tentativas de suicídio;
- ✓ Em crises hipertensivas;
- ✓ Quando houver acidentes com vítimas;
- ✓ Em casos de choque elétrico;
- ✓ Em acidentes com produtos perigosos;
- ✓ Na transferência de doentes de uma unidade hospitalar para outra.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DO PROCESSO DE RESGATE

A descrição a seguir está baseada em informações retiradas do sítio da internet da Secretaria de Saúde de Belo Horizonte (<http://www.pbh.gov.br/smsa>) e informações coletadas diretamente na central de regulação do SAMU.

1. Da instalação do agravo à saúde até sua identificação

Esta etapa depende diretamente do envolvimento da população. Algumas situações são imediatas e facilmente identificadas, como os acidentes, enquanto outras podem ser negligenciadas, como por exemplo uma dor no peito (possibilidade de enfarto) ou tontura (possibilidade de acidente vascular cerebral). Em uma comunidade bem envolvida e orientada, esta etapa geralmente é curta, enquanto em outras pode ser longa e representar uma redução na eficiência do socorro médico.

2. Da identificação da emergência ao início do contato feito com um serviço de emergência

Uma vez identificada a situação de emergência, vem a decisão de acionar um serviço de resgate. Esta etapa depende da disponibilidade de um telefone próximo e do conhecimento de qual número chamar.

3. Do início do contato à conclusão da anotação dos dados (triagem da informação, coleta dos dados necessários para o despacho, endereço, etc.)

O profissional que atende ao telefone deve imediatamente separar os telefonemas que não se caracterizam como emergência, dando-lhes destino conforme sua rotina. Caracterizada a emergência, deve identificar sua natureza básica, alguns dados sobre a vítima e endereço. O quesito endereço é talvez o grande responsável pelos atrasos no despacho de ambulâncias nos sistemas manuais, ou seja, naqueles onde o endereço deve ser obtido verbalmente e com precisão para que a ambulância possa chegar até a vítima. Na maioria das vezes, com maior frequência em grandes cidades, há nomes iguais de ruas, muitos não constam nos guias, nomes informais ou áreas de favela e condomínios, em que é preciso riqueza de detalhes para que a ambulância possa chegar ao ponto correto. Em muitas situações as pessoas não sabem soletrar o nome de ruas batizadas com nomes de pessoas de difícil entendimento, o que pode determinar o envio de ambulância para local errado. Em algumas situações o chamado é feito por uma criança ou por pessoa muito nervosa com a situação, dificultando a comunicação do evento. McCarthy *et al.* (1997) apresentam um estudo conduzido em duas unidades de atendimento móvel de emergência (uma para atendimento em áreas rurais e outra em áreas urbanas) buscando explicitar as principais variáveis que interferem no processo de identificação precisa dos locais de incidente.

4. Da conclusão da anotação dos dados à sua transferência para as mesas de despacho

Coletados os dados, estes devem ser anotados em uma ficha que será passada para o profissional encarregado de acionar a ambulância. Em sistemas menores, pode ser a mesma pessoa que atende e despacha, mas não é usual e nem adequado, pois esta pessoa, o mais rápido possível, deverá estar desimpedida para receber nova solicitação. O ato de levantar, deslocar alguns metros, trocar informações com os colegas, entregar a ficha e retornar para seu terminal de

telefone, são atividades que consomem tempo e podem atrasar o atendimento de uma nova chamada. Na central de regulação do Samu de Belo Horizonte, este processo é todo feito e controlado com o uso de sistemas de informação. As informações iniciais são todas digitadas pelo atendente em uma tela específica para cada atendimento e, caso seja necessária a regulação de um médico, este recebe a chamada em sua tela (médicos e atendentes ficam em salas separadas). Da mesma maneira, sendo necessário o envio de uma ambulância, o despachante recebe a solicitação na sua tela e procede com o envio da unidade disponível mais próxima.

5. Do recebimento pela mesa de despacho à identificação da ambulância disponível mais próxima

Passados os dados para uma mesa de despacho, deverá ser escolhida a ambulância disponível mais próxima da ocorrência. Nos sistemas menores, com reduzido número de bases de ambulâncias, este processo é mais simples e quase imediato. Nas grandes cidades, que geralmente possuem diversas bases de ambulâncias, esta escolha pode levar tempo precioso. Podem existir várias mesas de despacho, uma para cada região da cidade, o que facilita e melhora a decisão e o acompanhamento das ocorrências. Alguns sistemas possuem mais de um tipo de ambulância (unidade de serviço avançada – USA e unidade de serviço básica – USB) , como é o caso do sistema de Belo Horizonte. Os detalhes sobre as condições da vítima também devem servir de parâmetro para que possa definir qual tipo de ambulância disponível designar. Outro ponto crítico nos sistemas manuais é a proporção entre os despachantes e as ambulâncias que devem acompanhar. Quanto mais ambulâncias à disposição do profissional do despacho, mais difícil será o controle. Várias emergências podem estar ocorrendo ao mesmo tempo, existindo a possibilidade da formação de filas no processo de despacho.

6. Da identificação ao contato com a ambulância disponível mais próxima

Identificada a ambulância mais próxima, esta deverá ser acionada. Aqui o que importa é a eficiência do sistema de comunicação. Podendo ser acionado por rádio ou telefone, a equipe deve estar em local onde o contato seja imediato. A posição de uma ambulância em local onde o rádio funciona de maneira irregular, a ausência de rádios portáteis que possam ficar com os socorristas, podem, em

algumas ocasiões, inviabilizar um rápido atendimento, piorando o tempo de resposta.

7. Do início do contato à conclusão da passagem dos dados

Uma vez contatada a equipe, alguns segundos serão gastos para passar os dados da ocorrência que deverão ser anotados em ficha própria. Atualmente a equipe de resgate recebe os dados de localização (região do evento) para dar início ao deslocamento. Em movimento a equipe recebe os dados complementares da ocorrência possibilitando redução no tempo de resposta do sistema.

8. Da passagem dos dados para a equipe da ambulância ao início do deslocamento

Com os dados anotados, a equipe deve decidir qual percurso seguirá. Na maioria das vezes, quando a equipe atua sempre na mesma área ou em um município pequeno, essa tarefa é fácil. Entretanto, por vezes, necessita consultar um guia para tomar a decisão. O rodízio constante de equipes é salutar por um lado, mas quanto ao tempo de resposta, o conhecimento da região, das rotas possíveis e intensidade do tráfego são essenciais para melhoria da eficiência do tempo de deslocamento. Alguns serviços usam guias padronizados em todo o sistema, de forma a permitir que o despachante possa informar à equipe qual a página do guia na qual se encontra o endereço. A decisão relativa à melhor rota também pode ser feita com o auxílio de aparelhos GPS, o que eliminaria o problema de desconhecimento da região.

9. Do início do deslocamento e saída da base à chegada ao local da emergência

Este é o verdadeiro tempo de deslocamento. Programas de orientação voltados para a população sobre como proceder ao ouvir ou avistar uma ambulância, como dar passagem e facilitar o melhor deslocamento do veículo podem contribuir para a redução no tempo de deslocamento. Da mesma maneira, os motoristas das ambulâncias devem ser orientados sobre como fazer ultrapassagens, como deslocar-se em uma via carregada, como agir diante de semáforos fechados, como e quando acionar as sirenes, etc. Chegar ao local da emergência também pode ocorrer em uma mão oposta, não permitindo a equipe cruzar a via a pé, muitas vezes com tráfego intenso. Assim, também o lado de aproximação deve ser previamente estabelecido.

10. Da chegada no local ao primeiro acesso à vítima

A chegada ao local nem sempre significa acessar a vítima. Ao se chegar a uma favela, por exemplo, um tempo considerável é gasto nas atividades de estacionar

a ambulância e deslocar-se carregando equipamento até encontrar a vítima, sendo que esta pode estar inacessível durante algum tempo até o contato com o resgate. Campbell *et al.* (1993) apresentam um estudo para determinação do tempo entre a chegada da ambulância no local do acidente e o instante de contato da equipe médica com o paciente, identificando também os principais fatores que interferem na movimentação da equipe durante este intervalo.

Em todas as solicitações, alguém deve aguardar em frente à residência, sinalizando e permitindo a aproximação da ambulância e o seu estacionamento seguro e rápido. Para as vítimas de acidentes presas nas ferragens ou sob estruturas em colapso, deve-se ter uma equipe de resgate eficiente e que trabalhe integrada com a equipe de atendimento médico, quando não for a mesma, de modo a permitir o acesso à vítima, mesmo que parcial, possibilitando o início do socorro.

11. Do início ao final do atendimento no local (ambulância pronta para partir)

O atendimento pode ser totalmente realizado no local ou parcialmente realizado no local e depois dentro da ambulância designada. Este tempo depende da complexidade da situação, envolvendo fatores como o tipo de agravo à saúde que a vítima estiver sofrendo, qualificação da equipe que faz o atendimento, número de socorristas, condições ambientais e protocolos do sistema. Equipes de suporte avançado tendem a gastar mais tempo, pois executam mais procedimentos que as equipes de suporte básico.

Outro fator que interfere no tempo de atendimento é o número de profissionais na equipe. Quando há um qualificado para atender e um para auxiliar, o tempo tende a ser maior que nos sistemas onde a qualificação dos dois socorristas é a mesma e um não necessita aguardar orientação do outro para realizar as ações.

Fundamental também é o número de vítimas. Nas emergências clínicas a tendência é que haja apenas uma vítima, mas nas traumáticas e em especial em acidentes com veículos, esse número pode ser maior. A mesma equipe pode socorrer duas ou mais vítimas, antes que chegue outra equipe para auxiliar no socorro e o tempo total de permanência no local e manuseio das vítimas será maior. Os serviços devem preocupar-se em avaliar esse tempo como parte da rotina do trabalho. Entretanto, tempo maior ou menor no manuseio da vítima deve ser analisado com cuidado ao ser utilizado como fator de eficiência. Os

profissionais devem levar o tempo que for tecnicamente necessário para realizar um atendimento e este deve privilegiar as condições da vítima.

12. Do início do transporte até a chegada ao hospital de destino

Realizados os procedimentos no local e definido o hospital de destino, a equipe estará pronta para o transporte. Este tempo dependerá da distância a ser percorrida e da fluidez do tráfego para a ambulância. Se houver necessidade de procedimentos durante o transporte, a velocidade de deslocamento será reduzida. Um acesso venoso que se perde ou a necessidade de uma intubação poderá requerer a parada completa da ambulância.

Nas ambulâncias bem dimensionadas, os profissionais ficam em posição adequada para as manobras, distribuição racional dos materiais e equipamentos e, acima de tudo, muito treinamento sobre os procedimentos durante a movimentação. Estas medidas não alteram o tempo de resposta, mas elevam a eficiência do socorro prestado.

13. Da chegada ao hospital até a passagem da vítima para a equipe médica

Em um sistema organizado as vítimas são removidas para hospitais de referência, conforme programa previamente estabelecido. Quando a central informa por telefone que uma vítima está sendo transferida, a recepção tende a ser mais rápida. Esta passagem implica em explicações sobre a ocorrência, situação em que a vítima foi encontrada, procedimentos realizados e também o fornecimento de uma via do relatório sobre o atendimento. Esta via, na maioria das vezes, não está pronta no momento da chegada ao hospital. Mesmo assim, a vítima é entregue com explicações verbais e em alguns minutos a ficha poderá ser passada.

14. Conclusão dos relatórios ainda no hospital

O paciente neste caso já foi entregue à equipe no hospital. Pode haver necessidade de complementar e concluir o relatório para entregar a via do hospital. Alguns hospitais mantêm uma sala para a equipe da ambulância onde poderão terminar o relatório de maneira mais eficiente.

15. Liberação da equipe

A liberação deveria ser automática, ou seja, uma vez entregue a vítima com explicações e o relatório devidamente preenchido, a equipe da ambulância estaria dispensada. Entretanto, no Brasil alguns hospitais não se encontram adequadamente engajados nos sistemas de emergência e só liberam a equipe

depois da avaliação do paciente, o que pode demorar um tempo considerável dependendo da burocracia e procedimentos operacionais internos do hospital.

Em um momento de urgência, reter uma ambulância com sua equipe no aguardo da avaliação do paciente é um fator agravante dentro de um sistema carente.

16. Reposição dos materiais usados ou espera para receber o que está com a vítima

Uma prancha, um KED (colete de imobilização) e outros equipamentos não podem faltar na ambulância. Serviços organizados mantêm nos hospitais de referência equipamentos e materiais de reposição. A equipe tem as alternativas de aguardar a liberação do equipamento que está com a vítima, pegar o de reserva caso exista ou retornar à base para pegar outros equipamentos. A não existência de equipamento de reserva no hospital obriga por vezes longa espera, aumentando o tempo de comprometimento da ambulância.

17. Preparo da ambulância (higienização, reordenação dos materiais e equipamentos) com a ambulância ainda no hospital

Uma ambulância só está pronta para atender uma nova ocorrência se todo o seu material estiver adequadamente acondicionado e higienizado. Após o atendimento, deve-se organizar e higienizar todo material utilizado durante os procedimentos de resgate. A existência de material de reposição no hospital de referência para onde o paciente foi levado reduz esse tempo.

18. Da ambulância pronta até a informação à central de que está disponível para outra ocorrência

Depois de totalmente higienizada e com todos os itens repostos e no lugar, a central deverá ser informada de que a equipe está pronta para atender nova emergência. Dificuldades na comunicação podem tornar o processo trabalhoso e demorado.

19. Tempo de retorno à base

Se, ao sair do hospital onde foi entregue a vítima, a ambulância já estiver higienizada e preparada, estará disponível durante todo o percurso e este tempo não pode ser computado como tempo indisponível da ambulância. Se, no entanto, o preparo for necessário e realizado na base, o tempo de retorno fará parte do tempo total de indisponibilidade da ambulância e sua equipe.

As dezenove atividades apresentadas estão resumidas na figura 3.1 a seguir.

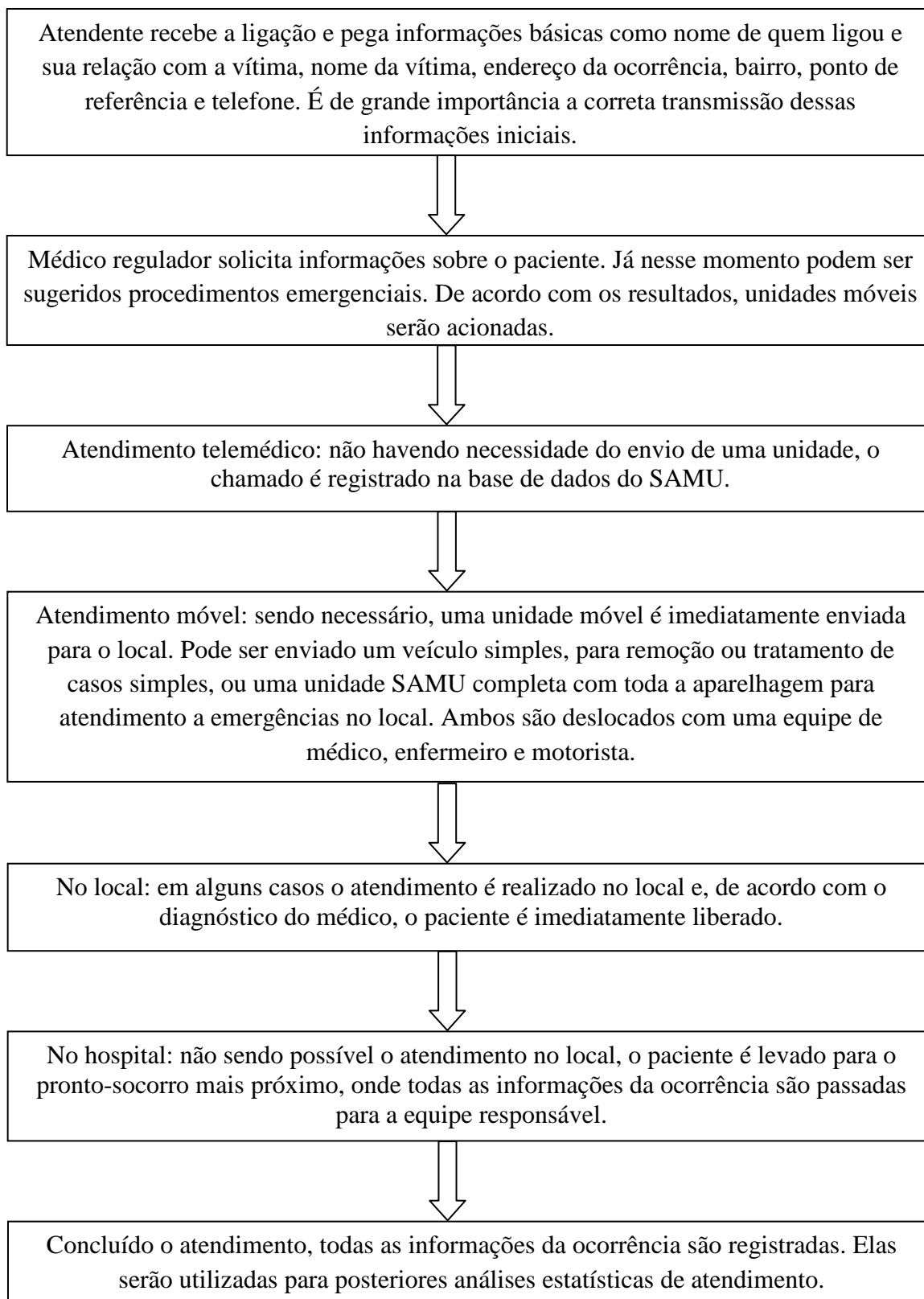


Figura 3.1: Fluxograma do processo de atendimento a uma chamada

Fonte: www.pbh.gov.br/saude

3.3 SAMU DE BELO HORIZONTE

De acordo com dados recentes retirados do site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cidade de Belo Horizonte (BH) possui uma área de 330.954 km² e uma população estimada de 2.412.937 habitantes (ano 2007). A cidade está dividida em nove regionais, conforme apresentado na figura 3.2.

O serviço de atendimento móvel de urgência de BH opera 24 horas por dia e conta com uma base central de regulação além de outras 19 bases espalhadas pela cidade, todas com um número fixo de ambulâncias (tabela 3.1).

Tabela 3.1: Bases do SAMU em Belo Horizonte

Bases	USB	USA	Região
1	-	1	Pampulha
2	1	1	Venda Nova
3	1	1	Oeste
4	-	1	Centro Sul
5	-	1	Centro Sul
6	1	-	Venda Nova
7	1	-	Venda Nova
8	1	-	Nordeste
9	1	-	Noroeste
10	1	-	Nordeste
11	2	-	Leste
12	1	-	Centro Sul
13	1	-	Leste
14	1	-	Barreiro
15	1	-	Norte
16	1	-	Pampulha
17	1	-	Oeste
18	1	-	Barreiro
19	1	-	Venda Nova
20	1	-	Leste

Ao todo são 17 ambulâncias básicas (USB) e 5 avançadas (USA), sendo que a ambulância na base 20 é exclusiva para atendimento de casos psiquiátricos mais graves (ambulância de saúde mental). As unidades básicas são acionadas para atender casos de gravidade leve e média ou então em auxílio à uma unidade avançada, por estar mais próxima do local do incidente, sendo composta por motorista socorrista e auxiliar de enfermagem. As unidades avançadas só são empenhadas em casos realmente graves, por serem em menor quantidade, compostas por motorista, enfermeiro e médico. A

distribuição espacial das unidades pode ser observada na figura 3.2, de acordo com legenda da tabela 3.1.

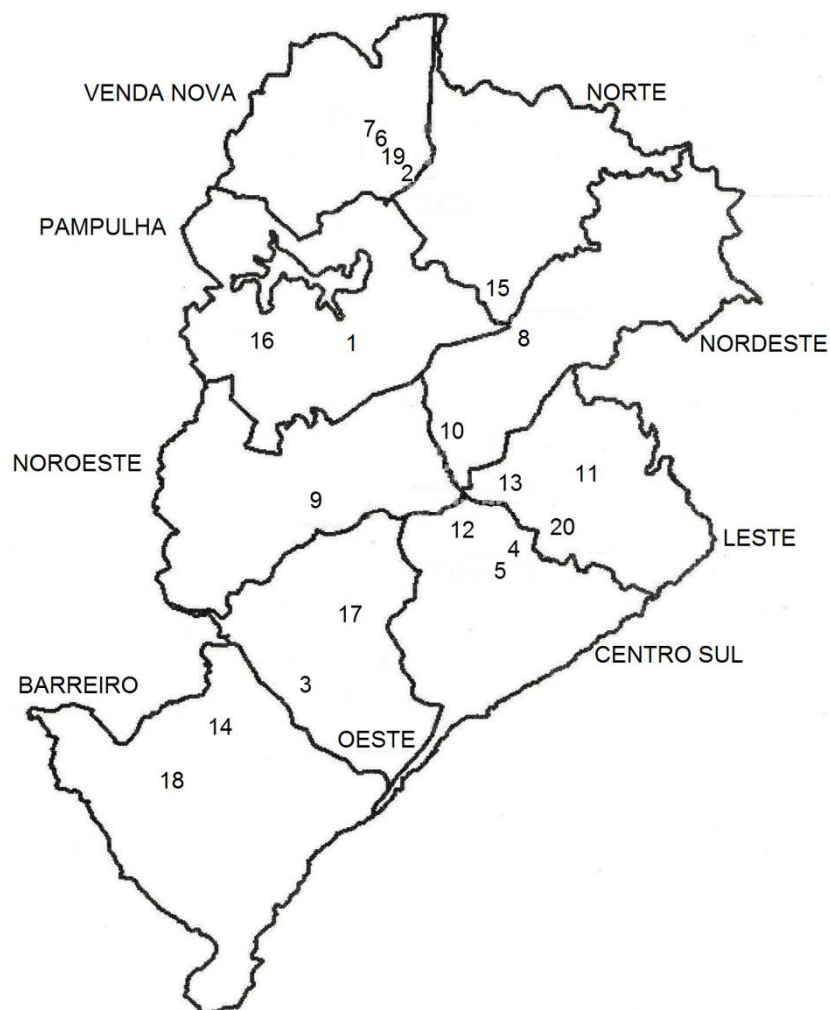


Figura 3.2: Distribuição espacial das unidades de resgate

A central de regulação (base 5) é onde acontece toda a triagem e atendimento das chamadas. Atualmente, conta com 6 teledigifonistas (atendentes que fazem o primeiro contato com o solicitante), 5 médicos reguladores (decidem sobre o envio ou não de ambulância, podendo passar orientações médicas pelo telefone caso não seja necessário o envio) e 3 despachantes (responsáveis pelo despacho da ambulância uma vez solicitado pelo médico regulador bem como o controle da localização e situação exatas de cada unidade).

Com relação aos hospitais e centros de atendimento, o Samu trabalha em conjunto com 8 Unidades de Pronto Atendimento (UPA), 6 hospitais e 7 Centros de Referência em

Saúde Mental (CERSAM). A decisão da escolha do centro de atendimento é baseada no tipo de ocorrência (clínico – média ou alta, trauma, psiquiátrico ou gineco-obstétrico), sendo feita sempre pelo médico regulador da central, nunca pela equipe da ambulância que realiza o atendimento. A relação dos centros e tipos de ocorrência que recebem está apresentada na tabela 3.2 e sua distribuição espacial na figura 3.3.

Tabela 3.2: Centros de Atendimento de Belo Horizonte

Centro Atendimento	Tipo	Natureza da Ocorrência	Região
1	UPA	Clínica Média	Barreiro
2	UPA	Clínica Média	Oeste
3	UPA	Clínica Média	Centro Sul
4	UPA	Clínica Média	Leste
5	UPA	Clínica Média	Norte
6	UPA	Clínica Média	Venda Nova
7	UPA	Clínica Média	Pampulha
8	UPA	Clínica Média	Nordeste
9	Hospital	Clínica Alta	Centro Sul
10	Hospital	Clínica Alta e Trauma	Centro Sul
11	Hospital	Clínica Alta, Trauma e Gineco-obstétrico	Nordeste
12	Hospital	Clínica Alta, Trauma	Venda Nova
13	Hospital	Clínica Alta	Barreiro
14	Hospital	Clínica Alta	Noroeste
15	CERSAM	Psiquiátrico	Oeste
16	CERSAM	Psiquiátrico	Barreiro
17	CERSAM	Psiquiátrico	Noroeste
18	CERSAM	Psiquiátrico	Leste
19	CERSAM	Psiquiátrico	Nordeste
20	CERSAM	Psiquiátrico	Venda Nova
21	CERSAM	Psiquiátrico	Pampulha

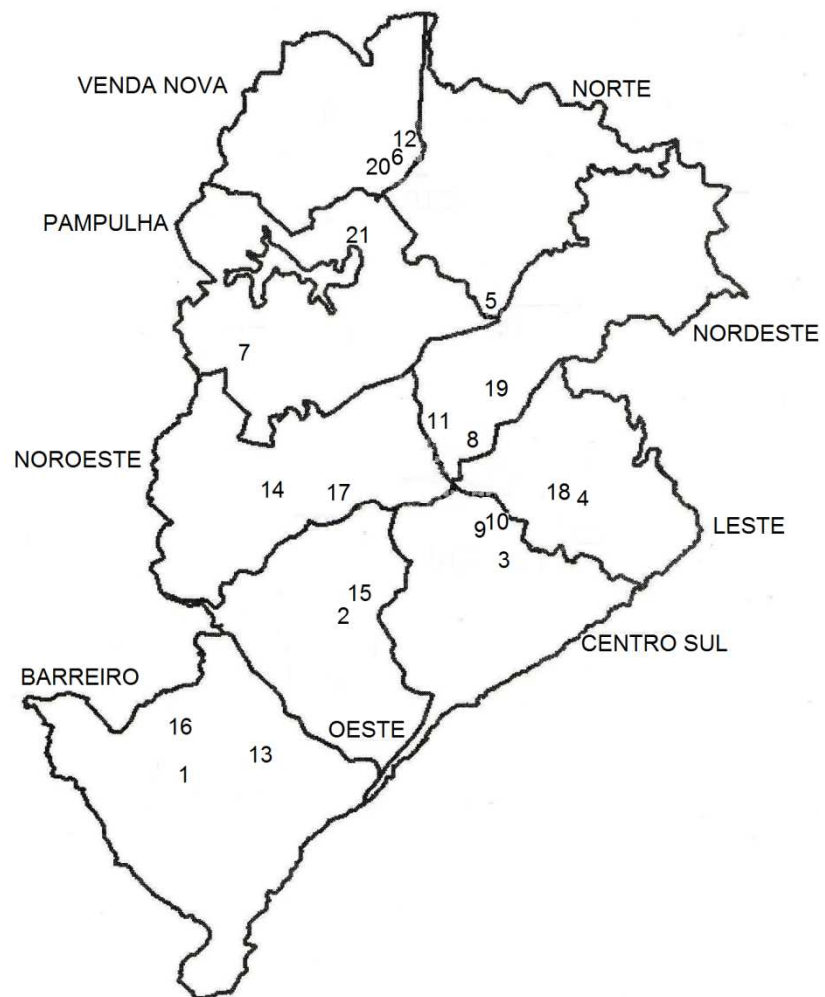


Figura 3.3: Distribuição espacial dos centros de atendimento

4 MOTIVAÇÃO NO USO DA SIMULAÇÃO

Um sistema médico de emergência pode ser concebido como uma fila única operando sob um sistema de fila com múltiplos servidores subordinados a um controle central. A distribuição dos tempos de serviço (figura 4.1) é uma função da quantidade de ambulâncias que estão ocupadas em um determinado instante t caracterizado pela chegada de uma chamada. Além disso, a distribuição do tempo de atendimento (figura 4.1) não é a mesma para cada servidor, exceto para o caso em que todas as ambulâncias estão localizadas na mesma estação. Estas características do processo de atendimento médico de urgência dificultam imensamente a modelagem analítica deste sistema de filas, uma vez que a localização dos servidores e a distribuição espacial dos incidentes em cada localidade influenciam o tempo de deslocamento, que é um componente significativo do tempo de serviço (FITZSIMMONS, 1971).

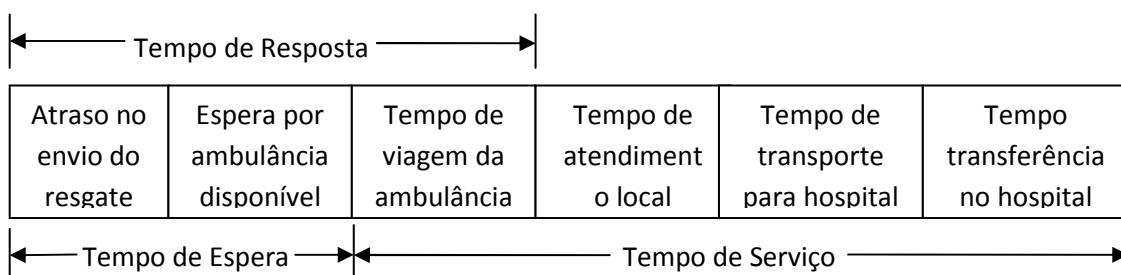


Figura 4.1: Seqüência de eventos no atendimento de emergência

Fonte: Fitzsimmons (1971)

A modelagem de sistemas reais de atendimento a emergências possui uma complexidade associada bastante alta, uma vez que tais sistemas são compostos por vários veículos de tipos diferentes, as solicitações por serviço ocorrem distribuídas no tempo e no espaço, existe cooperação entre veículos de áreas distintas, podem ocorrer múltiplos despachos para atender a um mesmo chamado, o tempo médio de viagem varia de acordo com a região, o dia e o período do dia e ainda existe a possibilidade de formação de filas de espera. A simulação aparece como uma ferramenta adequada para lidar com estas questões, considerando aspectos estocásticos relativos às atividades bem como incertezas associadas ao processo de resgate.

Dentro deste contexto, algumas características associadas à simulação fazem dessa tecnologia uma ferramenta adequada na análise e solução de problemas da área de saúde:

- i. Modelos de simulação enfatizam a representação direta da estrutura e lógica de um sistema, ao invés de abstrair o sistema na forma de um modelo estritamente matemático (STANDRIDGE, 1999);
- ii. Diferentes alternativas podem ser testadas sem a preocupação que conseqüências negativas possam atrapalhar ou danificar as operações diárias (STANDRIDGE, 1999);
- iii. Utilizando a simulação, pode-se definir e avaliar qualquer medida de desempenho que seja de interesse, incluindo aquelas que são particulares de um determinado sistema (STANDRIDGE, 1999);
- iv. Um estudo de simulação bem conduzido pode ser útil no auxílio à organização do processo de tomada de decisão da empresa, documentação dos pressupostos subjacentes às decisões e identificação de potenciais áreas problemas (LOWERY, 1996);
- v. Sistemas na área de saúde são definidos por atividades e procedimentos caracterizados muitas vezes por um alto grau de incerteza e variabilidade, sendo adequado o uso de uma abordagem estocástica para tratamento e análise dos eventos de interesse, característica da simulação (BRAILSFORD, 2007);
- vi. A abordagem de modelagem por simulação é capaz de lidar de maneira eficaz com a complexidade inerente aos processos que são característicos das organizações de saúde (BRAILSFORD, 2007);
- vii. A simulação a eventos discretos permite ao programador associar às entidades todas as características humanas necessárias de idade, sexo, diagnóstico, grupo sanguíneo, cor do cabelo, etc. Desta maneira, distribuições de tempos de serviço podem ser dependentes de características individuais das entidades, e qualquer distribuição empírica ou paramétrica pode ser utilizada para modelar a duração de atividades (BRAILSFORD, 2007).

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Simulação, de acordo com Shannon (1975 apud Ingalls, 2008) é o processo de concepção de um modelo representativo de um sistema real e a condução de experimentos com o objetivo de entender o comportamento deste sistema ou avaliar diferentes estratégias (dentro dos limites impostos por critérios) para sua operação.

Se as relações que fazem parte deste modelo são relativamente simples, pode ser possível o uso de modelos matemáticos (tais como álgebra, cálculo ou teoria da probabilidade) para obtenção de informações exatas sobre questões de interesse; denominada de solução analítica. Entretanto, a maior parte dos sistemas reais são caracterizados por uma alta complexidade, não permitindo modelos realísticos serem avaliados analiticamente, e tais modelos devem ser estudados utilizando-se da simulação. No processo de simulação, utiliza-se de um computador para avaliar um modelo numericamente e coletar informações de maneira a estimar as características reais do modelo (LAW, 2007).

De acordo com Law (2007), a simulação a eventos discretos lida com a modelagem de sistemas que evoluem no tempo através de uma representação em que as variáveis de estado mudam instantaneamente em pontos separados no tempo. Para este contexto, um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos que interagem entre si no desempenho de uma função visando alcançar algum objetivo.

Podemos classificar os diferentes modelos representativos de sistemas reais da seguinte maneira:

- Estáticos ou dinâmicos: modelos estáticos são aqueles que visam representar o estado de um sistema em um instante ou que em suas formulações não se leva em conta a variável tempo, enquanto que os modelos dinâmicos são formulados para representarem as alterações de estado do sistema ao longo da contagem do tempo de simulação;
- Determinísticos ou estocásticos: são modelos determinísticos aqueles que em suas formulações não fazem uso de variáveis aleatórias, enquanto os estocásticos podem empregar uma ou mais;

• Discretos ou contínuos: são modelos discretos aqueles em que o avanço da contagem de tempo na simulação se dá na forma de incrementos cujos valores podem ser definidos em função da ocorrência dos eventos ou pela determinação de um valor fixo, nesses casos só é possível determinar os valores das variáveis de estado do sistema nos instantes de atualização da contagem de tempo; enquanto para os modelos contínuos o avanço da contagem de tempo na simulação dá-se de forma contínua, o que possibilita determinar os valores das variáveis de estado a qualquer instante.

Em qualquer modelo de simulação existem alguns termos que são utilizados para caracterização do sistema e representação de seu funcionamento ao longo do tempo de execução. A seguir, são apresentadas algumas dessas terminologias, exemplificadas na tabela 5.1.

- Entidades: qualquer objeto de interesse no sistema;
- Atributos: características específicas de uma entidade;
- Atividade: algo que, para ser realizado, consome uma certa quantidade de tempo;
- Estado do sistema: conjunto de variáveis necessárias para descrever o sistema em um dado instante;
- Evento: qualquer ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema.

Tabela 5.1 – Elementos da simulação (exemplos)

Sistema	Exemplo Entidade	Exemplo Atributo	Exemplo Atividade	Exemplo Evento	Exemplo Variáveis
Fábrica	Máquina	Taxa de quebra	Usinagem	Ocorrência de uma quebra	Nº de máquinas esperando manutenção
SAMU	Chamada	Região de origem da chamada	Atendimento médico local	Chegada de uma nova chamada	Nº de chamadas recebidas de uma determinada região

A figura 5.1 a seguir esquematiza a relação dos diversos elementos de um modelo de simulação apresentados. De maneira resumida, entidades possuem atributos que as caracterizam, podendo interagir através de atividades. A ocorrência de um evento, como por exemplo a chegada de uma nova chamada à central de regulação, provoca uma mudança de estado no sistema, caracterizada por alterações nos valores de variáveis e/ou atributos, ocupação de recursos, posição das entidades no sistema, etc.

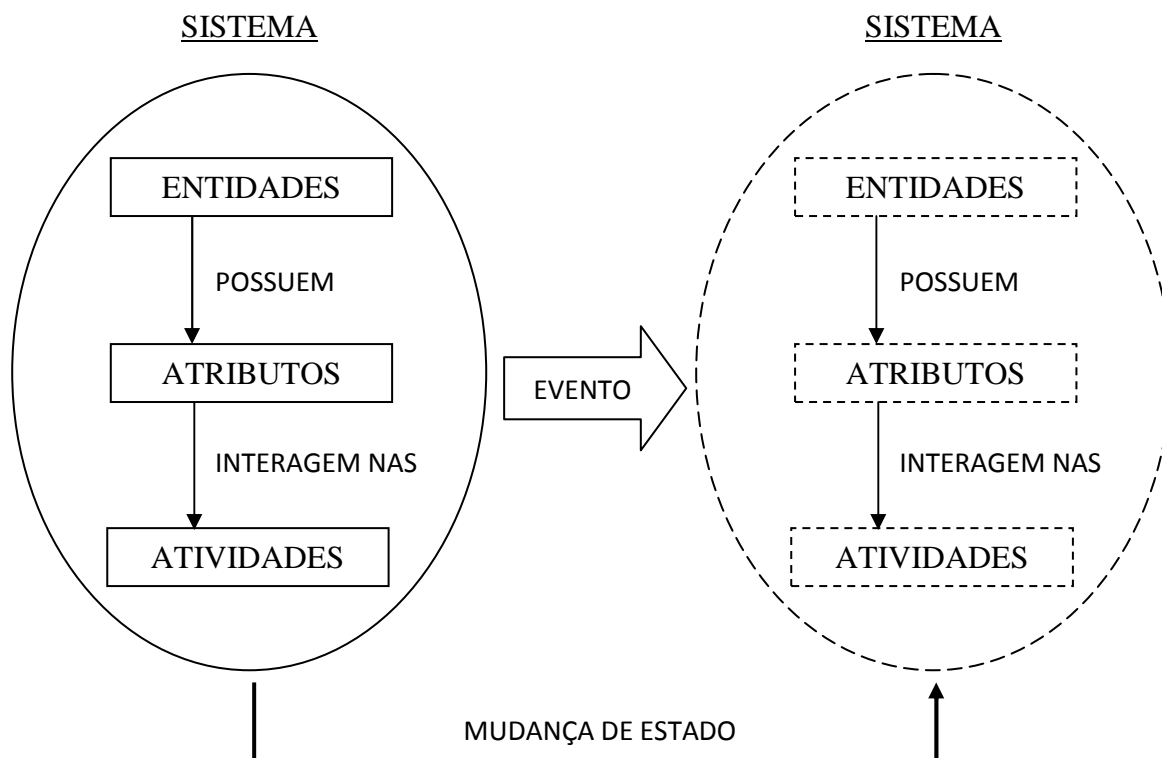


Figura 5.1: Interação entre os elementos de um modelo de simulação

5.2 SIMULAÇÃO APLICADA AO SERVIÇO MÉDICO DE EMERGÊNCIA (SME)

A utilização das técnicas de simulação na área de saúde como ferramenta para análise e melhoria de processos tem demonstrado adequação em diferentes aplicações envolvendo avaliação de projetos, dimensionamento de recursos, revisão de procedimentos e protocolos de atendimento a pacientes, avaliação da capacidade instalada e políticas operacionais. O artigo de Lange (1999) faz referência a diversos trabalhos de simulação voltados para análise de investimentos na área médico hospitalar, envolvendo aspectos de planejamento logístico, construção de novas unidades de atendimento e planejamento cirúrgico.

A revisão de simulação aplicada ao serviço médico de emergência está estruturada da seguinte maneira: dificuldades e barreiras no uso da simulação em projetos na área de saúde bem como medidas preventivas para contornar tais aspectos, contextualização histórica e apresentação de trabalhos envolvendo o uso desta ferramenta nas diversas áreas relacionadas ao atendimento de pacientes e fluxo de informações e por fim uma

referência a trabalhos envolvendo explicitamente o processo de atendimento móvel de urgência.

De acordo com Brailsford (2007), modelos de simulação na área de saúde podem ser classificados em três grupos: modelos do corpo humano, representativos de processos biológicos em indivíduos saudáveis ou análise clínica da eficiência de alguma intervenção/tratamento; modelos operacionais ou táticos, cujo foco está na modelagem dos fluxos de pacientes pelo sistema e identificação dos gargalos; e modelos estratégicos, focados em responder questões a longo prazo relativas ao planejamento estratégico da organização (configuração do sistema de atendimento, projeções com relação à quantidade de funcionários, etc.).

As crescentes mudanças no fornecimento de serviços de saúde ao redor do mundo estão forçando os gestores e analistas deste tipo de sistema a adotarem novas ferramentas no planejamento e avaliação de processos. Além da pressão para entrega de serviços de melhor qualidade à partir de recursos restritos, o uso crescente de métricas para monitorar e gerenciar o fornecimento de cuidados médicos tem implicado na necessidade de um maior entendimento dos resultados decorrentes da melhora em um determinado serviço antes de sua real implantação (ELDABI e YOUNG, 2007).

A aplicação de métodos de simulação na área de saúde, conforme motivação apresentada, tem sido reconhecida por sua capacidade de enfrentar e representar de maneira clara e eficiente os desafios inerentes aos processos característicos das organizações de saúde, como hospitais, centros de atendimento, clínicas, etc.

Entretanto, diversos autores na literatura levantam questões relacionadas às barreiras e dificuldades no uso desta ferramenta dentro do contexto de sistemas médicos de atendimento, como por exemplo:

- i. Natureza altamente técnica da simulação, considerando a percepção de que o tempo, esforço e habilidades envolvidas no processo de desenvolvimento, validação e experimentação de um modelo de simulação não compensam os benefícios esperados (LOWERY, 1996);

- ii. Muitos profissionais da área médica e administradores duvidam da capacidade de modelos computacionais conseguirem capturar a complexidade e o caráter imprevisível das atividades concernentes à área de saúde (LOWERY, 1996);
- iii. Duas grandes preocupações surgem freqüentemente quando profissionais da saúde se deparam com os resultados de um modelo de simulação: a simulação não fornece a única e melhor solução para o problema em questão e os modelos não são capazes de prever o futuro (LOWERY, 1996);
- iv. Grande número de partes envolvidas com prioridades muitas vezes conflitantes, dificultando principalmente a etapa de implementação (HAKES *et al.*, 1994);
- v. Falta de familiaridade com o processo e terminologia das técnicas de simulação (HAKES *et al.*, 1994);
- vi. Falta de incentivos e a dependência contínua dos gestores dos hospitais em tomada de decisões determinísticas (HAKES *et al.*, 1994);
- vii. Em algumas situações, a única fonte para determinação dos valores de um parâmetro de entrada do modelo desenvolvido é a opinião de um especialista, não existindo histórico de informações que possam ser tratadas estatisticamente (STANDRIDGE, 1999);
- viii. Muitos estudos são conduzidos partindo de uma dada solução (em termos de ferramental) e buscando identificar um problema na área de saúde que se adéque a esta solução, ao invés de começar a partir de um problema real (KULJIS *et al.*, 2007);
- ix. Dificuldade na avaliação sistemática do impacto a longo prazo de políticas complexas na área de saúde, como por exemplo metas de tempos de espera, parcerias público-privadas, etc. (KULJIS *et al.*, 2007).

De maneira a lidar com estas limitações buscando minimizar as dificuldades e possíveis impactos nos resultados gerados pelo modelo desenvolvido, podemos destacar algumas medidas relacionadas à boa prática nas diversas etapas de condução de um projeto de simulação.

Segundo Gonçalves (2004) ao se elaborar um modelo de simulação para a melhoria dos processos hospitalares, alguns requisitos devem ser seguidos:

- a. Facilidade de Utilização: o sistema desenvolvido deve ser suficientemente acessível aos gerentes da área de saúde para facilitar o entendimento do modelo

- de simulação e permitir a entrada de novos parâmetros para controle e experimentação de novos cenários (o que acontece se...).
- b. **Transparência:** animação e elementos visuais devem estar disponíveis para permitir que observadores facilmente visualizem os elementos chave da simulação e que aumentem a confiança das capacidades do modelo elaborado e do sistema desenvolvido. De acordo com Bodtker *et al.* (1993), para aqueles que não estão familiarizados com simulação, mas sim com o processo que está sendo modelado, a animação pode fornecer uma melhor compreensão de suas relações fundamentais. Este aspecto é particularmente importante para o gerenciamento na área de saúde.
 - c. **Interação:** deve ser possível para os usuários finais do sistema visualizar e controlar toda a simulação e seus resultados. Idealmente algumas mudanças devem ser possíveis de forma interativa para agilizar o processo de observação.
 - d. **Flexibilidade e Versatilidade:** o sistema deve permitir uma grande variação dos parâmetros do modelo para suportar que sejam criados e analisados vários cenários de forma ágil e precisa. Idealmente o sistema deve oferecer uma vasta faixa de possibilidades que permita uma investigação de cenários de forma interativa.
 - e. **Validação:** o modelo deve ser completamente validado contra os dados reais do processo estudado para que os usuários do sistema tenham plena confiança nessa ferramenta e utilizem os resultados obtidos. Métodos e critérios claros para a validação devem ser empregados.

Outros aspectos importantes para a condução de um projeto de simulação na área da saúde levantados à partir da literatura são: os parâmetros de análise fornecidos pela simulação devem incluir taxas de operação ou medidas de desempenho rotineiramente utilizadas na organização (HAKES *et al.*, 1994); para se chegar à aceitação de qualquer solução, independente de sua origem, é imperativo que todos os membros do grupo a ser afetado de alguma maneira com o projeto estejam envolvidos no processo de tomada de decisão (HAKES *et al.*, 1994) e importante garantir que o modelo inclua todos os componentes relevantes da operação do sistema (STANDRIDGE, 1999).

Os primeiros esforços de aplicação dos conceitos de simulação na área de saúde remontam à década de 60, com o trabalho de Fetter e Thompson (1966), que

desenvolveram modelos para solucionar problemas relacionados ao agendamento de consultas de pacientes. Foram capazes de identificar variáveis importantes na avaliação da utilização do quadro médico, tais como taxa de chegada de pacientes, chegada antecipada ou tardia, adiamentos, intervalos de agendamento e paradas devido à troca de turnos dos médicos.

Desde então, a utilização destas técnicas no contexto de atendimento médico tem reforçado a importância e viabilidade da simulação como ferramenta para análise e melhoria dos processos relacionados à gestão hospitalar. Hoje diversos trabalhos de sucesso abordando diferentes aspectos deste tipo de sistema estão largamente difundidos na literatura, tanto na área de pesquisa operacional como na literatura médica. A seguir são apresentados exemplos de alguns destes estudos e outras referências para consulta.

Wears e Winton (1993) desenvolveram um modelo de simulação discreto-contínuo focado no atendimento de emergência para acidentes de trauma (conjunto de um ou mais distúrbios físicos e/ou psíquicos, ocasionados por um agente interno ou externo). O modelo foi implementado em SIMSCRIPT II.5 e utilizado para determinar o efeito provocado nas variáveis de saída decorrentes de mudanças nos critérios de triagem para determinação do centro médico a que um paciente deve ser transportado, critérios para decisão entre transporte aéreo (helicóptero) ou terrestre (ambulância) e políticas de desvio (circunstâncias nas quais um hospital deve desviar novas chegadas de pacientes para outro centro médico). Estes fatores foram mensurados a partir de duas perspectivas: ponto de vista do sistema (número de pacientes atendidos, proporção de utilização de cada centro de atendimento nos níveis considerados, etc.) e ponto de vista do paciente (tempo até início do atendimento, mudança na probabilidade de sobrevivência). A decisão entre o uso de um helicóptero ou ambulância para transporte do paciente foi feita com base no tempo estimado de transporte até o centro médico e gravidade do acidente, esta última determinada por um parâmetro denominado “*trauma score*” (para maiores referências, vide Champion *et al.*, 1989). Os parâmetros de entrada foram estimados com base nos dados obtidos do serviço de atendimento médico e corpo de bombeiros da cidade da Flórida, EUA, e o modelo foi validado comparando os dados de saída com dados relativos aos tipos de incidentes, padrões de transporte e índices de sobrevivência, dados estes publicados na literatura e em registros de trauma

mantidos pelo Centro Médico Universitário de Jacksonville (*University Medical Center of Jacksonville*). Com o estudo foi possível mostrar que a política de triagem para os casos de trauma tinha pouco efeito sob a ocupação geral do sistema, contradizendo o consenso comum de especialistas na área. O processo de reclassificação de pacientes com enfermidades menos graves como sendo graves, caso um centro de atendimento adequado esteja “razoavelmente” próximo, teve um impacto muito maior sob as variáveis de análise do sistema.

Um modelo de simulação específico para transporte aéreo de emergência pode ser encontrado no trabalho de Gunes e Szechtman (2005).

De Oliveira (1995) apresenta um modelo de simulação visual 3D desenvolvido em C++ e aplicado em problemas relacionados ao gerenciamento da admissão de pacientes em hospitais. O setor de admissão de um grande hospital de ensino na cidade do Rio de Janeiro foi utilizado para estudo e validação do modelo, motivado por problemas frequentes de congestionamento e longas filas no departamento de emergência. Um modelo do sistema foi projetado de maneira a identificar os principais pontos de congestionamento e analisar políticas alternativas de admissão. Resultados preliminares mostraram que o *lay-out* do departamento influenciava de maneira decisiva na administração do setor, sendo propostas novas configurações visando otimizar o processo de admissão.

Nos anos recentes diversos trabalhos na área de saúde foram desenvolvidos com objetivo de aplicar as técnicas de simulação para otimização do fluxo de pacientes dentro dos hospitais, visando identificar configurações de *lay-out* e seqüência de procedimentos que melhor se adaptem a um determinado tipo de serviço e buscando minimizar o tempo de espera dos pacientes.

No processo de atendimento de emergência, a seqüência de operações disponíveis após a chegada no hospital pode ser estruturada de modo simplificado da seguinte maneira: durante a chegada, pacientes em situações mais críticas são imediatamente alocados a um quarto. Todos os outros pacientes passam por um processo de registro onde fornecem algumas informações pessoais e relativas à causa da consulta. A enfermeira de plantão faz uma triagem preliminar dos casos, e o médico responsável se baseia nesta

triagem para fazer o atendimento das emergências consideradas menores. O departamento de emergência tem capacidade para realizar alguns procedimentos de diagnósticos, enquanto outros devem ser feitos em algum laboratório externo ao hospital. O processo de liberação é seguido pelo *checkout*, que inclui registro completo e verificação do seguro ou pagamento feito. Caso o cuidado médico necessário para o tratamento de pacientes em estado grave não esteja disponível, estes são alocados a alguma outra unidade médica capaz de atender satisfatoriamente o incidente.

Pérez *et al.* (2008) estudaram o processo de chegada de pacientes em um centro médico na cidade de Medellín, Colômbia, e utilizaram técnicas de simulação a eventos discretos e um modelo de programação linear para reduzir o tempo de espera em filas nos diversos setores do centro. O modelo de simulação desenvolvido indicou que a fila na qual os pacientes gastam maior quantidade de tempo é aquela referente ao centro de admissão. Um modelo de programação linear foi desenvolvido para identificar o melhor seqüenciamento dos atendentes deste setor nos diferentes horários de atendimento, de maneira a atingir um tempo de fila pré-especificado pela gerência do centro médico como sendo o ideal. A solução obtida foi implementada e verificada uma redução real no tempo de fila para o setor.

Trabalhos em áreas afins foram desenvolvidos e implementados ao longo dos anos em casos reais de atendimento médico emergencial e hospitalar. Medeiros, Swenson e DeFlitch (2008) apresentam uma abordagem utilizando simulação computacional para melhoramento do fluxo de pacientes dentro de hospitais, Ramis *et al.* (2008) desenvolveram um simulador orientado a objetos para simulação de tempos de espera de pacientes em centros médicos de imagens e Meng e Spedding (2008) utilizaram das técnicas de simulação para análise do processo de chegada de um hospital de emergência buscando reduzir o tempo de espera por atendimento.

Outros trabalhos podem ser encontrados nas áreas de dimensionamento de capacidade (De Oliveira e Junior, 2007; Coelli *et al.*, 2006 e Miller *et al.*, 2008), planejamento e *design* de hospitais (Gibson, 2007), modelagem de inventário para produtos perecíveis (Vila-Parish, Ivy e King, 2008), otimização do cronograma de trabalho de funcionários (Takakuwa e Wijewickrama, 2008), manutenção de equipamentos hospitalares (Lima Filho *et al.* 2008), dentre outros.

O trabalho de Fone *et al.* (2003) apresenta um estudo de revisão buscando avaliar a extensão e qualidade de modelos de simulação aplicados às mais diversas áreas da saúde, como por exemplo fluxo de pacientes, análise econômica, seqüenciamento das atividades de atendimento, dentre outros. Foram analisados trabalhos que apresentavam um modelo computacional de simulação de indivíduos em um sistema estocástico e que estavam diretamente relacionados à saúde. Um total de 182 artigos atenderam aos requisitos da pesquisa e foi possível concluir que apesar do aumento crescente de publicações nesta área, principalmente à partir da década de 90, existe ainda uma variação muito grande quanto à qualidade dos artigos apresentados, sendo que poucos trabalhos reportaram resultados da implementação do modelo na organização em estudo.

Um dos primeiros trabalhos envolvendo a aplicação de técnicas de simulação para modelagem e análise de sistemas de atendimento móvel de urgência foi desenvolvido na década de 70 por Fitzsimmons (1971). Um modelo de simulação foi implementado utilizando a linguagem SIMSCRIPT para uso geral por parte de gestores de sistemas de saúde, de maneira a auxiliar a avaliação de sistemas médicos de emergência existentes ou em fase de planejamento. O modelo foi desenvolvido em duas partes: um programa para geração dos incidentes com as informações descritivas necessárias como localidade de origem e tipo de lesão, e um simulador principal para simular o comportamento do sistema e gerar um relatório de seu desempenho após cada rodada de testes. A validação foi feita utilizando-se dados reais de *San Fernando Valley*, uma área da cidade de Los Angeles, EUA. Duas estratégias para localização de ambulâncias foram consideradas: um único hospital central onde todas as ambulâncias permanecem estacionadas esperando o acionamento para o atendimento médico e a segunda onde as ambulâncias ficam dispersas dentro da área de serviço considerada. Com os resultados foi possível determinar o número ideal de ambulâncias a serem utilizadas no caso do serviço de atendimento de urgência de *San Fernando Valley*, considerando padrões de qualidade pré-estabelecidos com relação ao tempo de atendimento.

Nos anos recentes, diversas outras aplicações no contexto de serviços móveis de urgência médica foram desenvolvidos tendo como base as técnicas de simulação. A

seguir seguem detalhados três destes trabalhos seguidos de algumas referências na literatura de projetos semelhantes.

Su e Shih (2003) desenvolveram um modelo de simulação a eventos discretos para avaliar o sistema de atendimento médico de emergência em operação na cidade de Taipei, Taiwan. O estudo focou em 23 hospitais habilitados para atendimento de emergência e 36 centros de atendimento. O sistema na época do estudo atuava em conjunto com o corpo de bombeiros, que fornecia o atendimento médico básico (no caso de ocorrências menos graves) através do envio de uma unidade básica de atendimento (BLS). Os hospitais integrantes da rede de atendimento de emergência da cidade provia a população com o atendimento médico avançado (ALS) sempre que as ocorrências assim o exigissem. Centrais de atendimento recebiam as chamadas e acionavam as unidades necessárias para o atendimento. Após transporte do paciente para o hospital, as unidades ALS permaneciam disponíveis para novo atendimento e as BLS retornavam para sua base de operação. Foram utilizados dados históricos do mês de dezembro de 2000 de maneira a estimar a distribuição de probabilidade associada a cada parâmetro de entrada do modelo: intervalo entre chegada de chamadas, tempo de preparação, resposta, processamento, transporte, atendimento e retorno. Foram analisadas alternativas buscando centralizar os centros de atendimento, variações no número de unidades ALS e BLS e mudanças nas áreas de atuação de cada centro. Com o modelo desenvolvido foi possível identificar e propor melhorias que resultaram na diminuição do atraso entre a chegada de uma chamada e o despacho de uma ambulância em 50% e na diminuição da probabilidade de pacientes terem de esperar pelo despacho do resgate para menos de 1%. O modelo considerou diferenças nos tempos de atendimento para o caso de unidades avançadas ou básicas e com relação à taxa de chegada para centros diferentes. No entanto, tempos de deslocamento das ambulâncias não foram analisados levando em conta dias diferentes na semana e horários diferentes no mesmo dia.

Garcia (2006) desenvolveu em sua dissertação de mestrado um estudo semelhante ao proposto. Considerou as chamadas provenientes da região metropolitana de Niterói para dimensionar o número de atendentes na central telefônica do serviço de atendimento móvel de urgência da cidade, visando alcançar um nível de satisfação (tempo de espera para ser atendido e quantidade de chamadas em espera) estabelecido pela gerência do

SAMU, considerando um aumento na demanda. Constatou-se que o número atual de atendentes não é adequado quando comparado com padrões internacionais de atendimento, e foi possível verificar que as ligações que não acionam o sistema (trotes e enganos, principalmente) são as que mais contribuem para a taxa de utilização elevada dos atendentes. Considerando o cenário atual, foram simuladas alternativas buscando identificar a quantidade ideal de funcionários na central telefônica, sendo constatado que a fila de espera se aproxima bastante de zero com um número de quinze atendentes. Além desta análise, foi desenvolvido um modelo de simulação integrando as regiões de Niterói e São Gonçalo, buscando identificar a configuração mais adequada com relação à quantidade de ambulâncias em operação. Neste estudo, foram considerados apenas os incidentes encaminhados para o Hospital Universitário Antônio Pedro. Os parâmetros de entrada, como tempos entre chamadas, preparo das ambulâncias, deslocamento até local do incidente, atendimento local, remoção até o hospital, recepção e tempo de retorno à base foram retirados do banco de dados do SAMU e tratados estatisticamente de maneira a se obter uma distribuição de probabilidade representativa de suas características. O modelo integrado retornou o número ideal de ambulâncias considerando tempo de espera e tamanho da fila. O estudo não considerou aspectos como melhor localização das unidades de resgate e nem valores de custos associados a cada alternativa.

Takeda (2000) utilizou do modelo hipercubo de filas para avaliar o melhor posicionamento de ambulâncias na cidade de Campinas, São Paulo. Segundo a autora, o modelo hipercubo é uma ferramenta que possibilita a avaliação não só do nível de serviço oferecido com base em uma determinada configuração, como também o impacto de decisões tomadas para o sistema. O modelo baseia-se na partição da região de atuação do sistema em um conjunto finito de áreas geradoras de demanda. Cada elemento deste conjunto é considerado como uma fonte pontual independente de solicitação de serviço ao longo do tempo. O atendimento é realizado por servidores distribuídos na região e que, quando disponíveis, podem estar fixos em alguns pontos ou em movimento. Entretanto, Goldberg *et al.* (1990) afirmam que as fraquezas deste modelo incluem o pressuposto do tempo de serviço ser exponencialmente distribuído e dificuldades computacionais para problemas com muitos veículos. O nome hipercubo deriva do espaço de estados que descreve o *status* dos servidores. Com o modelo desenvolvido foi possível identificar que a descentralização de ambulâncias era a

melhor alternativa para elevar o nível de serviço oferecido pelo sistema de atendimento médico analisado. Entretanto, algumas hipóteses de simplificação foram assumidas para facilitar o uso do modelo hipercubo que serão descartadas na realização do presente trabalho. Os tempos de preparação da equipe, viagem de ida, tempo em cena e viagem de volta foram estimados como valores médios de todos os dados coletados em campo, sem diferenciação da região de origem do incidente, dia da semana e horário, fatores estes que influenciam diretamente nos valores dos tempos citados.

As tabelas 5.2 e 5.3 apresentam um compilado de padrões e tempos de atendimento, respectivamente, retirados da literatura pesquisada. O objetivo não é o de comparação direta com a realidade do Samu de Belo Horizonte, uma vez que tal análise necessitaria de uma série de outras informações (área da região, população atendida, tipos de ambulância, quantidade de ambulâncias, centros de atendimento, etc.) que não estão todas disponíveis para os trabalhos referenciados. Procurou-se apenas apresentar um compilado dos trabalhos pesquisados na literatura para referências futuras e exemplificar os parâmetros de resposta mais comuns para análise de sistemas de atendimento móveis de urgência.

Tabela 5.2: Padrões de tempos de resposta retirados da literatura

Fonte	Área da Região	Padrão	Observado
Goldberg <i>et al.</i> (1990)	Tucson, Arizona (população: 365.000)	95% abaixo de 8'	92% abaixo de 8' -
Repede e Bernardo (1994)	Louisville, Kentucky (população: 713.877)	95% abaixo de 10'	84% abaixo de 10' -
Henderson e Mason (1999)	Auckland, Nova Zelândia (população: 1.29 milhões)	80% abaixo de 10' 95% abaixo de 20'	-
Holloway <i>et al.</i> (1999)	Warwickshire, Inglaterra (população: 500.000)	50% abaixo de 8' 95% abaixo de 14'	75% abaixo de 8' -
McGrath (2002)	Londres, Inglaterra (população: 3 milhões)	50% abaixo de 8' 95% abaixo de 14'	36% abaixo de 8' 91% abaixo de 14'
Pons e Markovchick (2002)	Denver, USA (população: 600.000)	90% abaixo de 8'	70% abaixo de 8' -
Ingolfsson <i>et al.</i> (2003)	Edmonton, Canadá (população: 600.000)	90% abaixo de 9'	-
Woollard <i>et al.</i> (2003)	Inglaterra (população: 51.2 milhões)	75% abaixo de 8' 95% abaixo de 14'	64% abaixo de 8' -
Su e Shih (2003)	Taipei, Taiwan (população: 2.6 milhões)		87% abaixo de 8' -
Aringhieri <i>et al.</i> (2007)	Milano, Itália (população: 1.3 milhões)	100% abaixo de 8'	60% abaixo de 8' -
Budge <i>et al.</i> (2008)	Calgary, Canadá (população: 1.14 milhões)	90% abaixo de 9'	-

Adaptado de Singer e Donoso (2008)

Tabela 5.3: Tempos de atendimento de diferentes localidades (valores em minutos)

Trabalho	Localidade	População	Área (km²)	T. Resposta	T. em Cena	T. Total
Fitzsimmons e Srikar (1982)	Austin / Texas	757.688	767	11,81	15	-
Brandeau e Larson (1986)	Boston / Massachusetts	600.000	135	-	6,55	27,89
Middleton e Trent (1988)	West Virginia / EUA	1.812.035	63	13,57	-	-
James (1990)	Nova York / EUA	8.104.079	1.214	8,5	-	-
Lim e Seow (1993)	Cingapura	4.839.400	710	11,4	19,1	-
Repede e Bernardo (1994)	Louisville / Kentucky	713.877	1.032	5,46	-	-
Takeda (2000)	Campinas / SP	1.039.297	796	12,04	38	63
Al-Ghamdi (2002)	Riyadh / Arábia Saudita	5.900.000	1.554	10,23	15,2	61,19
Su e Shih (2003)	Taipei / Taiwan	2.600.000	272	5,21	14,74	37,75
Garcia (2006)	Niterói e São Gonçalo / RJ	1.460.744	379	17,25	29,26	63,3
CTMH* (2007)	Toronto / Canadá	2.481.494	630	11,97	-	-
HCEMS** (2007)	Huron County / Ontario	59.325	-	18,07	-	-
Wilde (2008)	Utah / USA	2.469.585	213	8,46	18,27	48,05
NSWDH*** (2008)	South Wales / Wales	2.100.000	-	10,1	-	-

T. Resposta = tempo na central de regulação + tempo de viagem

T. Total = tempo de viagem + tempo em cena + tempo de retorno

* CTMH: City of Toronto Ministry of Health

** Huron County Emergency Medical Services

*** New South Wales Department of Health

A seguir estão explicitados outros trabalhos de aplicações de técnicas de simulação para modelagem de sistemas de atendimento móveis de urgência, compilados na tabela 5.4: Koch e Weigl (2003) – comparação de políticas de coordenação central e descentralizada no serviço de atendimento de emergência da Cruz Vermelha na Áustria; Aringhieri *et al.* (2007) – modelos de programação linear inteira para localização de unidades de atendimento médico e desenvolvimento de um modelo de simulação para teste das soluções geradas, tendo como base a cidade de Milano, Itália; Henderson e Mason (1999) – simulação do serviço de ambulâncias na cidade de Auckland, Nova Zelândia, através de um modelo integrado de simulação da chegada de chamadas e roteirização das ambulâncias, buscando quantificar o impacto do crescimento e expansão da população nos tempos de atendimento do serviço médico e Goldberg *et al.* (1990) – estudo de localização de bases de operação e determinação de políticas de despacho de unidades do corpo de bombeiros na cidade de Tucson, Arizona.

Tabela 5.4: Trabalhos de simulação de serviços de atendimento móveis de urgência desde a década de 90

Autor	Modelo	Implementação	Localidade
Goldberg <i>et al.</i> (1990)	SED*	Pascal	Tucson / Arizona
Repede e Bernardo (1994)	SED*	SIMSCRIPT II.5	Louisville / Kentucky
Henderson e Mason (1999)	SED*	C++	Auckland / New Zealand
Takeda (2000)	hipercubo de filas	Pascal	Campinas / São Paulo
Shih e Su (2003)	SED*	eM-Plant	Taipei / Taiwan
Koch e Weigl (2003)	SED*	ARENA	Áustria
Garcia (2006)	SED*	ARENA	Niterói e São Gonçalo / RJ
Aringhieri <i>et al.</i> (2007)	agent-based simulation	AnyLogic	Milano / Itália

* Simulação a eventos discretos

6. ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Para análise das características das chamadas e processos de operação da central de regulação, utilizou-se o banco de dados do Samu com informações do período de outubro de 2006 até agosto de 2009, contendo todos os dados relativos à descrição da chamada (quem atendeu, horários, região de origem, tipo da chamada, procedimentos adotados, ambulância despachada, etc.). Ao todo foram registradas 1.734.416 chamadas neste período. Muitos dados não puderam ser aproveitados devido a erros de entrada que provocaram inconsistência dos mesmos.

6.1 CHEGADA DAS CHAMADAS

Com o objetivo de estimar a demanda pelo serviço do Samu, um levantamento das chamadas recebidas no período de outubro de 2006 a agosto de 2009 foi realizado, conforme apresentado na figura 6.1. Importante ressaltar que o banco analisado sofreu uma alteração na maneira e forma de registro das informações à partir do final do ano de 2008. Pode-se observar pela figura 6.1 um crescimento elevado na quantidade de chamadas de novembro de 2008 para dezembro de 2008. Logicamente que este crescimento (20.974 chamadas) não se deve exclusivamente a um maior número de chamadas feitas pela população, mas está levando em conta esta alteração no banco, resultando em um número de chamadas registradas mais elevado à partir deste período. Mesmo assim, a quantidade de chamadas desde o ano de 2006 foi plotada no mesmo gráfico para mostrar a tendência de crescimento na quantidade de chamadas recebidas, fortalecendo a motivação para o desenvolvimento do trabalho.

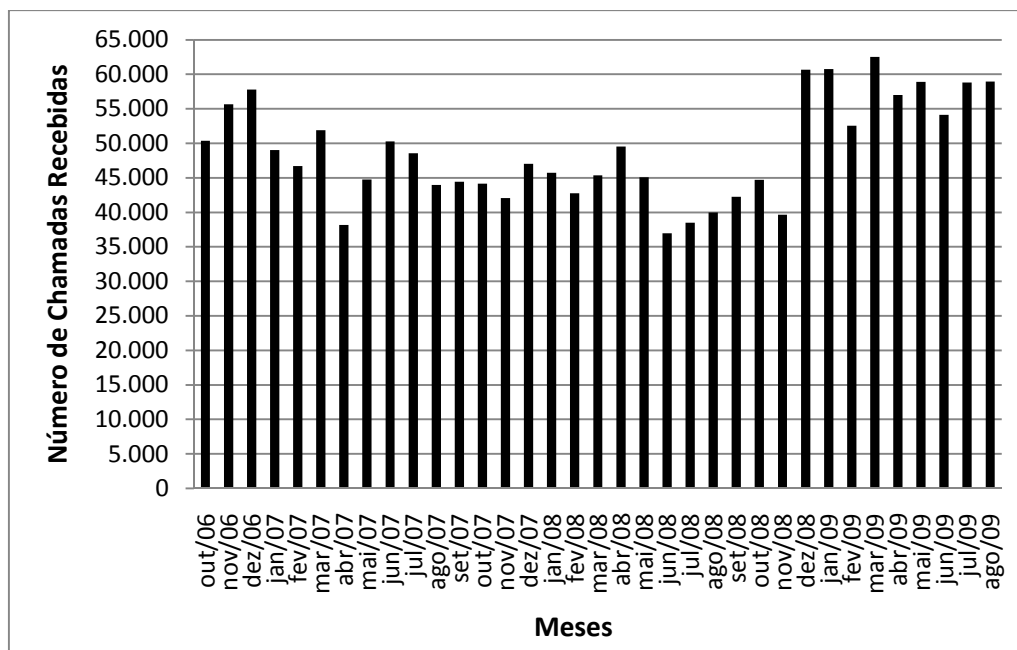


Figura 6.1: Evolução no número de chamadas (out/2006 – ago/2009)

A distribuição da quantidade de chamadas por dia e por horário foi feita utilizando os dados dos últimos meses de 2009 disponíveis no banco de dados (foram considerados os meses de março a junho de 2009). Os quatro meses utilizados forneceram dados suficientes para identificação de alguma possível tendência de crescimento. Os meses de janeiro, fevereiro e julho foram desconsiderados por serem período de férias, com uma diminuição no fluxo de pessoas e veículos na cidade. Como a tendência é no aumento do número de chamadas com o passar do tempo (mantidos todos os fatores internos e externos que influenciam o sistema inalterados), a estimativa utilizando dos meses considerados mais demandantes e somente dados de 2009 procurou levar em conta tal constatação, dado que o modelo foi desenvolvido e testado ao final de 2009. A análise foi feita para cada dia considerando períodos de uma hora cada, resultando em vinte e quatro faixas de horários no total (tabela 6.1). Para implementação do modelo computacional, utilizou-se as taxas apresentadas na tabela 6.1, também discretizadas por dia e por horário. A implementação computacional desenvolvida considera que tais taxas seguem a distribuição de Poisson, conseqüentemente os intervalos entre chegadas seguirão uma distribuição exponencial.

A distribuição da chegada de chamadas por dia e por horário (Anexo II) foi importante para identificação dos horários de pico de funcionamento do sistema. Para os dias úteis, observa-se uma clara tendência de crescimento no número de chamadas à partir das 6

horas da manhã, quando muitas pessoas estão saindo para trabalhar, seja utilizando algum veículo ou deslocando à pé. Existem dois picos para o processo de chegada, tanto para dias úteis quando para finais de semana, sendo o primeiro de 11:00 até 13:00 (horário de almoço) e o segundo de 18:00 até 20:00 (horário de fim de expediente e retorno para casa).

Tabela 6.1: Quantidade média de chamadas por dia e horário (março a junho de 2009)

Horário / Dias	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
00:00 - 00:59	41,44	31,56	30,71	37,88	38,47	50,41	61,00
01:00 - 01:59	32,56	23,22	24,00	25,76	23,24	37,06	52,67
02:00 - 02:59	21,78	17,50	17,76	18,18	22,59	32,76	40,17
03:00 - 03:59	20,00	15,28	15,18	15,82	16,47	27,29	36,44
04:00 - 04:59	18,00	13,56	10,12	13,35	12,41	22,47	32,22
05:00 - 05:59	17,00	17,44	13,71	13,76	16,82	21,35	22,33
06:00 - 06:59	36,67	38,56	38,41	40,18	41,41	30,12	27,78
07:00 - 07:59	72,22	77,28	69,12	66,59	64,59	58,65	54,83
08:00 - 08:59	91,78	83,22	80,82	76,82	78,71	71,53	64,72
09:00 - 09:59	113,78	109,61	96,76	94,00	90,41	85,59	77,44
10:00 - 10:59	116,39	108,83	101,94	100,24	98,06	106,24	98,44
11:00 - 11:59	127,61	120,83	116,82	106,18	113,00	105,71	100,83
12:00 - 12:59	128,56	131,78	128,88	127,12	117,53	119,59	118,11
13:00 - 13:59	122,11	116,61	121,82	114,59	117,00	116,53	107,28
14:00 - 14:59	109,50	106,11	108,82	116,29	109,12	110,53	108,61
15:00 - 15:59	106,67	102,28	106,65	112,41	100,82	107,82	108,11
16:00 - 16:59	112,33	99,72	108,06	111,53	101,65	105,65	110,22
17:00 - 17:59	117,83	111,22	112,18	119,53	108,12	109,06	113,83
18:00 - 18:59	130,39	119,11	116,35	121,00	116,76	120,82	124,44
19:00 - 19:59	126,33	117,22	123,88	123,41	124,18	125,00	114,22
20:00 - 20:59	107,89	101,00	108,18	109,82	110,94	106,12	98,06
21:00 - 21:59	91,28	86,17	89,12	91,71	96,06	104,00	88,17
22:00 - 22:59	70,72	72,00	77,00	78,00	86,71	90,53	77,17
23:00 - 23:59	51,33	50,67	54,00	59,71	70,29	80,18	59,78

A figura 6.2 apresenta um gráfico comparativo da taxa média de chegada nos dias úteis (foi considerada uma taxa média para os cinco dias úteis) e finais de semana (taxa média considerando sábado e domingo). Pode-se perceber que no período das 6:00 até 21:00 a taxa de chegada nos dias úteis é quase sempre maior quando comparado com os finais de semana, uma tendência que já era esperada pela grande movimentação de pessoas e veículos envolvidas com as atividades profissionais regulares. No horário de 21:00 até 6:00 da manhã, a tendência se inverte, sendo que para os horários no período da madrugada, a taxa de chegada para os finais de semana é mais do que o dobro

quando comparada com a mesma taxa nos dias úteis. Este fato é explicado pela maior movimentação nos finais de semana decorrente de festas e eventos nestes horários, bem como o consumo exagerado de bebida associada à direção.

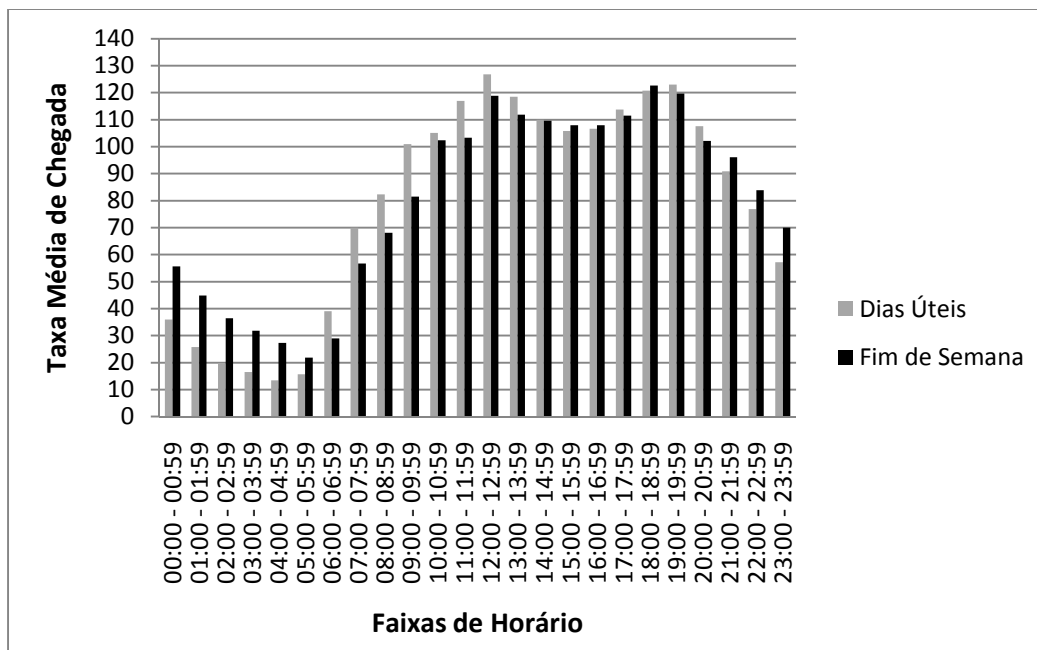


Figura 6.2: Comparativo do número de chamadas entre dias úteis e final de semana

Uma outra análise foi feita com relação à distribuição das chamadas nas diversas regionais da cidade de Belo Horizonte. Os registros das chamadas no banco de dados contêm um campo relativo à rua da ocorrência do incidente e bairro. Entretanto, como a maioria dos chamados para o Samu é feita por celular, estes campos têm de ser preenchidos manualmente pelos teledigifonistas, o que acarreta muitas vezes em campos em branco, nomes de ruas e bairros escritos errados, nomes diferentes para o mesmo bairro, dentre outros fatores. Para estimar a quantidade de chamadas por região, construiu-se uma nova tabela no banco de dados contendo todos os bairros de cada regional. Esta nova tabela foi relacionada com a coluna do banco de dados do Samu contendo a informação relativa ao bairro de origem da chamada. Desta maneira, foi possível determinar de qual regional a chamada é proveniente. Pelos problemas destacados acima, um grande número de registros não encontraram correspondência nas duas tabelas, ficando sem a respectiva regional. Do total de registros, 15.67% foram utilizados para determinar a distribuição por região. Assumiu-se que as dificuldades no preenchimento do bairro de origem pelos teledigifonistas estão igualmente distribuídas entre todas as regionais, de maneira que a associação feita resultou em valores

representativos da situação real. Para construção da figura 6.3, foram utilizados os valores médios considerando o período de outubro de 2006 até agosto de 2009, de maneira a utilizar o maior número de informações possíveis.

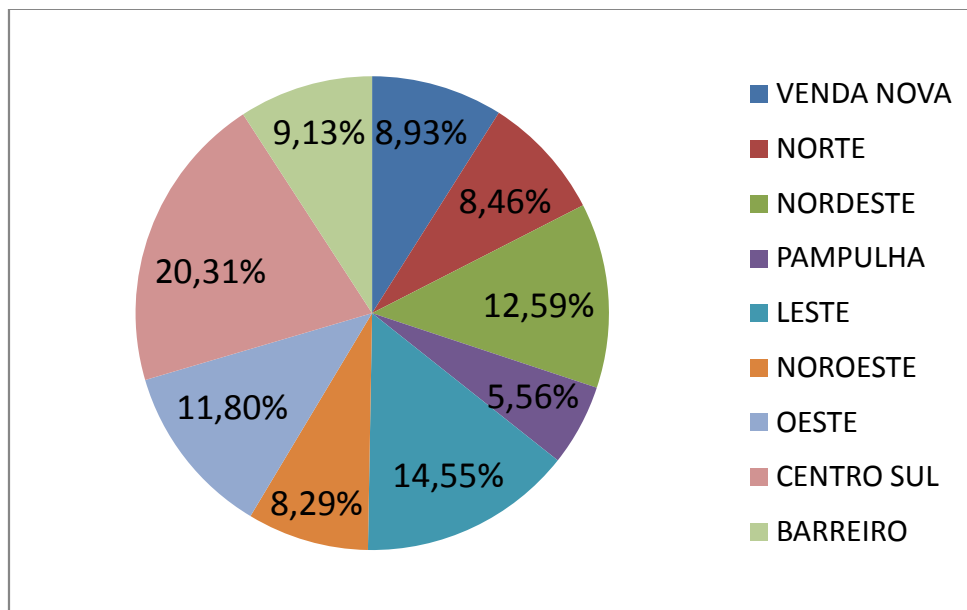


Figura 6.3: Distribuição das chamadas por região (out/2006 – ago/2009)

A região centro sul é a que apresenta a maior quantidade de chamadas, como previsto, uma vez que concentra um fluxo elevado de veículos (carros e ônibus) e pessoas devido à sua localização e serviços fornecidos na região.

A figura 6.4 apresenta uma evolução da participação de cada região no total de chamadas, de maneira a identificar alguma possível tendência de crescimento de uma região específica. No eixo horizontal estão dispostos os períodos de janeiro de 2009 até agosto de 2009 e no eixo vertical as frequências relativas referentes à participação de cada região. Não foi possível identificar, à partir de uma análise gráfica, qualquer tendência clara no sentido de aumentar ou diminuir a participação relativa de uma região no total de chamadas geradas.

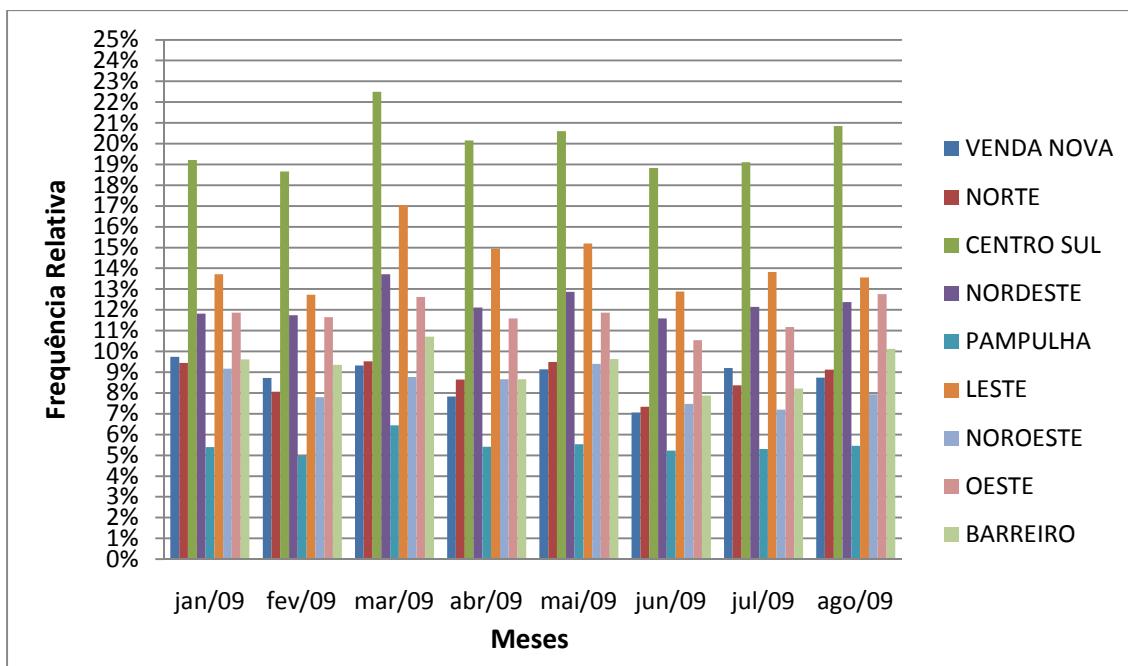


Figura 6.4: Evolução da participação de cada região no total de chamadas (jan/2009 – ago/2009)

6.2 CARACTERÍSTICAS DAS CHAMADAS

Uma outra análise considerada foi com relação à identificação das características de cada chamada: tipo da ocorrência, motivo da chamada, conduta médica e tipo de ambulância empenhada.

A figura 6.5 apresenta uma descrição das características de cada um destes aspectos. Os códigos apresentados serão utilizados nas tabelas apresentadas adiante.

Código	Descrição	Código	Descrição
MotCham 0	Solicitação de atendimento	Conduta 0	Orientação
MotCham 1	Informação	Conduta 1	Procurar recursos por meio próprio
MotCham 2	Ligação interrompida	Conduta 2	Liberação de ambulância
MotCham 3	Informações em saúde	Conduta 3	Outros (interrompido, desistência)
MotCham 4	Trote	Conduta 4	Repasse para outras instituições
MotCham 5	Abuso		
MotCham 6	Engano		
MotCham 7	Chamada interna		
MotCham 8	Transporte inter-hospitalar		
Código	Descrição	Código	Descrição
Ambul 1	USB	TipoOcorr 0	Trauma
Ambul 2	USA	TipoOcorr 1	Clínico
Ambul 3	USM - Saúde Mental	TipoOcorr 2	Psiquiátrico
		TipoOcorr 3	Gineco-obstétrico
		TipoOcorr 4	Transporte Intermunicipal
		TipoOcorr 5	Outros procedimentos

Figura 6.5: Legenda para as tabelas de descrição das chamadas

De todas as chamadas que chegam à central de regulação do Samu, apenas 31.93% (para o ano de 2009) resultam em atendimento pelo médico regulador. As demais são divididas em trote, abuso, engano, chamada interna, informações e ligação interrompida. As distribuições dos motivos de chamada para os anos de 2006 até 2009 estão apresentadas na tabela 6.2. O motivo de chamada 8 (transporte inter-hospitalar) foi considerado, para o presente estudo, como solicitação de atendimento (motivo de chamada 0). Esta simplificação, discutida e validada com a gerência do Samu, foi adotada para que os tempos deste tipo de procedimento não influenciasse as estimativas para os tempos de resposta do modelo considerando as outras chamadas, uma vez que apresentam algumas características próprias. Além disso, a quantidade de chamadas para transporte inter-hospitalar é extremamente reduzida.

Tabela 6.2: Distribuição dos motivos de chamada (out/2006 – ago/2009)

	2006		2007		2008		2009	
MotCham 0	43.363	26,47%	162.357	29,46%	171.467	32,28%	153.415	31,42%
MotCham 1	21.925	13,38%	71.501	12,98%	68.734	12,94%	57.224	11,72%
MotCham 2	41.955	25,61%	121.164	21,99%	120.780	22,74%	96.150	19,69%
MotCham 3	3.762	2,30%	15.950	2,89%	13.601	2,56%	15.851	3,25%
MotCham 4	34.496	21,06%	112.011	20,33%	94.741	17,84%	98.829	20,24%
MotCham 5	472	0,29%	1.940	0,35%	1.520	0,29%	1.594	0,33%
MotCham 6	6.385	3,90%	22.079	4,01%	20.529	3,86%	17.148	3,51%
MotCham 7	10.959	6,69%	41.762	7,58%	37.288	7,02%	45.517	9,32%
MotCham 8	496	0,30%	2.263	0,41%	2.499	0,47%	2.493	0,51%
Total	163.813	100,00%	551.027	100,00%	531.159	100,00%	488.221	100,00%

Podemos observar um crescimento reduzido na porcentagem de chamadas que necessitam de atendimento quando comparamos o ano de 2009 com os demais anos, bem como uma leve redução nas chamadas interrompidas, de engano e de solicitação de informação.

A tabela 6.3 apresenta a evolução dos tipos de ocorrência, considerando o mesmo período da análise anterior. A distribuição das ocorrências ao longo dos anos não apresenta nenhuma tendência de crescimento, os valores encontrados são bastante próximos uns dos outros. Apenas o tipo de ocorrência 5 (outros procedimentos: ligação interrompida e ligação interna) sofreu um leve aumento no ano de 2009 quando comparado com 2008 (16,82% para 18,66%). As ocorrências de tipo psiquiátrico podem ser atendidas por qualquer tipo de ambulância, apenas nas mais graves é utilizada especificamente a ambulância de saúde mental. O tipo de ocorrência, para uso no modelo computacional, foi discretizado por região e horário de ocorrência (manhã: 07:00 – 12:59, tarde: 13:00 – 18:59 e noite: 19:00 – 06:59). A tabela 6.4 apresenta a distribuição das ocorrências por região considerando dados do ano de 2009. A região centro sul possui a maior frequência relativa para todos os tipos de ocorrência consideradas no modelo.

Tabela 6.3: Distribuição dos tipos de ocorrência (out/2006 – ago/2009)

	2006		2007		2008		2009	
TipoOcorr 0	11.420	26,04%	40.388	24,53%	41.525	23,87%	35.947	23,06%
TipoOcorr 1	20.373	46,45%	78.696	47,80%	83.450	47,97%	73.507	47,15%
TipoOcorr 2	2.907	6,63%	10.624	6,45%	11.429	6,57%	10.229	6,56%
TipoOcorr 3	1.282	2,92%	4.645	2,82%	4.756	2,73%	3.723	2,39%
TipoOcorr 4	738	1,68%	2.997	1,82%	3.548	2,04%	3.403	2,18%
TipoOcorr 5	7.139	16,28%	27.269	16,56%	29.257	16,82%	29.098	18,66%
Total	43.859	100,00%	164.619	100,00%	173.965	100,00%	155.907	100,00%

Tabela 6.4: Frequência relativa dos tipos de ocorrência por região (ano de 2009)

Regiões	TIPO DE OCORRÊNCIA (ANO 2009)					
	0	1	2	3	4	5
Venda Nova	7,03%	8,37%	9,07%	10,44%	8,35%	6,87%
Norte	7,71%	8,03%	8,92%	6,73%	22,54%	7,23%
Nordeste	12,87%	12,36%	13,09%	12,46%	21,61%	13,60%
Pampulha	6,86%	5,78%	5,01%	7,58%	1,48%	6,07%
Leste	11,33%	13,15%	14,77%	13,30%	9,46%	12,73%
Noroeste	10,71%	9,69%	9,57%	10,27%	2,32%	8,79%
Oeste	10,88%	11,58%	10,86%	10,27%	14,94%	11,46%
Centro Sul	23,18%	22,12%	18,49%	16,84%	10,67%	24,21%
Barreiro	9,43%	8,92%	10,21%	12,12%	8,63%	9,04%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%

A tabela 6.5 apresenta as condutas médicas adotadas pelos médicos reguladores. Pode-se observar que apenas 40% das chamadas que passam pelos teledigifonistas (para o ano de 2009) resultam em liberação de ambulância. A procura por recursos por meio próprio (conduta médica 1) também apresenta alta frequência relativa quando comparada com as demais (com exceção da conduta 2 de envio de ambulância). Apenas 11,27% das chamadas (ano 2009) não resultam em algum tipo de orientação e atendimento.

Tabela 6.5: Distribuição das condutas médicas (out/2006 – ago/2009)

	2006		2007		2008		2009	
Conduta 0	5.957	13,59%	26.720	16,26%	29.491	17,00%	28.576	18,38%
Conduta 1	12.086	27,58%	44.767	27,25%	48.793	28,13%	47.396	30,48%
Conduta 2	18.944	43,22%	73.166	44,54%	77.127	44,47%	61.997	39,87%
Conduta 3	6.257	14,28%	18.462	11,24%	17.236	9,94%	16.490	10,60%
Conduta 4	583	1,33%	1.171	0,71%	789	0,45%	1.039	0,67%
Total	43.827	100,00%	164.286	100,00%	173.436	100,00%	155.498	100,00%

Dado que a chamada necessita o envio de uma ambulância, a tabela 6.6 apresenta a frequência relativa de envio dos três tipos de ambulância (básica, avançada e de saúde mental) separados pelos tipos de ocorrência considerados (trauma, clínico, psiquiátrico e gineco-obstétrico). A ambulância básica é a mais acionada independente do tipo de ocorrência. Para casos psiquiátricos, a ambulância avançada é raramente acionada, sendo mais utilizada para casos clínicos ou de trauma. A ambulância de saúde mental é utilizada para qualquer um dos tipos de ocorrência, sempre que a situação necessitar da unidade de remoção especializada para casos mais graves.

Tabela 6.6: Distribuição do tipo de ambulância despachada por tipo de ocorrência para o ano de 2009

	TIPO DE OCORRÊNCIA (ANO 2009)			
	0	1	2	3
Ambul 1	93,01%	95,00%	98,99%	97,59%
Ambul 2	6,85%	4,51%	0,90%	2,03%
Ambul 3	0,13%	0,49%	0,12%	0,38%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Também foram levantadas, à partir do banco de dados, estimativas para o número de empenhos de ambulância cancelados e a proporção de atendimentos locais que necessitam do transporte da vítima para algum centro de atendimento. Os cancelamentos, para uso no modelo computacional desenvolvido, foram definidos como a chegada da unidade de resgate no local do incidente e a constatação de que não existe nenhuma pessoa necessitando de cuidados. Desta maneira, para uma chamada cancelada, considera-se o tempo de deslocamento, mas não o tempo de atendimento local (chegando no local a ambulância já se encontra disponível para novo atendimento). As estimativas foram de 5,21% para as chamadas canceladas e 90% para as ocorrências necessitando transporte da vítima para algum centro de atendimento.

Com relação ao número de ambulâncias empenhadas em cada ocorrência, o modelo desenvolvido considera sempre a relação de uma unidade para uma ocorrência. A comparação com estudos semelhantes na literatura, a falta de dados confiáveis para construção de uma estimativa precisa, a observação e coleta diretas do pesquisador na central de regulação (não foi identificada nenhuma ocorrência com o envio de mais de uma unidade dentre todos os tempos coletados) e a percepção dos operadores do sistema motivaram a adoção e validação de tal medida.

A figura 6.6 apresenta uma evolução no número de atendimentos realizados pelo Samu ao longo do período de outubro de 2006 até agosto de 2009. Foram considerados atendimentos aquelas chamadas em que houve envio de ambulância e atendimento da vítima.

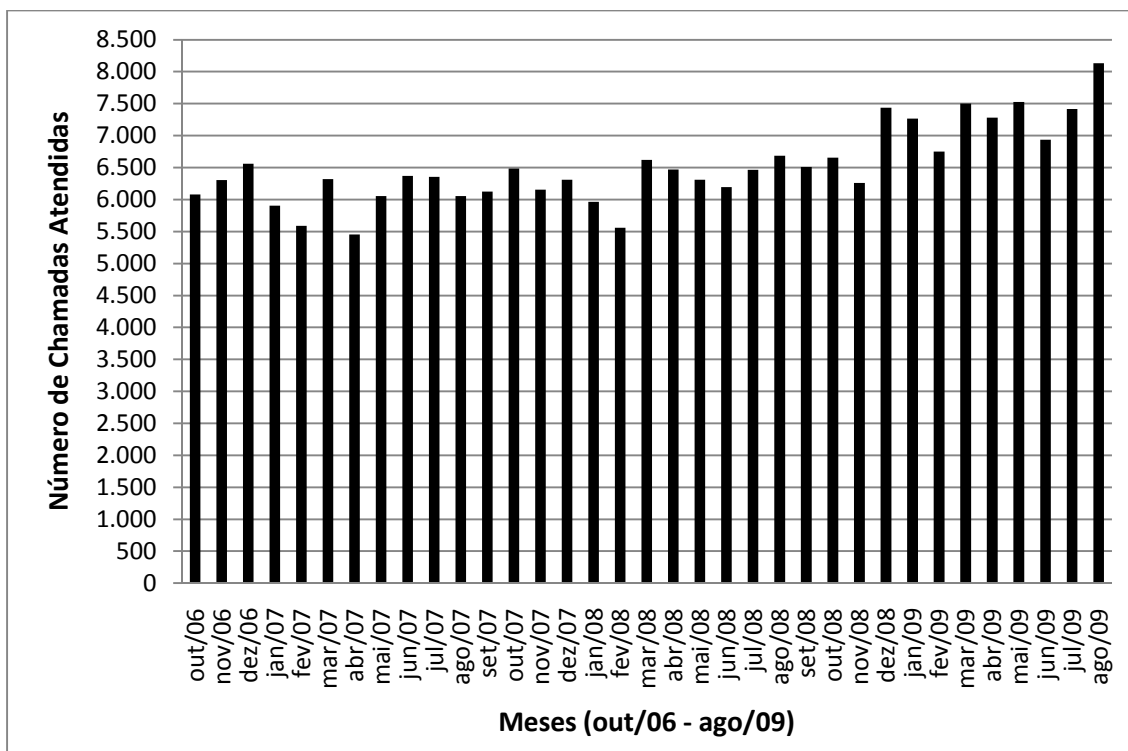


Figura 6.6: Evolução do número de chamadas atendidas (despacho de ambulância)

7. MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O SAMU

7.1 MODELO COMPUTACIONAL

O modelo computacional foi desenvolvido no *software* Arena 11.00 da Rockwell Automation Technologies. A figura 7.1 apresenta um fluxograma básico de seu funcionamento.

O processo começa com a chegada de uma chamada na central de atendimentos que é recebida por um dos atendentes (teledigifonistas). Antes de iniciar o atendimento na central de regulação, determina-se a região de origem da chamada, seu tipo, conduta médica (ver seção 6.2) e as coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*). O atendente faz a análise inicial da chamada buscando identificar sua natureza (trote, solicitação de informações, solicitação de atendimento ou engano). Em caso de solicitação de atendimento, são coletadas informações iniciais como local do acidente e alguns dados da vítima, e a chamada é encaminhada para o médico regulador para avaliar a gravidade da situação. Neste momento, pode ser necessário o envio de uma ambulância ou então a ligação é encerrada sem a necessidade de atendimento local, sendo feita somente a orientação pelo telefone. No primeiro caso, a ambulância mais próxima (considerando sua situação corrente e o tempo de deslocamento) é acionada por um dos despachantes e inicia o deslocamento até o local do incidente. A lógica de escolha da ambulância está explicitada mais adiante. Algumas chamadas são canceladas após a chegada da ambulância ao local devido a ocorrência de trotes. Uma vez no local, inicia-se o atendimento médico após o contato com a vítima e em casos de maior gravidade, esta é encaminhada para o hospital mais próximo de acordo com sua natureza e levando em conta a proximidade dos centros de atendimento (é priorizado sempre o centro de atendimento mais próximo).

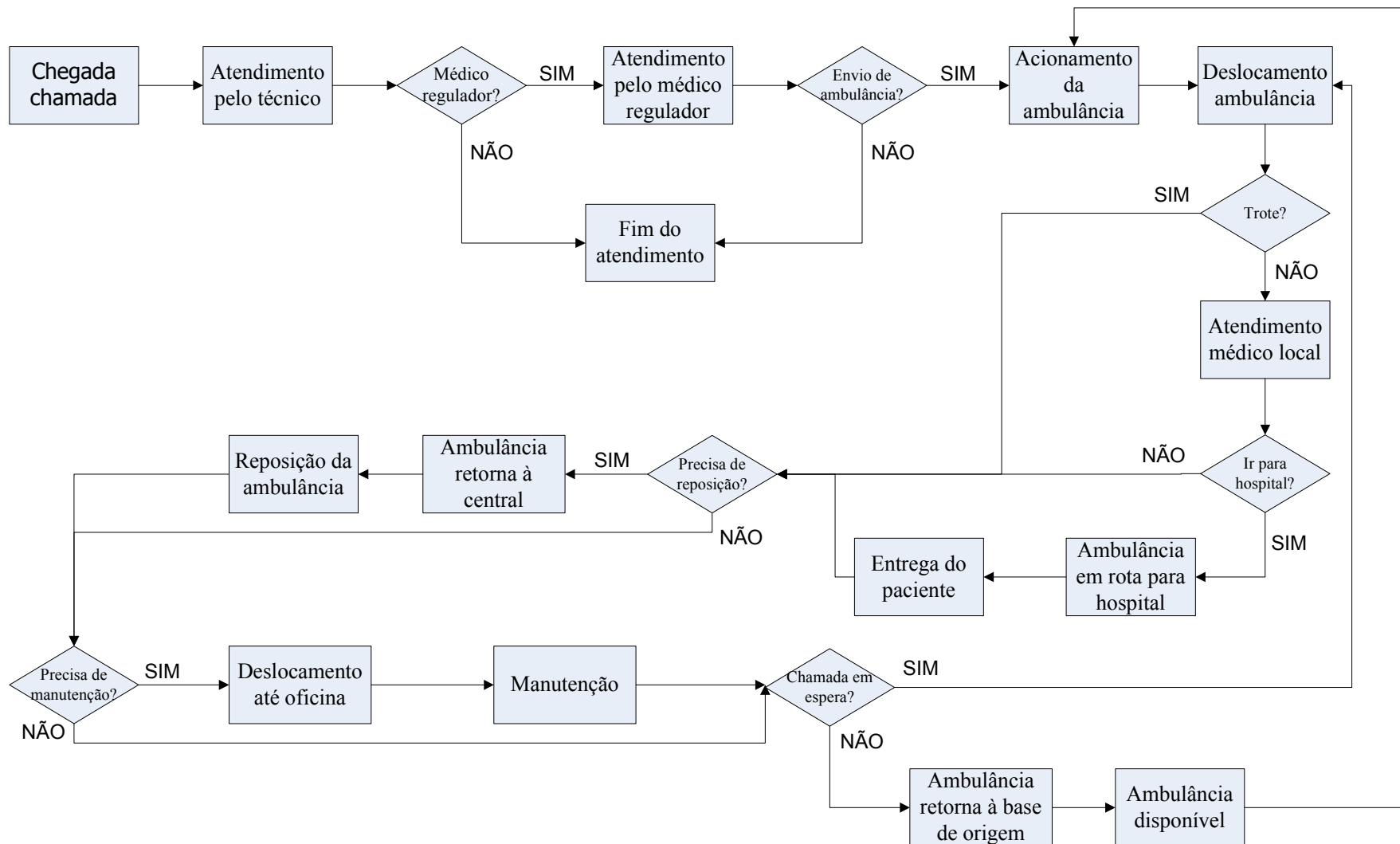


Figura 7.1: Fluxograma do processo de atendimento de uma chamada de emergência

Na situação real de operação, em algumas ocorrências pode acontecer de o centro mais próximo não possuir o médico especialista necessário para o atendimento ao paciente. Neste caso, o paciente é direcionado para outro centro, não mais seguindo a regra de proximidade. No modelo implementado, o centro mais próximo é sempre o escolhido. Tal simplificação foi assumida por diversas razões: a escala de plantão dos médicos em cada centro varia bastante ao longo dos dias da semana, podendo variar também em semanas diferentes; para determinar o tipo de médico necessário para cada ocorrência seria necessário um nível de detalhamento maior no banco de dados utilizado para construção do modelo e o objetivo principal não é o de avaliar a capacidade de recebimento de cada centro, mas sim o desempenho do sistema de atendimento móvel como um todo. A escolha do centro é feita sempre pelo médico regulador na central, nunca pela equipe que está realizando o atendimento. Após deslocamento da ambulância, entrega do paciente e preenchimento dos relatórios requeridos, a equipe verifica a necessidade de preparação, de maneira a repor equipamentos utilizados ou até mesmo avariados durante o processo de atendimento. Existe também a possibilidade de a ambulância necessitar de manutenção devido a avarias sofridas, por exemplo, durante os trajetos até o incidente e até o hospital designado. Para o modelo desenvolvido, a manutenção nunca acontece durante o processo de resgate, mas sempre ao final do ciclo (atendimento + hospital + reposição). Caso exista alguma chamada em espera após o processo de atendimento e eventuais reposição e manutenção, a ambulância dirige-se diretamente até o local do incidente, dado que a mesma foi escolhida para realizar o atendimento. Caso contrário, a ambulância retorna à base de origem (ponto zero) ficando então disponível para novo atendimento.

A seguir estão detalhados alguns dos módulos do modelo computacional bem como lógicas implementadas para controle do fluxo de entidades (chamadas e ambulâncias) no sistema.

TEMPOS DE ATENDIMENTO E OPERAÇÃO

Os tempos das diversas operações do serviço de atendimento móvel tiveram de ser estimados à partir de dados coletados diretamente na central de regulação. Para esta coleta, procurou-se priorizar diferentes dias na semana e diferentes horários ao longo do dia (manhã, tarde e noite, não tendo sido coletado nenhum tempo de atendimento durante a madrugada), de maneira a aproximar o máximo possível as estimativas dos

tempos reais de operação. Os tempos coletados foram: atendimento pelo teledigifonista no caso de uma chamada que não resulta em atendimento pelo médico regulador, atendimento pelo teledigifonista no caso de uma chamada que resulta em atendimento pelo médico regulador, atendimento pelo médico regulador de uma chamada que não necessita envio de ambulância, atendimento pelo médico regulador de uma chamada que necessita envio de ambulância USB, atendimento pelo médico regulador de uma chamada que necessita envio de ambulância USA, despacho de ambulância, atendimento médico local no caso de uma USB, atendimento médico local no caso de uma USA, passagem das informações do paciente para central de regulação, regulação secundária, entrega do paciente no hospital, reposição de equipamentos e manutenção.

Para a atividade de reposição, utilizou-se o padrão de uma reposição a cada 24 horas para as unidades básicas e duas reposições diárias para as unidades avançadas. Para a atividade de manutenção, utilizou-se uma taxa média de 3 manutenções por dia, sendo que a escolha da ambulância é feita de maneira aleatória.

Para ajuste dos tempos coletados, fez-se uso do teste de aderência, cujo objetivo é verificar se os dados de uma amostra seguem uma determinada distribuição teórica. As distribuições foram ajustadas utilizando o aplicativo *Input Analyzer* do Arena, coletando duas informações principais para análise da qualidade do ajuste: o erro quadrático (*Square Error*) e o p-valor (*p-value*).

Segundo Freitas Filho (2008), o valor do *Square Error* fornecido pelo *Input Analyzer* é obtido a partir do somatório das diferenças entre as frequências relativas observadas f_i e as frequências relativas esperadas $f(x_i)$, tomadas ao quadrado, para todos os intervalos do histograma representativo da amostra, sendo o primeiro indicador da qualidade do ajuste realizado.

De acordo com Chwif e Medina (2007), o *p-value*, ou nível descritivo, representa o menor nível de significância que pode ser assumido para se rejeitar a hipótese de aderência, ou seja:

- se $p\text{-value} \leq \alpha$, então H_0 é rejeitada ao nível de significância α ;
- se $p\text{-value} > \alpha$, então H_0 não é rejeitada ao nível de significância α ;

Para os dados coletados e testes de aderência conduzidos, foram utilizados os parâmetros relacionados na tabela 7.1 para aceitação ou não da hipótese de aderência com relação ao *p-value*.

O teste de aderência utilizado foi o de Kolmogorov-Smirnov, baseado na comparação das probabilidades acumuladas das distribuições teórica e observada.

Tabela 7.1: Critérios usuais para a classificação do *p-value*

Valor	Critério
$p\text{-value} < 0,01$	Evidência forte contra a hipótese de aderência
$0,01 \leq p\text{-value} < 0,05$	Evidência moderada contra a hipótese de aderência
$0,05 \leq p\text{-value} < 0,10$	Evidência potencial contra a hipótese de aderência
$0,10 \leq p\text{-value}$	Evidência fraca ou inexistente contra a hipótese de aderência

Retirado de Chwif e Medina (2007)

As duas atividades que tiveram o tempo de serviço estimado com base na percepção dos funcionários envolvidos e nas amostras de tempo coletadas foram as de reposição e entrega do paciente no hospital. Por dificuldades na passagem de informação entre as equipes em cena e a central de regulação, o número de informações obtidas não possibilitou o uso do teste de aderência conforme apresentado, sendo utilizada, para estes casos, a distribuição triangular. As dificuldades se referem, basicamente, à precisão do momento exato em que o contato foi feito (a maioria das equipes só comunica com a central quando a unidade móvel já está disponível, esquecendo muitas vezes de informar os momentos em que chega ao hospital ou até mesmo no local do incidente). A distribuição triangular, de acordo com Chwif e Medina (2007), é apropriada para modelagem de situações onde não se conhece a forma exata da distribuição, mas têm-se estimativas para o menor valor, o valor mais provável de ocorrer e o maior valor.

O anexo I apresenta, para cada ajuste, o histograma correspondente dos dados, o p-valor e o erro quadrático.

A tabela 7.2 apresenta um compilado das distribuições utilizadas no modelo, apresentando os valores para as médias e a unidade relativa a cada uma (segundo, minuto ou horas).

Tabela 7.2: Compilado das distribuições utilizadas no modelo

Atividade	Distribuição	Média	DP	Unidade
Despacho	Gama	22,55	11,16	seg
Teledigifonista_Chamada_Médica	Weibull	110,94	49,01	seg
Teledigifonista_Cham_Não_Médica	Weibull	28,53	18,71	seg
Médico_Regulador_Não_Envia	Weibull	102,57	70,51	seg
Médico_Regulador_Envia_USB	Gama	66,49	26,12	seg
Médico_Regulador_Envia_USA	Beta	96,76	60,02	seg
Atendimento_Local_USB	Weibull	18,41	8,38	min
Atendimento_Local_USA	Beta	18,32	5,61	min
Reposição	Triangular	21,67	3,12	min
Manutenção	Erlang	2,22	1,57	hr
Entrega_Paciente_no_Hospital	Triangular	12,33	2,78	min
Informações_Para_Despachante	Triangular	55,53	10,21	seg
Regulação_Secundária	Triangular	16,80	4,49	seg

LOCALIZAÇÃO DOS INCIDENTES

Para determinação das coordenadas dos incidentes, a cidade de Belo Horizonte e suas nove regionais foram mapeadas através do sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*) de coordenadas, de acordo com valores retirados de aplicativo desenvolvido pela Prodabel e disponível no site da prefeitura de BH. Os sistemas de projeções cartográficas são analisados pelo tipo de superfície de projeção adotada e grau de deformação. Na projeção UTM, utiliza-se um cilindro tangente à superfície da Terra como superfície de projeção, sendo os meridianos e paralelos representados por retas perpendiculares. O sistema UTM resulta na composição de 60 fusos distintos que representam a superfície da Terra. As coordenadas UTM também foram utilizadas para determinar a localização exata das bases e centros de atendimento, além de facilitar o cálculo do tempo de deslocamento, baseado na distância euclidiana entre dois pontos (a distância euclidiana aplicada em quaisquer dois pontos da cidade de Belo Horizonte utilizando as coordenadas UTM resulta em uma distância em linha reta dada em metros).

O contorno de cada regional foi aproximado por um polígono, buscando considerar da melhor maneira possível os limites da região. A figura 7.2 apresenta a região de Venda Nova (traçado em preto) com o respectivo polígono aproximado (traçado em vermelho), sendo apenas de caráter ilustrativo.

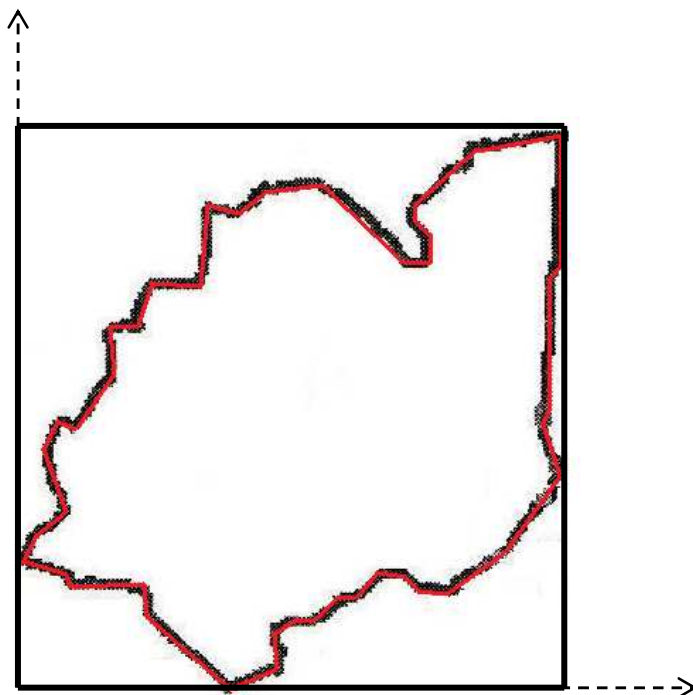


Figura 7.2: Mapeamento da região de Venda Nova

Para sorteio das coordenadas do incidente, utilizou-se os valores máximo e mínimo das coordenadas UTM do eixo horizontal e do eixo vertical, amostrando valores dentro do retângulo formado por estes extremos (linhas pretas mais grossas da figura 7.2) com igual probabilidade. Uma rotina em VBA foi implementada para verificar se o ponto sorteado se encontra dentro do polígono traçado para representar aquela região. Caso não esteja, um novo ponto é sorteado e verificado até que a condição seja satisfeita. Importante mencionar que a região da Pampulha possui uma lagoa também mapeada nos moldes apresentados, de maneira a garantir que o modelo não considere incidentes ocorridos na superfície da mesma.

FATOR DE CORREÇÃO DA DISTÂNCIA EUCLIDIANA

Considerando dois pontos A e B situados em uma rede de transporte, como uma malha urbana, podemos definir um sistema de coordenadas cartesianas arbitrário com origem num ponto zero qualquer. É possível identificar vários caminhos de ligação entre os pontos A e B, com distâncias quase sempre diferentes. A menor distância possível entre eles corresponde à ligação em linha reta, denominada de distância euclidiana. Sendo $A: (x_A, y_A)$ e $B: (x_B, y_B)$ temos que a distância euclidiana entre A e B é dada por:

$$DE = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$$

Esta distância, na maioria das aplicações reais de transportes, constitui-se em uma abstração útil para os cálculos e estruturação dos modelos. A razão reside na sua simplicidade de representação analítica e na sua característica de unicidade (isto é, há somente uma ligação euclidiana entre dois pontos). Através de coeficientes corretivos médios pode-se relacionar matematicamente as distâncias efetivas com as distâncias euclidianas, possibilitando assim o tratamento mais realista das aplicações (NOVAES, 1989).

De acordo com Novaes (1989), no caso de uma malha urbana, surgem diversos fatores que afetam a distância percorrida, como a existência de vias de mão única que exigem percursos significativamente maiores. Há também as restrições de cruzamento das artérias principais, que obrigam o veículo a procurar uma via que permita a travessia, seja através de semáforo, seja por meio de uma passagem em desnível.

Em trabalho realizado pelo autor sobre 57 pares de pontos localizados na malha urbana da cidade de São Paulo, através de regressão, chegou-se à relação: $D = 0.81 + 1.366 * DE$, com $R^2 = 0.95$ e as distâncias medidas em quilômetros.

D = distância efetiva

DE = distância euclidiana

R^2 = coeficiente de determinação (proporção da variabilidade de y que é explicada pelas variações em x)

Para o caso da cidade de Belo Horizonte, o procedimento para estimativa do fator de correção baseou-se no levantamento das coordenadas UTM de alguns pontos espalhados ao longo das nove regionais, considerando distâncias pequenas e grandes. A distância euclidiana foi calculada para cada par de pontos. Com auxílio do aplicativo *Google Earth*, traçou-se a rota real mais aproximada entre estes pontos, considerando o sentido do tráfego e priorizando as vias principais. De posse das duas distâncias (euclidiana e real aproximada) e levando em consideração o trabalho de Novaes (1989), foi possível estabelecer uma relação aproximada para a estimativa do fator de correção, sendo neste caso considerado igual a 1.366, conforme apresentado no estudo da cidade de São Paulo. O processo de validação do modelo considerou variações no fator de correção de

maneira a analisar o impacto nas variáveis de resposta analisadas, buscando refinar a aproximação feita.

VELOCIDADE MÉDIA

O cálculo do tempo de deslocamento gasto pela unidade leva em consideração a distância euclidiana ponderada pelo fator de correção e a velocidade média da ambulância. Para estimativa da velocidade média, foram considerados dois períodos: (7:00 – 21:00) e (21:00 – 7:00), com velocidades médias diferentes. Os períodos foram determinados com base no volume de chamadas e na disponibilidade de dados para estimativa. Dados referentes ao tempo de deslocamento e origem e destino da unidade de atendimento empenhada foram coletados em diferentes dias e horários. A quantidade de dados não possibilitou uma análise estatística mais consistente, uma vez que a central de regulação possui grande dificuldade em precisar a hora exata da chegada da ambulância no local do incidente, pois as equipes (mesmo quando cobradas pela gerência) não passam esta informação, somente quando já realizaram o atendimento e precisam das orientações do médico regulador. Com os registros coletados, a distância real aproximada foi utilizada juntamente com o tempo de deslocamento para estimar a velocidade média. Foram utilizados os valores de 25 km/h para o período de 7:00 às 21:00 e 50 km/h para o período de 21:00 às 7:00.

LÓGICA DE ACIONAMENTO DAS AMBULÂNCIAS

De maneira a controlar a alocação das ambulâncias, foi criada uma matriz (figura 7.3) com o número de linhas igual à quantidade total de ambulâncias e o número de colunas igual a 6.

- coluna 1: hora em que a ambulância vai estar disponível, de acordo com o relógio da simulação (o relógio marca o tempo corrido contínuo em horas, não zerando após as 24 horas de um dia);
- coluna 2: coordenada X do local em que a ambulância vai estar disponível;
- coluna 3: coordenada Y do local em que a ambulância vai estar disponível;
- coluna 4: quantas chamadas estão esperando por aquela ambulância;
- coluna 5: $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ se a ambulância está disponível} \\ 1 \text{ se a ambulância está em atendimento} \end{array} \right.$

- coluna 6: $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ se a ambulância é USB} \\ 2 \text{ se a ambulância é USA} \\ 3 \text{ se a ambulância é Saúde Mental} \\ 0 \text{ se a ambulância não está sendo utilizada naquela simulação} \end{array} \right.$

1.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	13.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
2.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	14.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
3.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	15.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
4.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	16.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
5.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	17.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
6.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	18.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
7.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	19.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
8.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	20.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
9.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	21.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
10.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	22.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
11.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○	23.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○
12.	0 . 0 0 0 0	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	○	○	○							

Figura 7.3: Matriz de controle das ambulâncias (retirado diretamente da tela do Arena)

Uma vez acionada, a ambulância determina à priori os tempos de atendimento, reposição e manutenção, caso necessário, bem como as coordenadas UTM em que estará disponível. Desta maneira, ao chegar uma nova chamada, os tempos de liberação de cada ambulância estarão todos atualizados, mesmo que exista ambulância em atendimento. Após realizar o atendimento, a ambulância verifica se existe chamada esperando (coluna 4) para decidir qual caminho tomar. Caso não exista chamada, a ambulância retorna para a base de origem e atualiza a hora e as coordenadas de liberação.

A seguir encontram-se os passos para determinação de qual ambulância será alocada à uma chamada:

- verifica-se primeiro o tipo de ambulância (USB, USA ou Saúde Mental)
- caso seja Saúde Mental, a escolha da ambulância é direta, uma vez que só existe uma única ambulância para este tipo de atendimento
- caso seja USB, a escolha da ambulância segue os seguintes procedimentos:
 - para cada ambulância USB, a chamada calcula o tempo de resposta para aquela ambulância específica. Se a hora de liberação da ambulância for maior que o tempo corrente de simulação, significa que a ambulância está em atendimento. O cálculo do

tempo de resposta fica sendo então: $(\text{hora_de_liberação} - \text{tempo_atual}) + \text{fator_correção} * \text{distância_euclidiana} / \text{velocidade_média}$. Existem dois componentes básicos para calcular o tempo de resposta: o tempo de espera da chamada até a ambulância estar disponível ($\text{hora_de_liberação} - \text{tempo_atual}$) e o tempo de deslocamento até o local do incidente ($\text{fator_correção} * \text{distância_euclidiana} / \text{velocidade_média}$). Foram utilizadas estas duas variáveis de maneira a garantir que a ambulância alocada para a chamada seja realmente aquela que chegará primeiro ao incidente, e não aquela que ficará disponível primeiro. Caso a hora de liberação da ambulância seja menor que o tempo atual, significa que a ambulância já está disponível. Para este caso, o cálculo do tempo de resposta terá somente o componente tempo de deslocamento: $\text{fator_correção} * \text{distância_euclidiana} / \text{velocidade_média}$. O tempo de resposta de cada ambulância é armazenado em um vetor com um número de posições igual ao número de ambulâncias USB. Uma vez calculado os valores para cada ambulância, o vetor é ordenado de maneira crescente e a ambulância na posição 1 do vetor é alocada à chamada.

- caso seja USA, a escolha da ambulância segue os seguintes procedimentos:

- para todas as ambulâncias USB e USA, os cálculos são feitos exatamente da mesma maneira que no caso anterior. A ambulância na posição 1 do vetor que contém todos os tempos de resposta é alocada à chamada. Uma vez alocada, é feita uma verificação para determinar se a ambulância alocada é USB ou USA. Se for USA, nada mais precisa ser feito. Caso seja USB, a entidade se divide em duas: uma segue para o atendimento (ambulância USB) e a outra retorna para a lógica de escolha da ambulância, mas desta vez restrita às unidades avançadas. Os cálculos para este caso são os mesmos apresentados para o caso 1.

7.2 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

A qualidade e a validade de um modelo de simulação são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real. Uma vez que uma série de pressupostos e simplificações sobre o comportamento do sistema real costuma ser realizada no desenvolvimento do modelo, qualquer tomada de decisão com base em seus resultados deve ser precedida de uma avaliação de sua qualidade e apropriação.

Essa avaliação está subdividida em duas etapas. A primeira consiste em avaliar se estes pressupostos e essas simplificações foram corretamente implementados no modelo computacional. A segunda é saber se, apesar dos pressupostos e das simplificações implementadas, o modelo ainda é válido, isto é, comporta-se à semelhança do sistema real. As duas etapas são chamadas de verificação e validação, respectivamente (FREITAS FILHO, 2008).

Para verificação do modelo desenvolvido, utilizou-se a técnica de implementação modular, onde cada parte do modelo é implementada e rodada primeiro separadamente. Para cada módulo desenvolvido (chegada, definição da natureza da chamada, escolha do local do incidente, central de regulação, escolha da ambulância a ser empenhada, atividades da unidade móvel), as variáveis de interesse para verificação da lógica de operação foram todas dispostas na tela do Arena de maneira a acompanhar a coerência nas operações e atividades do modelo. Forçou-se também a ocorrência de eventos pouco prováveis e eventos que acarretam em pequenas alterações na lógica de despacho, como por exemplo a chegada de uma chamada que necessita de uma unidade avançada, mas cuja unidade mais próxima é uma básica. Cada chamada, antes de deixar o modelo, tem seus atributos específicos salvos em uma planilha Excel (tipo, conduta médica, tempos, ambulância empenhada, qual hospital foi designado, precisou de reposição, etc.), de maneira que uma análise detalhada de cada processo foi feita buscando identificar possíveis falhas na implementação (número de chamadas de cada tipo considerando o tempo de simulação utilizado, quantidade de reposições feitas e distribuição por ambulância, dentre outros).

O processo de validação foi conduzido desde as etapas iniciais do projeto, com a participação direta da gerência do Samu. Todo o processo de funcionamento do sistema foi discutido com os responsáveis (modelagem conceitual) bem como as simplificações adotadas para a modelagem computacional. A definição de quais variáveis seriam utilizadas para análise de desempenho bem como alguns possíveis cenários a serem avaliados também foram discutidos diretamente com a atual coordenadora médica do Samu.

Além da participação e acompanhamento de especialista, foram utilizados dados reais coletados em campo para validação dos resultados gerados pelo modelo desenvolvido,

tendo como base os parâmetros atuais de operação do sistema. Os dados utilizados para validação do modelo computacional foram coletados após conclusão da implementação do modelo. Foram utilizados três parâmetros para esta etapa do processo de validação: tempo de espera que uma chamada gasta entre a verbalização da necessidade de envio de uma ambulância até o empenho efetivo da mesma, o tempo de espera mencionado acrescido dos tempos de deslocamento e tempo de atendimento local (até o momento de passagem das informações para o médico regulador da central) e a quantidade de chamadas atendidas discretizadas por mês, desde dezembro de 2008 (início de operação do sistema com as configurações atuais) até agosto de 2009 (último mês disponível para consulta no banco de dados). Para os dois primeiros, foram coletados 100 dados distribuídos ao longo dos cinco dias úteis e do período de 7:00 até 21:00 horas em cada dia. Os valores dispostos nas tabelas 7.3 e 7.4 a seguir apresentam um resumo do estudo comparativo, estando todos em minutos.

Tabela 7.3: Validação do tempo de espera

TEMPO DE ESPERA [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	0,54	5,50	45,38	6,16
2	0,47	5,20	43,86	6,25
3	0,50	6,09	65,23	7,08
4	0,49	5,19	54,63	6,17
5	0,58	5,03	49,01	6,07
6	0,54	6,66	49,28	7,72
7	0,50	6,97	49,95	7,57
8	0,43	5,51	49,73	6,28
9	0,45	6,61	58,23	7,24
10	0,45	7,92	61,27	8,74
Médias	0,50	6,07	52,66	
Real	0,33	6,13	48,91	

As linhas numeradas de 1 a 10 correspondem às dez replicações feitas com o modelo computacional para estimativa das variáveis de resposta, sendo calculado para os valores mínimo, médio e máximo a média relativa a todas as replicações. A última linha apresenta os valores encontrados para os 100 dados coletados diretamente na central de regulação. Pode-se observar que, para o valor médio do tempo de espera, a diferença é de apenas 0,06 minutos (3,6 segundos) ou 0,98%. Este valor está diretamente relacionado com os tempos de operação dentro da central de regulação (teledigifonista, médico regulador e despachante), bem como com a utilização das unidades móveis

(espera-se que quanto menor o tempo em que as ambulâncias ficam empenhadas, menor será o tempo de espera médio das chamadas).

A tabela 7.4 apresenta a mesma análise para o tempo de espera + deslocamento + atendimento. Por dificuldades já relatadas no processo de coleta, não foi possível fazer uma coleta extensa com relação aos tempos de resposta do sistema, variável principal de interesse para a gerência do Samu. Desta maneira, procurou-se utilizar um combinado dos tempos dentro e fora da central de regulação para validar os tempos do processo de atendimento fora da central.

Tabela 7.4: Validação do tempo de espera + deslocamento + atendimento

TEMPO TOTAL [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	8,45	35,57	92,48	13,74
2	9,81	35,16	98,55	13,40
3	8,79	35,41	91,24	13,68
4	9,13	34,51	92,36	13,55
5	8,68	34,83	89,12	13,20
6	8,09	35,58	99,84	14,76
7	7,25	36,35	104,53	14,61
8	7,64	34,86	95,26	14,04
9	7,24	35,82	96,67	14,26
10	8,59	35,45	100,61	14,36
Médias	8,37	35,35	96,07	
Real	9,14	31,82	79,75	

Pode-se observar que a diferença entre o valor médio das dez replicações e valor médio dos 100 dados coletados foi de 3,53 minutos. A diferença foi maior quando comparada com o tempo de espera uma vez que as atividades utilizadas para análise apresentam uma variabilidade acumulada maior, sendo que foram definidos alguns parâmetros aproximados de operação, como por exemplo a velocidade média e o fator de correção da distância euclidiana.

Dos cem dados coletados para a etapa de validação foi possível extrair uma amostra de valores para estimativa do tempo de resposta do sistema. Neste caso, foi encontrado um valor de 19.92 minutos, contra os 21.21 minutos estimados pelo modelo computacional (diferença de 6,08%).

Por último, foram retirados do banco de dados os valores relativos à quantidade de atendimentos realizados pelo Samu desde dezembro de 2008 até agosto de 2009. Foram novamente feitas 10 replicações, mas desta vez com tempo de simulação correspondente a cada um dos meses analisados. A tabela 7.5 apresenta os resultados.

Tabela 7.5: Validação do número de atendimentos realizados (real x simulado)

Mês	Real	Simulado	Diferença (%)
dez/08	7.437	7.453	-0,21%
jan/09	7.266	7.470	-2,81%
fev/09	6.752	6.722	0,44%
mar/09	7.503	7.458	0,60%
abr/09	7.281	7.196	1,17%
mai/09	7.528	7.416	1,49%
jun/09	6.934	7.140	-2,97%
jul/09	7.417	7.508	-1,23%
ago/09	7.429	7.388	0,55%

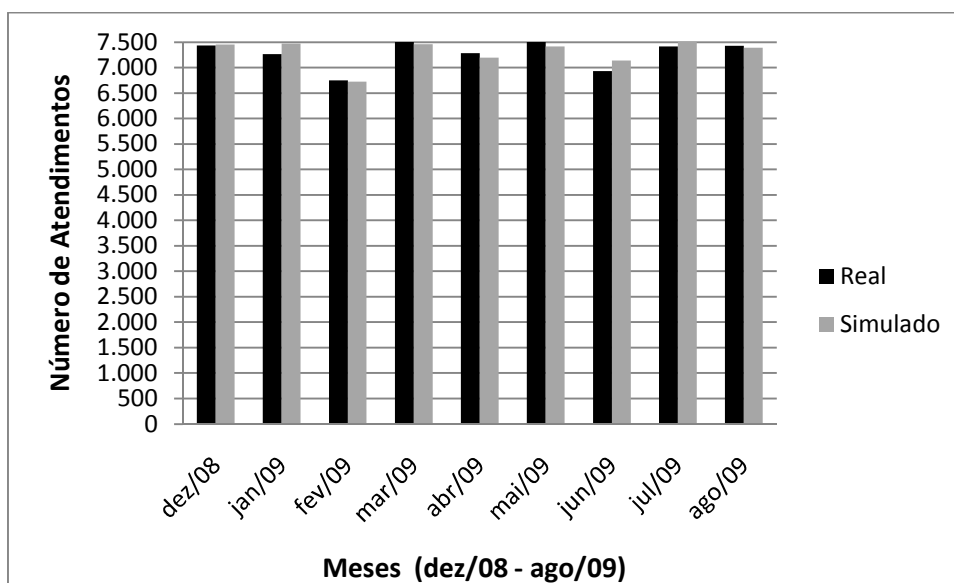


Figura 7.4: Gráfico comparativo do número de atendimentos realizados (validação)

A diferença máxima encontrada entre os valores real e simulado foi de 2,97%, sendo que a diferença média considerando valores absolutos de todos os meses foi de 1,27%.

Com base nas análises feitas, na percepção do especialista sobre as respostas do modelo e nos objetivos definidos para o estudo (que não tem pretensão de determinar com segurança absoluta valores para todos os parâmetros de desempenho do sistema, mas indicar possíveis ganhos ou perdas nos tempos de operação decorrentes de mudanças na lógica de operação), concluiu-se pela verificação e validação efetivas do modelo.

7.3 REGIME TRANSIENTE X PERMANENTE

Para determinação dos parâmetros de execução do modelo (quantidade e tempo de cada replicação), faz-se necessário a definição conceitual de simulação terminal e simulação não terminal. A primeira acontece quando não existem dúvidas quanto aos instantes de tempo de início e fim da simulação e existem condições iniciais fixas (restaurantes, bancos, lojas comerciais, etc.), enquanto na segunda não existe certeza, *a priori*, de quanto tempo ela deve durar (serviços de 24 horas, hospitais, etc.).

No caso de sistemas não terminais, como é o caso dos serviços de atendimento móveis de urgência, para definição do tempo de simulação, é importante a determinação correta dos chamados regime transiente e regime permanente do sistema.

Em se tratando de modelos de simulação, podemos definir regime transiente como o período durante o qual as variáveis de resposta de interesse ainda estão sob a influência das condições iniciais do sistema, apresentando portanto uma maior variabilidade. Uma vez que as análises estatísticas recaem sobre o desempenho do sistema quando o mesmo se encontra em regime permanente, é preciso que se reduza a influência da fase transiente na simulação do modelo.

Para determinação do período destas duas fases, utilizou-se a análise do tempo de resposta médio, por ser este o parâmetro utilizado pelos gestores para avaliação do desempenho do sistema. Para tanto, o modelo foi executado em um tempo de simulação variando de uma até trezentas horas, conforme apresentado na figura 7.5, armazenando para cada rodada o valor da variável de análise no eixo vertical e o tempo de simulação no eixo horizontal. A determinação do período transiente foi feita por análise gráfica. Através da observação do comportamento do sistema, definiu-se um tempo de aquecimento (período inicial durante o qual não são coletadas estatísticas) de 100 horas, pois a partir deste instante a curva não aparenta mais alguma tendência clara de crescimento ou diminuição, mas apenas oscila entre os valores limites máximos e mínimos.

Cada rodada de simulação para o modelo construído teve um período fixo de aquecimento de 100 horas e um período de 7 dias de operação cujos dados foram utilizados para tratamento e análise estatística do desempenho do sistema.

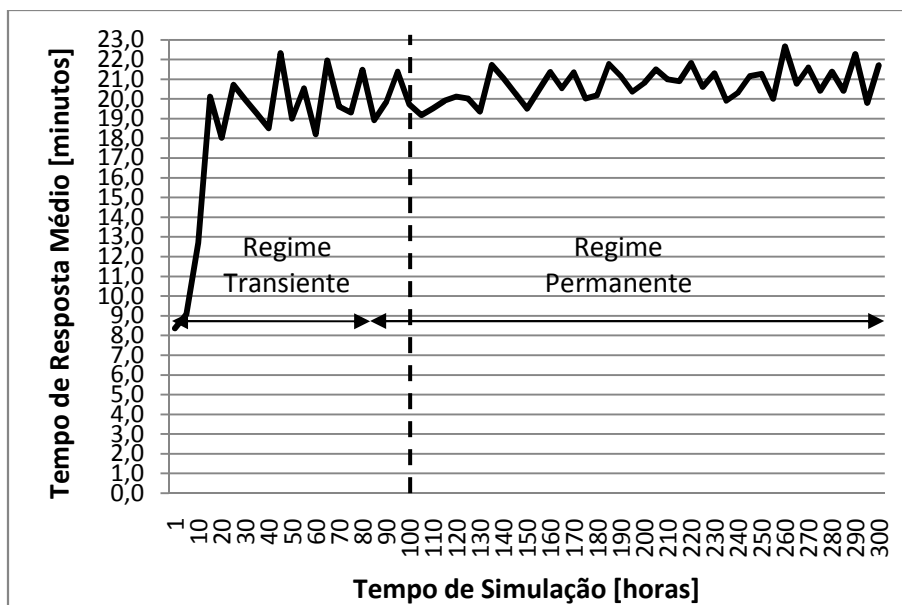


Figura 7.5: Período transiente para o tempo de resposta médio

7.4 NÚMERO DE REPLICAÇÕES

Como o modelo de simulação lida com números aleatórios, as variáveis de saída também terão natureza aleatória (RIRO – *random in random out*), de maneira que as conclusões a serem obtidas não podem ser baseadas em apenas uma replicação do modelo.

Para determinação do número de replicações de cada rodada de simulação, utilizou-se a construção de intervalos de confiança para as medidas de desempenho consideradas, com a posterior análise da precisão de cada intervalo construído.

Quando falamos em confiança estatística, estamos nos referindo ao intervalo de confiança, ou seja, um intervalo de valores que contém a média da população, com uma certa probabilidade. Quanto maior o valor desta probabilidade, maior a confiança estatística de que a média da população encontra-se dentro deste intervalo construído. Já quando falamos em precisão, estamos nos referindo ao tamanho do intervalo, pois de nada adianta uma alta confiança estatística se o tamanho do intervalo é tão grande que nada podemos concluir sobre a média da população (CHWIF e MEDINA, 2007).

Um ponto importante a ser avaliado para a determinação do intervalo de confiança é a necessidade de que os elementos da amostra sejam estatisticamente independentes.

No caso do Arena, quando se solicita a realização de n replicações, automaticamente o simulador utiliza diferentes conjuntos (*Streams*) de números aleatórios para gerar os valores associados às variáveis aleatórias presentes no modelo. Como a função geradora de números aleatórios do Arena garante que os valores gerados são estatisticamente independentes, os elementos da amostra oriundos das n replicações independentes também o serão (FREITAS FILHO, 2008).

O intervalo de confiança foi construído de acordo com a equação a seguir (Chwif e Medina, 2007):

$$\bar{x} \pm t_{n-1; \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- \bar{x} é a média da amostra;
- $t_{n-1; \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do tamanho do intervalo (precisão);
- $t_{n-1; \alpha/2}$ é o $(1 - \alpha/2)$ percentil da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade;
- s é o desvio padrão da amostra;
- n é o número de dados da amostra.

O modelo foi rodado com 10 replicações, e os valores médios para as variáveis tempo de resposta e tempo de espera foram coletados. Utilizou-se uma confiança de 95%, $n = 10$ replicações e valor tabelado da estatística teste t de 2,26. Os resultados estão apresentados na tabela 7.6 a seguir:

Tabela 7.6: Intervalos de confiança para as variáveis de resposta

Variável de Resposta	IC	Precisão
Tempo de Resposta Médio	[20.72 ; 21.71]	0.494
Tempo de Espera Médio	[4.51 ; 5.42]	0.451

Como o tamanho dos dois intervalos é bastante reduzido, indicando uma boa precisão, considerou-se que o valor de 10 replicações para cada rodada é satisfatório para construção dos intervalos e análise do sistema.

7.5 CENÁRIO ATUAL DE OPERAÇÃO

Uma vez verificado e validado o modelo desenvolvido, o cenário atual de operação foi simulado utilizando dos parâmetros já descritos, de maneira a levantar estimativas para o tempo de resposta e tempo de espera médios. Para cada uma das variáveis, apresenta-se a seguir uma tabela com os valores mínimo, médio e máximo de cada replicação, uma tabela com as freqüências relativas discretizadas em intervalos de tempo de zero até quarenta minutos e um histograma relativo a estas freqüências.

Tabela 7.7: Tempo de resposta para cenário atual

TEMPO DE RESPOSTA [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	4,55	21,23	62,35	10,26
2	4,25	20,66	85,91	10,31
3	4,26	21,43	85,69	10,62
4	4,35	20,29	69,01	10,03
5	4,21	20,64	70,55	10,16
6	4,01	21,09	87,78	11,52
7	3,92	21,91	84,48	11,60
8	4,49	20,64	82,02	10,90
9	4,64	21,78	76,34	11,29
10	4,69	22,48	80,87	12,72
Médias	4,34	21,21	78,50	

O tempo de resposta estimado apresenta valores médios para o tempo mínimo e máximo de 4,34 e 78,50 minutos, respectivamente. O primeiro diz respeito àqueles incidentes que ocorrem no mesmo local ou bastante próximos de alguma base de operação do Samu, resultando em tempo de deslocamento nulo ou muito pequeno. Desta maneira, o tempo de resposta fica restrito basicamente aos tempos de atendimento dentro da central de regulação. Considerando valores médios apresentados na tabela 7.2 para os tempos do teledigifonista, médico regulador e despachante, teríamos um tempo de 3,6 minutos para o processo de atendimento dentro da central, valor bastante próximo do encontrado para o tempo de resposta mínimo, como era esperado. O segundo é justificado pelas chamadas que apresentam um elevado tempo de espera (o maior valor encontrado para o tempo de espera coletado na central foi de 48,91 minutos, conforme tabela 7.3), devido a chamadas de baixa prioridade que ficam no aguardo de uma ambulância mais próxima do local do incidente, mesmo que esta ainda esteja em atendimento. O que acontece algumas vezes também é a priorização de algumas chamadas em detrimento de outras em horários de pico de funcionamento do sistema. Para o tempo de resposta

médio, foi calculado o intervalo de confiança de 95% com $n = 10$ e valor de 2.26 para a estatística teste t :

$$I. C. = [20.72 ; 21,71] \quad \text{Precisão} = 0,494$$

Com relação à distribuição dos valores para o tempo de resposta considerando as faixas apresentadas na tabela 7.8 e figura 7.6, pode-se observar que a maior quantidade de valores está entre 10 e 20 minutos, seguido pela faixa entre 20 e 30 minutos. Os valores extremos são de baixa frequência de ocorrência, sendo apenas 0,20% para valores abaixo de 5 minutos e 6,6% para valores acima de 40 minutos. Para um tempo de resposta de até 40 minutos, temos uma frequência acumulada de mais de 93% para todas as chamadas.

Tabela 7.8: Distribuição do tempo de resposta para cenário atual

TEMPO DE RESPOSTA			
Valores [min]	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 – 5	33	0,20%	0,20%
5 – 10	1.921	11,56%	11,76%
10 – 20	7.087	42,64%	54,40%
20 – 30	4.571	27,50%	81,90%
30 – 40	1.907	11,47%	93,37%
> 40	1.102	6,63%	100,00%
Total	16.621	100,00%	

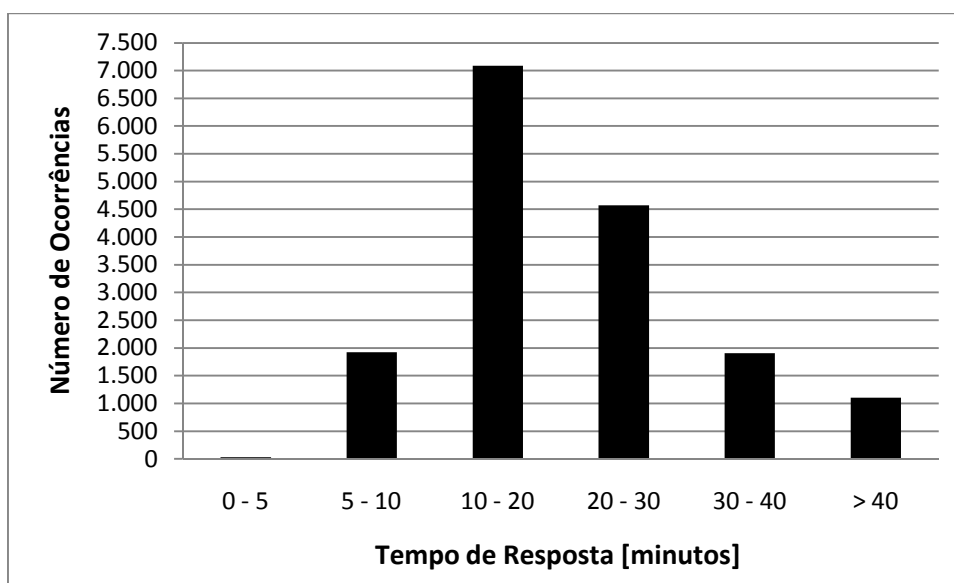


Figura 7.6: Histograma do tempo de resposta para cenário atual

A tabela 7.9 apresenta os valores estimados encontrados para a variável tempo de espera. Os valores mínimos, com média de 30 segundos, são aqueles cujo envio da ambulância é imediata, não tendo de esperar nenhuma outra atividade terminar, sendo composto somente pelo tempo gasto pelos despachantes. O tempo máximo são aquelas situações já apresentadas e justificadas, como por exemplo a priorização de chamadas mais importantes em horários críticos. Para o tempo de espera médio, foi construído novamente um intervalo de confiança com 95% com $n = 10$ e $t = 2,26$:

I.C. = [4.51 ; 5.42] Precisão = 0,451

Tabela 7.9: Tempo de espera da chamada para cenário atual

TEMPO DE ESPERA [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	0,54	4,63	45,38	6,16
2	0,47	4,44	43,86	6,25
3	0,50	5,11	65,23	7,08
4	0,49	4,24	54,63	6,17
5	0,58	4,46	49,01	6,07
6	0,54	5,26	49,28	7,72
7	0,50	5,54	49,95	7,58
8	0,43	4,42	49,73	6,28
9	0,45	5,33	58,23	7,25
10	0,45	6,21	61,27	8,74
Médias	0,50	4,96	52,66	

A distribuição dos tempos de espera está apresentada na tabela 7.10 e figura 7.7 a seguir. Como esperado, a grande maioria dos valores se encontra na faixa entre zero e cinco minutos (72,96%), sendo que valores muito altos são de frequência relativa bastante baixa (entre 30 e 40 minutos, somente 1,23% das chamadas e para valores maiores de 40 minutos, somente 0,29% das chamadas). Esta distribuição está de acordo com o tipo de sistema em estudo, tendo grande concentração nos valores mais baixos (como se observa realmente na realidade de operação) e pequena concentração nos valores mais altos. Um aumento na frequência relativa de valores altos pode significar o funcionamento das operações fora de padrões de qualidade e desempenho definidos como aceitáveis para este tipo de sistema.

Tabela 7.10: Distribuição do tempo de espera da chamada para cenário atual

TEMPO DE ESPERA			
Valores [min]	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	12.127	72,96%	72,96%
5 - 10	1.775	10,68%	83,64%
10 - 20	1.845	11,10%	94,74%
20 - 30	621	3,74%	98,48%
30 - 40	205	1,23%	99,71%
> 40	48	0,29%	100,00%
Total	16.621	100,00%	

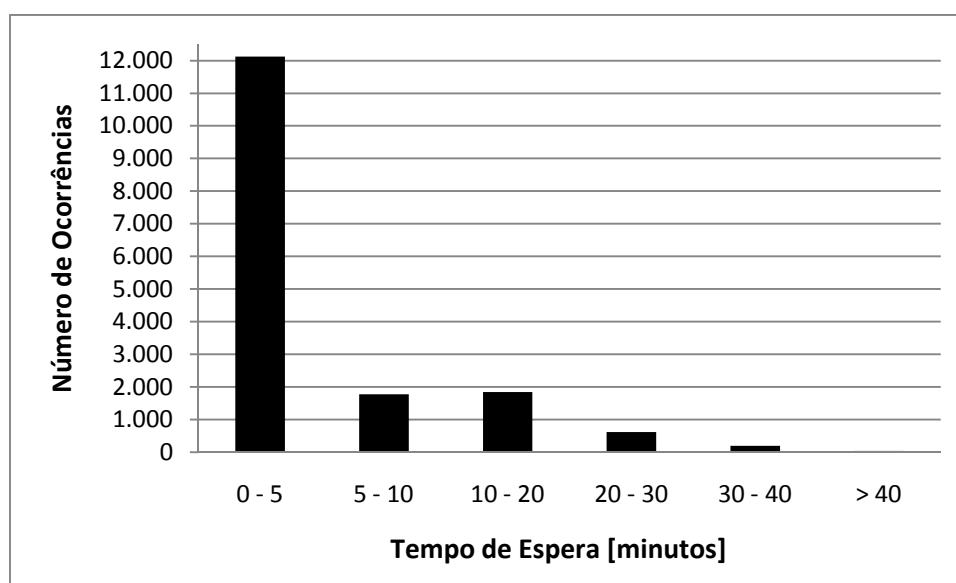


Figura 7.7: Histograma do tempo de espera da chamada para cenário atual

Para a ambulância de saúde mental, a tabela 7.11 apresenta os valores mínimo, médio e máximo para as variáveis de resposta analisadas.

Tabela 7.11: Variáveis de resposta para a ambulância de saúde mental (valores médios em minutos)

	Mínimo	Médio	Máximo
Tempo de Resposta	17,12	29,37	51,92
Tempo de Espera	0,97	1,26	1,63

Podemos observar que os tempos de espera médio e máximo são bastante reduzidos para a unidade de saúde mental, uma vez que os chamados são bastante espaçados no tempo. O tempo de resposta médio ficou um pouco acima quando comparado com os valores da tabela 7.7 anterior. Entretanto, devido ao número reduzido de chamadas

específicas desta unidade e pelo fato da escolha aleatória dos locais de incidente, não se pode tirar maiores conclusões a respeito do desempenho do sistema com relação a estas variáveis de resposta. Para a situação atual de operação, esta unidade atende os requisitos necessários com relação às variáveis de desempenho de acordo com a gerência do Samu, não sendo utilizada para a análise de cenários conduzida (seção 8).

Com relação à taxa de utilização das ambulâncias, das 10 replicações realizadas foi possível obter uma média de 55.32% para as unidades básicas e 11.75% para as unidades avançadas (ver tabela III.1 do Anexo III para maiores detalhes). Gonçalves (1994) afirma que quando os sistemas de atendimento móveis de urgência estão bem dimensionados, geralmente ocorrem longos períodos em que os operadores e equipamentos permanecem desocupados. No trabalho de Takeda (2000), o índice de ocupação dos veículos encontrado de 60% foi considerado elevado para este tipo de sistema. O trabalho de Garcia (2006) apresenta uma taxa de utilização de 49.2% para as ambulâncias do serviço de atendimento da cidade de Niterói. O valor mais baixo encontrado para as unidades avançadas se refere à quantidade reduzida de chamadas de maior gravidade e na política de priorização dos médicos reguladores sobre as unidades básicas. De acordo com Fitzsimmons e Fitzsimmons (2004), uma ambulância do serviço de emergência raramente está ocupada por mais de 30% de seu tempo. Essa baixa utilização, no entanto, é indispensável para permitir o atendimento imediato. O excesso de capacidade da ambulância é, assim, necessário, pois o custo implícito da espera para esse serviço pode ser exorbitante em termos de vidas humanas.

A figura 7.8 a seguir apresenta um comparativo das frequências relativas do número de ocorrências que foram encaminhadas para cada centro de atendimento. Como o foco do estudo não é na etapa de recebimento dos pacientes por parte dos centros para uma possível definição de gargalos ou até mesmo construção de novas políticas de encaminhamento de pacientes, e como existem critérios (muitas vezes impossíveis de serem formalizados) para alocação dos pacientes que não foram considerados no presente estudo (por exemplo a escala de plantões dos médicos em cada centro), a figura serve mais como caráter ilustrativo do processo atual conforme modelado e apresentado do que uma ferramenta para análise da ocupação e utilização de cada centro.

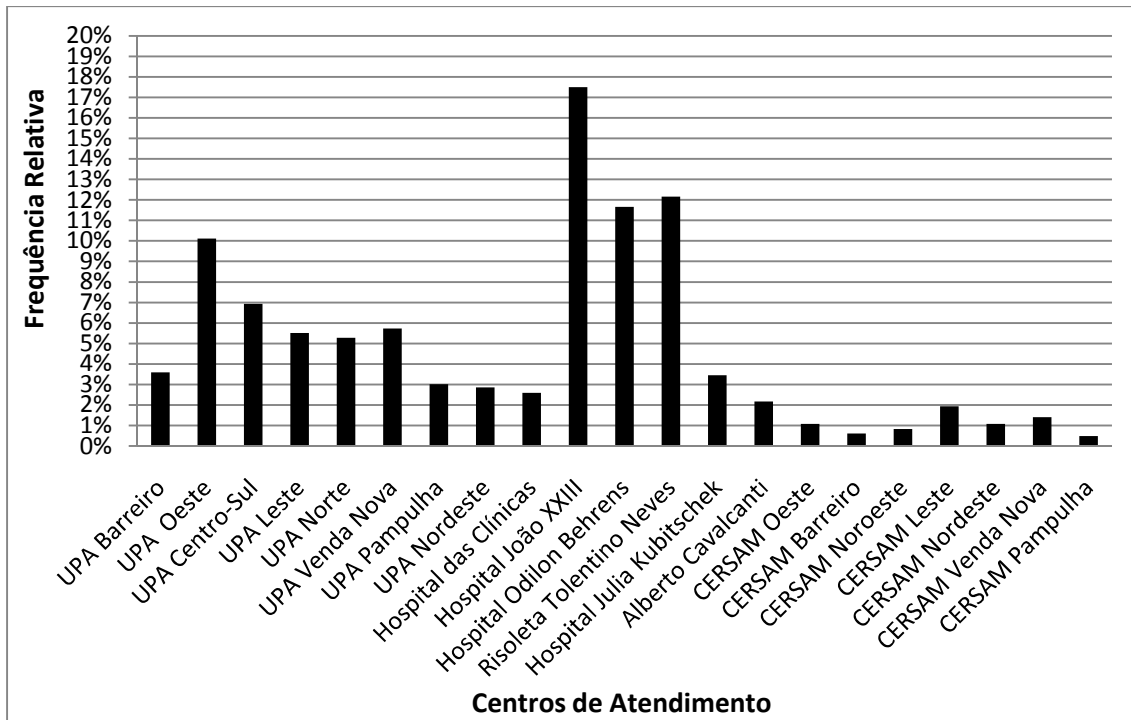


Figura 7.8: Frequência relativa da quantidade de atendimentos em cada centro

8. ANÁLISE DE CENÁRIOS

Os cenários simulados foram discutidos juntamente com os responsáveis pela gestão do sistema, de maneira que possam fornecer respostas e indicações de tendências frente a alterações na lógica de operação que sejam úteis para a tomada de decisão e até mesmo justificativa para futuros investimentos. Foram feitos 4 cenários, conforme apresentado na tabela 8.1. A motivação para cada um encontra detalhada na subseção correspondente.

Tabela 8.1: Descrição dos cenários analisados

Cenários	Descrição
Cenário 1	Aumento de demanda
Cenário 2	Reposição feita nos hospitais
Cenário 3	Mudança na localização da central de regulação
Cenário 4	Determinação do número e localização ótima das ambulâncias

8.1 CENÁRIO 1 – AUMENTO DE DEMANDA

O primeiro cenário busca avaliar o comportamento do sistema frente ao aumento na demanda pelos serviços. Sabemos que a demanda está diretamente relacionada com uma série de fatores: tamanho da população, conhecimento e acesso da população aos serviços de atendimento móveis de urgência, abrangência deste tipo de serviço, políticas de redução de acidentes (por exemplo, campanhas de educação no trânsito), dentre outros. Devido ao gráfico de demanda apresentado (figura 6.1) não indicar uma tendência clara relativo ao seu crescimento, buscou-se fazer a análise variando este aumento de 10 até 100%. Em cada figura a seguir, estão apresentados uma tabela com os valores da variável de resposta na coluna da direita e o aumento percentual da demanda na coluna da esquerda (o valor zero representa a situação atual de operação), bem como um gráfico representativo destes valores. Foram analisadas as variáveis tempo de resposta médio (figura 8.1), tempo de espera médio (figura 8.2), tamanho médio da fila de espera (figura 8.3) e tamanho máximo da fila de espera (figura 8.4). Os valores apresentados estão todos em minutos.

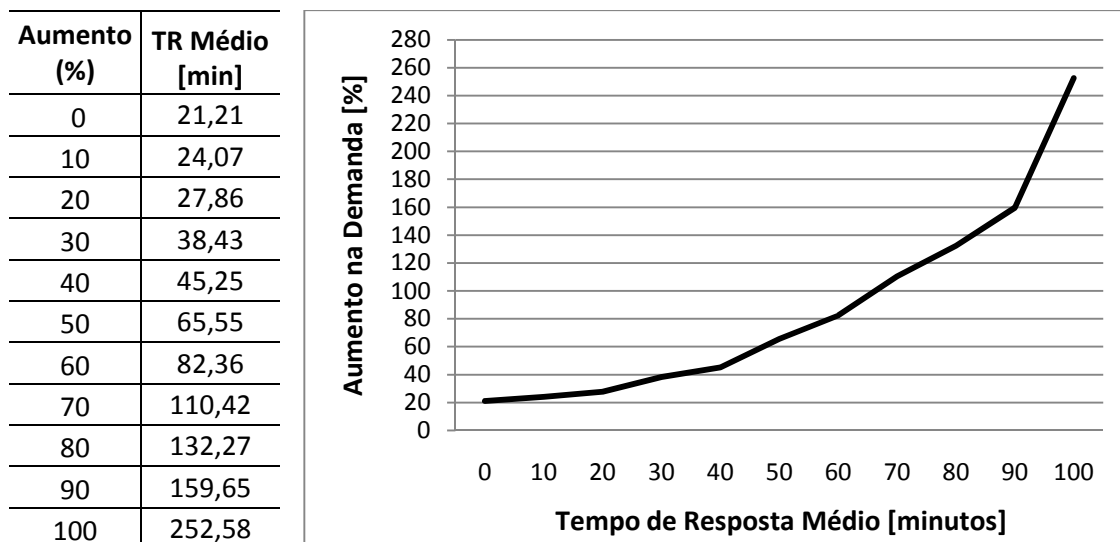


Figura 8.1: Variação do tempo de resposta médio com o aumento da demanda

O tempo de resposta médio sofre um leve crescimento até o aumento de 20% na demanda por serviços, quando então começa a crescer de maneira mais acentuada. Com o crescimento de 30%, o tempo de resposta médio aumenta em mais de 17 minutos, sendo que para 40% de aumento este valor mais do que dobra quando comparado ao cenário atual. Acima de 50% de aumento, o tempo de resposta médio ultrapassa a casa de uma hora, sendo que quando dobramos a demanda o valor encontrado fica próximo das quatro horas e meia. A variável de resposta analisada está diretamente relacionada com a capacidade de atendimento dentro da central de regulação bem como a relação entre quantidade de ocorrências e número de ambulâncias disponíveis. Mantendo este último constante e aumentando o primeiro, é evidente que devemos esperar um aumento no tempo de resposta médio do sistema como um todo. Estabelecidos os parâmetros de desempenho a serem atingidos, torna-se possível propor e simular cenários diferentes de operação de maneira a adaptar o funcionamento do sistema às novas exigências de demanda.

Uma outra variável utilizada para análise foi o tempo de espera médio, conforme apresentado na figura 8.2.

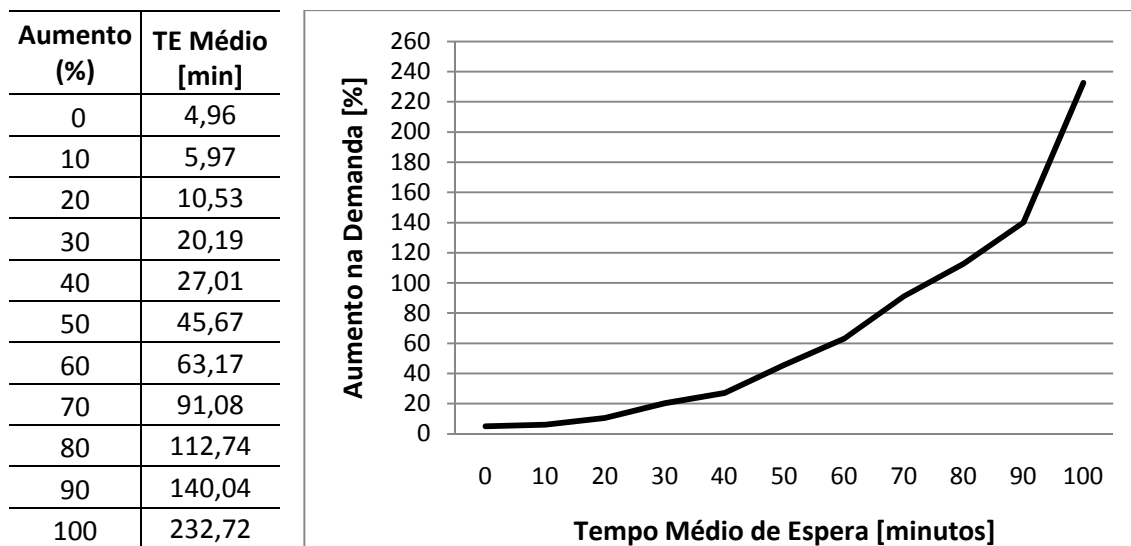


Figura 8.2: Variação do tempo de espera médio com o aumento da demanda

Pode-se observar uma tendência de crescimento parecida com aquela apresentada pelo tempo de resposta médio. O tempo de espera médio mais do que dobra com um aumento de 20% sobre a demanda, impactando no cálculo apresentado para o tempo de resposta médio. Para um aumento de 40%, a variável analisada já apresenta valores médios próximos de meia hora, totalmente incompatíveis com parâmetros de desempenho para este tipo de sistema. O tempo de espera está diretamente relacionado com a taxa de utilização das unidades de resgate, quanto mais tempo estiverem empenhadas, espera-se que maior seja também o tempo médio de espera de uma nova chamada no sistema.

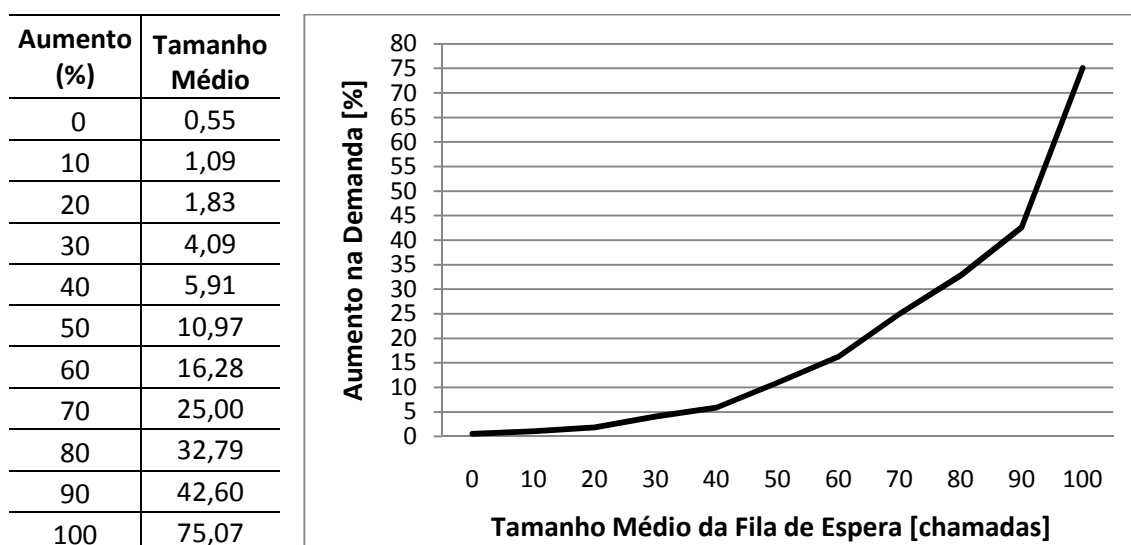


Figura 8.3: Variação do tamanho médio da fila de espera com o aumento da demanda

A figura 8.3 apresenta os valores encontrados para a variável tamanho médio da fila de espera. O tamanho de fila se refere à quantidade de chamadas que ficam na tela do despachante aguardando serem empenhadas à alguma ambulância. Esta variável pode ser um bom indicador da relação entre o desempenho das operações dentro da central de regulação e as operações envolvendo especificamente uma unidade móvel (operações fora da central de regulação). O cenário de aumento de 30% na demanda, indicando um tamanho médio de fila de 4,09, representa ou um sistema operando em condições limites durante as 24 horas de operação ou então um sistema bastante congestionado, não conseguindo cumprir com suas funções dentro de parâmetros de operação estabelecidos. Observa-se um crescimento mais acentuado à partir do aumento de 50% na demanda, com valores para a variável de resposta crescendo até chegar a condições insustentáveis de 16 até 75 chamadas em espera na média, para os casos de 60 e 100%, respectivamente.

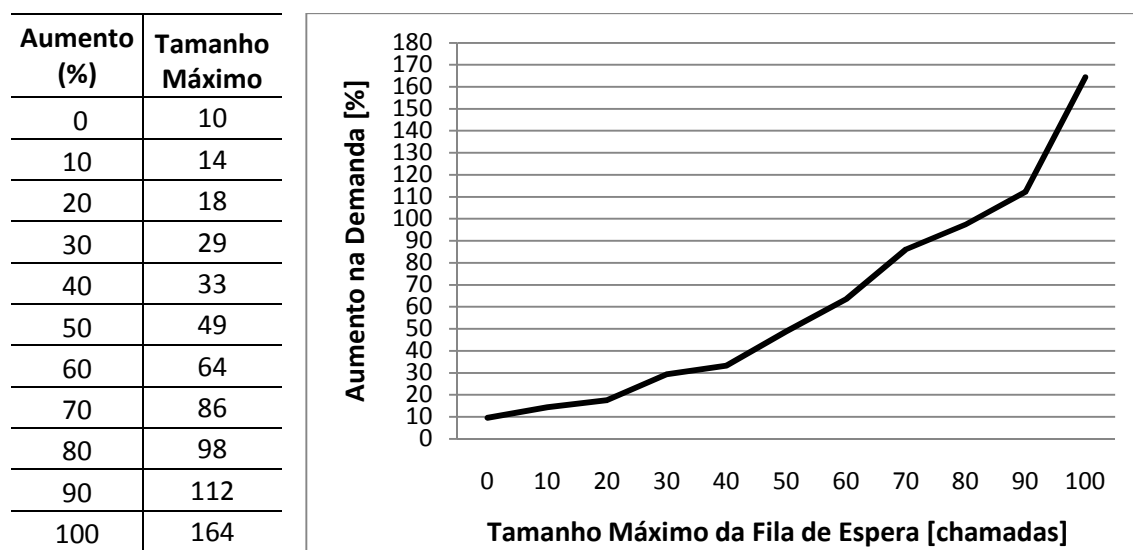


Figura 8.4: Variação do tamanho máximo da fila de espera com o aumento da demanda

Por último, estudou-se o comportamento do tamanho máximo da fila de espera, conforme apresentado na figura 8.4. Esta variável foi utilizada para aumentar o entendimento do comportamento do sistema e aumentar a confiança na definição da qualidade dos parâmetros de resposta estimados frente ao aumento da demanda. Pode acontecer de um valor médio para o tamanho da fila de espera ser considerado aceitável, mas estar mascarando valores máximos (ocorrendo por exemplo em horários de pico) que são insustentáveis para a operação regular do sistema. Um aumento de 30% na demanda resultou em um tamanho médio de fila de 4,09, podendo significar um sistema

operando no seu limite, mas ainda atendendo a algum critério de desempenho. Entretanto, para este aumento, o valor do tamanho máximo de fila é de 30 chamadas, sendo que para este caso o tempo de resposta pode chegar a valores na casa de três horas, apresentando indício forte quanto à inadequação da configuração do sistema para esta nova situação.

Quando se pensa em gerenciamento de recursos de um sistema de atendimento médico-emergencial não se pode esquecer que melhor qualidade em serviço, em geral, implica em maiores custos e investimentos. Independente da forma de financiamento da empresa que gerencia o sistema de atendimento (público, privado ou cooperativo), é desejável que os recursos (não apenas financeiros) sejam alocados da melhor forma possível. Cabe observar que este *trade-off* entre nível de serviço e custo não é exclusivo de sistemas médico-emergenciais (MENDONÇA e MORABITO, 2000).

O cenário analisado deixa clara a importância de uma análise de *trade-off* entre possíveis investimentos no sistema e o comportamento deste frente a um aumento na demanda por serviços, sendo analisado por parâmetros de desempenho conhecidos.

Algumas medidas de desempenho podem ser conflitantes em termos dos diferentes interesses das partes envolvidas na operação dos sistemas de atendimento emergencial. O tempo médio de resposta numa região, por exemplo, é uma medida de desempenho externa do sistema, que interessa principalmente ao usuário do sistema. Por outro lado, o balanço das cargas de trabalho dos servidores é uma medida de desempenho interna do sistema, que interessa particularmente aos operadores do sistema (IANNONI E MORABITO, 2008).

A perda de chamadas e o atraso no tempo de resposta estão diretamente relacionados ao conflito entre as variáveis aleatórias da demanda por serviço e as restrições de capacidade do sistema. Dado que, devido a restrições de orçamento, os serviços de atendimento emergencial não podem ser planejados de forma a trabalhar com um número muito grande de servidores, há claramente um importante *trade-off* a ser considerado entre a qualidade de atendimento e os custos de investimento e operação nestes sistemas. Ao se analisarem sistemas de atendimento emergencial, os fatores probabilísticos relacionados à distribuição temporal e espacial dos servidores e

chamadas devem ser considerados, dado que a operação destes sistemas é caracterizada por incertezas com relação à localização e tempo necessário para atender a um determinado chamado (IANNONI e MORABITO, 2006).

8.2 CENÁRIO 2 – REPOSIÇÃO FEITA NOS HOSPITAIS

Na literatura específica foi possível identificar trabalhos indicando melhorias nos tempos de atendimento decorrente de acordos firmados entre a gerência do serviço de atendimento móvel de urgência e os centros de atendimento utilizados, motivando assim a análise desta alternativa para o caso do Samu BH, que não conta com tal procedimento. Para construção e simulação deste cenário, foi considerada a reposição podendo ser feita em qualquer dos centros de atendimento, desde que a ambulância já esteja no centro realizando a entrega de algum paciente. Após a entrega, o modelo verifica a necessidade ou não de reposição, de acordo com o tempo decorrido da última vez em que a unidade repôs equipamento. Se acontecer de a necessidade por reposição não coincidir com o momento de entrega do paciente, a ambulância retorna para a central de regulação, independente de sua posição, não utilizando nenhum dos centros de atendimento considerados. O tempo de reposição permaneceu o mesmo, tanto para a central quando para os hospitais e unidades de pronto atendimento. Os resultados para a variável tempo de resposta médio estão apresentados na tabela 8.2 a seguir.

Tabela 8.2: Tempo de resposta médio para o cenário 2

TEMPO DE RESPOSTA CENÁRIO 2				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	3,85	19,40	64,53	9,46
2	4,39	21,12	71,25	10,87
3	4,01	21,93	74,35	10,95
4	4,62	19,95	69,81	10,06
5	4,47	20,38	77,27	9,90
6	3,73	21,44	77,68	11,78
7	4,28	20,57	68,21	10,38
8	3,97	19,11	66,92	8,80
9	4,76	20,07	65,98	9,36
10	3,66	20,18	77,87	10,31
Médias	4,17	20,42	71,39	

Tabela 8.3: Comparativo do tempo de resposta atual e cenário 2

TEMPO DE RESPOSTA MÉDIO			
	Atual	Cenário 2	Diferença
1	21,23	19,40	1,83
2	20,66	21,12	-0,46
3	21,43	21,93	-0,51
4	20,29	19,95	0,34
5	20,64	20,38	0,26
6	21,09	21,44	-0,35
7	21,91	20,57	1,34
8	20,64	19,11	1,52
9	21,78	20,07	1,71
10	22,48	20,18	2,30
Médias	21,21	20,42	0,80

Para análise comparativa entre a alternativa de reposição nos hospitais e a situação atual de operação, utilizou-se o teste *Intervalo de Confiança para a Diferença das Médias com Amostras Pareadas* (Freitas Filho, 2008) sobre os valores de tempo de resposta médio.

Neste caso, as amostras devem ser do mesmo tamanho e deve existir correspondência entre o resultado do *i-ésimo* teste no primeiro cenário e o *i-ésimo* teste no cenário 2. Outra premissa básica para a aplicação desse teste, é que os valores obtidos para cada amostra sejam independentes entre si. Como no caso as replicações realizadas são independentes, esse pressuposto está satisfeito (FREITAS FILHO, 2008).

Para cada uma das replicações, as sementes dos geradores de números aleatórios são alteradas enquanto que o estado inicial do sistema permanece sempre o mesmo. Dessa forma, é possível garantir que os valores gerados por cada uma das replicações sejam independentes.

O teste consiste na construção do intervalo de confiança para as diferenças dos valores médios da variável de resposta em cada replicação e na análise dos valores limites deste intervalo (tabela 8.3).

De acordo com Chwif e Medina (2007), considerando um intervalo de confiança $[\theta_1, \theta_2]$ para a média das diferenças, temos que:

- se $\theta_1 < 0$ e $\theta_2 > 0$, então nada pode ser concluído sobre a diferença entre as médias das alternativas;
- se $\theta_1 > 0$ e $\theta_2 > 0$, então a média do cenário 1 é maior;
- $\theta_1 < 0$ e $\theta_2 < 0$, então a média da alternativa 2 é maior.

Para o caso do cenário 2, a média das diferenças é igual a 0,8 com desvio padrão de 1,058. Para construção do intervalo de confiança para as diferenças dos valores médios, utilizou-se um nível de confiança de 95%, resultando em um valor de 2.26 para a estatística teste t , com $n = 10$ replicações e $\alpha = 0,05$.

I.C. = [0.04 ; 1.55]

Como o intervalo calculado não possui o valor zero e seus extremos são positivos, podemos afirmar com 95% de confiança que o tempo de resposta médio para o cenário 2 é menor do que o tempo de resposta médio atual do sistema, como era previsto. Como houve uma diminuição no tempo de deslocamento para reposição, as ambulâncias ficam indisponíveis menos tempo (somente nos casos em que ocorre a reposição), diminuindo o tempo de espera das chamadas e conseqüentemente o tempo de resposta.

A tabela 8.4 apresenta um comparativo do tempo total gasto com deslocamentos para reposição, tanto no caso atual quanto para o cenário 2. O tempo se refere a todas as ambulâncias e está discretizado por replicação. O tempo total médio gasto é aproximadamente oito vezes maior no caso da reposição ser feita somente na central, sendo que para o cenário 2, em média apenas 9.98% das reposições feitas necessitaram deslocamento para a central de regulação.

Tabela 8.4: Tempo total de deslocamento para reposição (cenário 2)

Tempo de Deslocamento Total para Reposição [min]		
	Atual	Cenário 2
1	2.502,51	361,17
2	2.859,48	245,22
3	2.472,38	244,53
4	2.748,38	325,78
5	2.375,83	336,66
6	2.844,94	250,45
7	2.791,34	350,95
8	2.733,68	256,79
9	2.526,98	426,91
10	2.583,03	424,73
Média	2.643,85	322,32

Apesar das simplificações assumidas, como por exemplo a disponibilidade de todos os centros de atendimento fazerem reposição e o tempo ser identicamente distribuído quando comparado com aquele praticado na central, o cenário simulado indica uma provável redução no tempo de resposta médio do sistema à partir de uma modificação operacional justificável e de relativa facilidade de condução e implementação.

8.3 CENÁRIO 3 – NOVA CENTRAL DE REGULAÇÃO

Uma nova central de regulação para abrigar o sede do Samu de Belo Horizonte está sendo construída, com previsão para início das operações no segundo semestre de 2010. O objetivo é melhorar as condições atuais de operação, uma vez que a sede vigente possui espaço bastante limitado. A nova central está localizada na regional Noroeste não muito distante da central atual (regional Centro Sul), a uma distância de 6,087 quilômetros em linha reta. Para a simulação deste cenário, a única alteração foi na localização da central, mantendo-se constante a distribuição e quantidade de ambulâncias bem como a necessidade de reposição exclusiva na central. À primeira vista, supõe-se que a mudança não causará impacto no tempo de resposta médio, de maneira que possamos afirmar estatisticamente que um seja menor do que o outro. Tal intuição é justificada pelo pequeno deslocamento da central e na manutenção de todos os demais processos e tempos constantes. As tabelas 8.5 a 8.8 apresentam os valores e distribuição do tempo de espera em fila e tempo de resposta médio, respectivamente, para o cenário 3.

Como previsto, podemos observar que os valores médios ficam bastante próximos daqueles do cenário atual, bem como os valores extremos e desvio padrão. A distribuição destes valores (figuras 8.5 e 8.6) são também bastante semelhantes às encontradas anteriormente, indicando que o padrão dos tempos de desempenho do sistema se mantiveram aproximadamente constantes, visto que a única mudança foi no posicionamento da central de regulação para uma região não distante da central atual.

Tabela 8.5: Tempo de espera em minutos para o cenário 3

TEMPO DE ESPERA [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	0,49	4,54	51,47	6,28
2	0,46	4,04	45,46	5,84
3	0,48	5,48	56,49	7,86
4	0,47	5,07	69,92	7,76
5	0,43	5,27	42,22	7,01
6	0,48	5,52	55,32	7,27
7	0,48	4,09	43,94	7,27
8	0,49	5,38	95,39	7,54
9	0,48	5,39	69,13	7,67
10	0,52	4,00	47,47	5,78
Médias	0,48	4,88	57,68	

Tabela 8.6: Distribuição do tempo de espera em minutos para o cenário 3

TEMPO DE ESPERA			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	12.203	73,30%	73,30%
5 - 10	1.792	10,76%	84,07%
10 - 20	1.813	10,89%	94,96%
20 - 30	601	3,61%	98,57%
30 - 40	177	1,06%	99,63%
> 40	61	0,37%	100,00%
Total	16.647	100,00%	

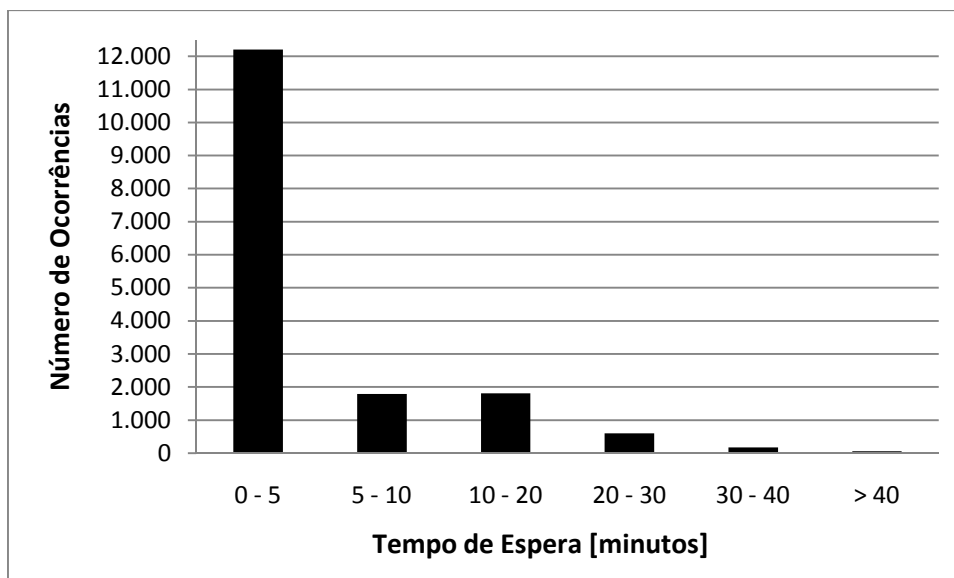


Figura 8.5: Histograma do tempo de espera para o cenário 3

Tabela 8.7: Tempo de resposta em minutos para o cenário 3

TEMPO DE RESPOSTA [minutos]				
	Mínimo	Médio	Máximo	DP
1	4,30	20,73	71,51	10,56
2	3,95	19,49	60,93	9,42
3	4,08	21,78	82,10	11,30
4	4,46	21,19	96,63	12,05
5	4,44	21,64	72,40	11,15
6	4,11	21,83	71,89	11,19
7	4,33	19,79	72,54	10,00
8	4,54	21,72	109,91	11,34
9	3,87	21,93	75,20	11,61
10	5,12	19,98	87,37	10,09
Médias	4,32	21,01	80,05	

Tabela 8.8: Distribuição do tempo de resposta em minutos para o cenário 3

TEMPO DE RESPOSTA			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	35	0,21%	0,21%
5 - 10	1.962	11,79%	12,00%
10 - 20	7.163	43,03%	55,02%
20 - 30	4.650	27,93%	82,96%
30 - 40	1.716	10,31%	93,27%
> 40	1.121	6,73%	100,00%
Total	16.647	100,00%	

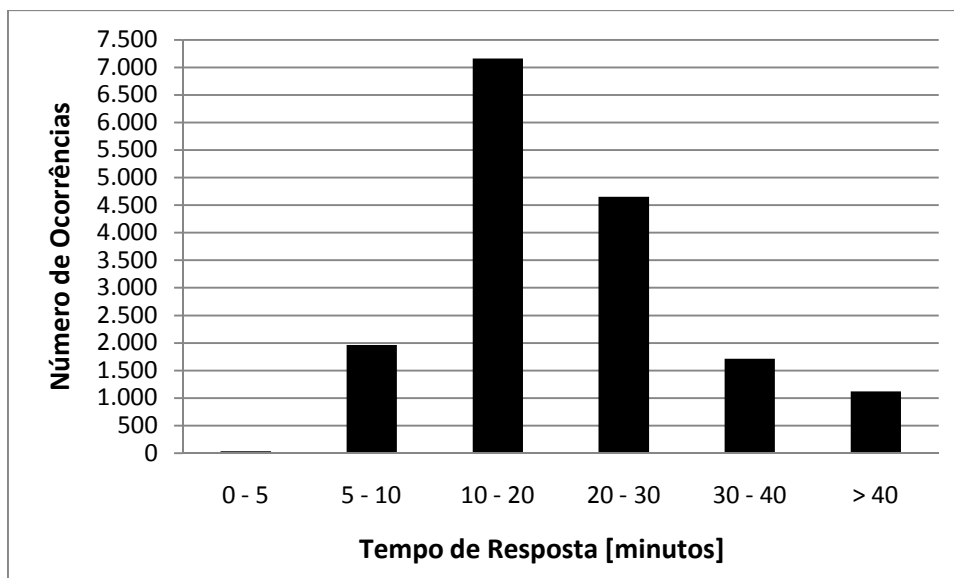


Figura 8.6: Histograma do tempo de resposta para o cenário 3

O mesmo teste *Intervalo de Confiança para a Diferença das Médias com Amostras Pareadas* descrito anteriormente foi utilizado para analisar diferenças estatísticas nos valores médios para cada uma das variáveis de resposta analisadas quando comparadas com o cenário atual de operação. As tabelas 8.9 e 8.10 apresentam os resultados encontrados.

Tabela 8.9: Diferenças para o tempo de espera médio entre cenário atual e cenário 3

TEMPO DE ESPERA MÉDIO			
	Atual	Cenário 3	Diferença
1	4,63	4,54	0,09
2	4,44	4,04	0,40
3	5,11	5,48	-0,37
4	4,24	5,07	-0,83
5	4,46	5,27	-0,81
6	5,26	5,52	-0,26
7	5,54	4,09	1,45
8	4,42	5,38	-0,95
9	5,33	5,39	-0,06
10	6,21	4,00	2,20
Média	4,96	4,88	0,09

A média das diferenças para o tempo de espera é igual a 0,09 com desvio padrão de 1,028. Para construção do intervalo de confiança, utilizou-se um nível de confiança de 95%, valor de 2.26 para a estatística teste t , com $n = 10$ replicações e $\alpha = 0,05$.

$$\text{I.C.} = [-0.65 ; 0.82]$$

O intervalo de confiança construído contém o valor zero, indicando que nada pode ser concluído sobre a diferença entre as médias das alternativas, podendo ser iguais ou diferentes, da mesma maneira que para o tempo de resposta médio, conforme apresentado a seguir.

Tabela 8.10: Diferenças para o tempo de resposta médio entre cenário atual e cenário 3

TEMPO DE RESPOSTA MÉDIO			
	Atual	Cenário 3	Diferença
1	21,23	20,73	0,50
2	20,66	19,49	1,17
3	21,43	21,78	-0,35
4	20,29	21,19	-0,90
5	20,64	21,64	-1,00
6	21,09	21,83	-0,75
7	21,91	19,79	2,12
8	20,64	21,72	-1,08
9	21,78	21,93	-0,15
10	22,48	19,98	2,50
Média	21,21	21,01	0,21

A média das diferenças para o tempo de resposta é igual a 0,21 com desvio padrão de 1,317. Para um nível de confiança de 95%, valor de 2.26 para a estatística teste t , com $n = 10$ replicações e $\alpha = 0,05$, temos:

$$\text{I.C.} = [-0.74 ; 1.15]$$

8.4 CENÁRIO 4 – OTIMIZAÇÃO DO NÚMERO E LOCALIZAÇÃO DAS AMBULÂNCIAS

O campo de pesquisa na área de otimização para simulação tem como foco o uso da simulação para projeto e otimização de sistemas. O uso da simulação para estimativa da performance de um sistema geralmente requer um tempo computacional elevado, sendo que a determinação da configuração ótima é um problema difícil de tratar devido à necessidade de avaliar a performance do sistema para diferentes configurações.

O problema de simulação para otimização é um problema de otimização onde a função objetivo, restrições ou ambas são respostas que somente podem ser avaliadas através da simulação computacional. Desta maneira, estas funções são apenas funções implícitas de parâmetros de decisão do sistema (AZADIVAR, 1992).

Uma vez definido o problema de otimização (por meio da seleção de controles, objetivo e restrições), o simulador é chamado cada vez que um conjunto diferente de parâmetros de controle precisa ser avaliado. O método de otimização utilizado avalia as respostas a partir da rodada de simulação atual, analisa e relaciona com as respostas de simulações anteriores e determina um novo conjunto de valores para os controles. Este é um processo iterativo que gera, sucessivamente, novos conjuntos de valores para os controles (figura 8.7), nem todos resultando em soluções melhores, mas que ao longo do tempo converge para soluções próximas do valor ótimo. O processo continua até que algum critério de encerramento seja satisfeito.

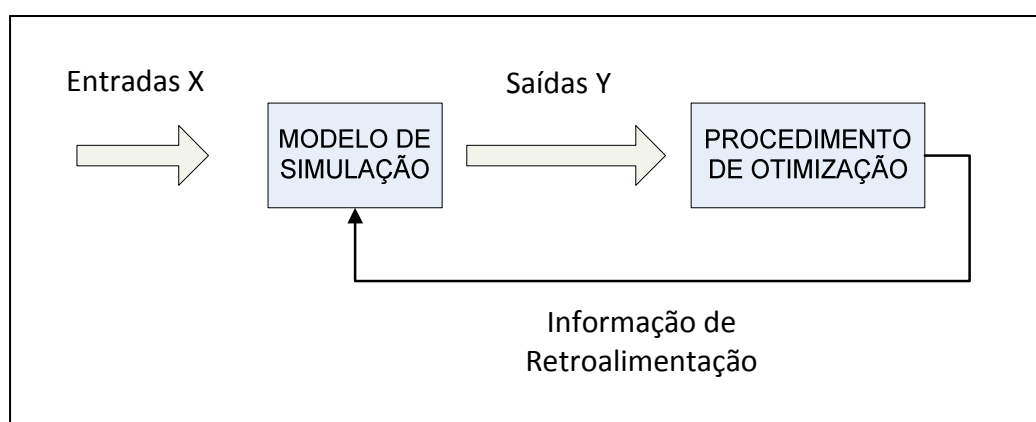


Figura 8.7: Representação básica do processo de otimização baseada em simulação
Retirado de Chwif e Medina (2007)

O critério de parada utilizado pelo *OptQuest* (otimizador do Arena) é automático, sendo baseado em um nível de tolerância que define o critério para determinar quando duas soluções são consideradas iguais. O otimizador para automaticamente quando não há nenhuma melhora na solução ótima corrente após 1000 simulações consecutivas, baseando-se no valor de tolerância utilizado. Para o caso dos cenários de otimização e simulação, foi utilizado o valor padrão do Arena de 0,0001 para a tolerância.

Para o processo de busca das soluções candidatas, o *OptQuest* utiliza uma implementação da metaheurística *Scatter Search* (busca por dispersão).

A busca por dispersão é um método evolutivo (baseado em populações) que é muito efetivo na solução de diversos problemas de otimização discreta, por exemplo na solução do problema de ordenação linear, na otimização global de funções multimodais e na solução de problemas de roteamento de veículos com janelas de tempo. Essa meta-

heurística combina soluções pertencentes a um conjunto denominado *conjunto de referência*, com o intuito de capturar informação não contida nas soluções originais. O conjunto de referência guarda “boas” soluções encontradas durante o processo de busca. Cabe destacar que o significado de “boa” não se restringe apenas à qualidade da solução, mas também a sua diversidade em relação a outras soluções deste conjunto (SOSA *et al.*, 2007).

Os cenários analisados buscaram identificar o número ideal de ambulâncias de cada tipo a serem alocadas em cada base (foram consideradas as 20 bases atuais de operação), de maneira a minimizar o custo total (ver tabela IV.1 – Anexo IV) restrito a um tempo de resposta médio pré-determinado. Todos os tempos de operação descritos foram mantidos e partiu-se da suposição que qualquer uma das bases está apta para abrigar qualquer tipo de ambulância. Para cada base foi considerado um *range* variando de nenhuma até 3 ambulâncias no total, para cada tipo. Como o número de cenários é extremamente elevado, utilizou-se o critério de parada automático do otimizador para determinação da melhor solução. Os métodos heurísticos de solução utilizam técnicas específicas para geração de uma solução ótima local que se aproxime de maneira satisfatória do ótimo global do problema, dentro de um critério de aceitação pré-estabelecido, garantindo a qualidade da melhor solução gerada. Os tempos de resposta médio foram calculados de maneira independente para as unidades básicas e avançadas, de maneira que o otimizador não subestime o número de unidades avançadas buscando reduzir o valor da função objetivo, uma vez que este tipo de unidade é mais dispendiosa. Além disso, a modelagem desta maneira permite que os critérios de resposta sejam diferentes para cada tipo de ambulância, de acordo com interesses dos gestores do sistema. Os resultados apresentados a seguir levam em conta somente as unidades básicas e avançadas, não houve variação na quantidade de unidades da ambulância de saúde mental. Devido ao grande número de cenários, optou-se por fazer as simulações com 3 replicações de 7 dias cada. O problema de otimização pode ser formulado como apresentado a seguir, de acordo com metodologia proposta no trabalho de Fu (2000).

$$\underset{\theta \in \Theta}{\text{Min}} J(\theta) = E[C(\theta, \omega)]$$

onde θ representa o vetor de variáveis de entrada, neste caso representado pelo conjunto de bases para alocação e a quantidade de ambulâncias de cada tipo em cada base; $J(\theta)$

representa a função objetivo, ω representa a replicação, $C(\theta, \omega)$ representa a medida de desempenho (neste caso o custo total) da alternativa θ na replicação ω e $E[C(\theta, \omega)]$ é o valor esperado de $C(\theta, \omega)$. As restrições são:

$$\begin{aligned} R^a(\theta, \omega) &\leq RT^a \\ R^b(\theta, \omega) &\leq RT^b \\ N_i^a(\theta, \omega) &\leq NALS && \forall i \\ N_i^b(\theta, \omega) &\leq NBLS && \forall i \end{aligned}$$

onde $R^a(\theta, \omega)$ e $R^b(\theta, \omega)$ são os tempos de resposta para a configuração θ na replicação ω para unidades básicas e avançadas, respectivamente; $N_i^a(\theta, \omega)$ e $N_i^b(\theta, \omega)$ são a quantidade de unidades básicas e avançadas alocadas em casa base i na configuração θ e replicação ω ; RT^a e RT^b são limites superiores para os tempos de resposta das unidades avançadas e básicas; $NALS$ e $NBLS$ são os limites superiores para o total de unidades em cada base.

Importante mencionar que os resultados encontrados não devem ser considerados definitivos nem livres de aprimoramentos, não só pelas simplificações e considerações feitas para modelagem do serviço de atendimento de urgência, mas também pelas suas particularidades, pelas diversas partes interessadas responsáveis pelo processo de gestão e tomada de decisões e pelo fato de mudanças no posicionamento e quantidade de unidades poderem acarretar alterações em outros parâmetros de funcionamento do sistema. Os resultados devem ser encarados como indicadores de possíveis mudanças a serem feitas na localização e quantidade de ambulâncias frente a alterações nos parâmetros de desempenho do serviço, além de indicar uma estimativa da capacidade de atendimento do sistema considerando restrições que resultem em tempos de resposta menores.

Todos os cenários foram rodados em um computador com processador AMD Athlon 64 X2 Dual Core Processor com 2.70 GHz de velocidade e 2.00 GB de memória RAM.

Os cenários simulados estão apresentados a seguir (a motivação para cada cenário está explicitada dentro do subitem correspondente):

Cenário 8.4.1 – Otimização com tempo de resposta médio ≤ 20 minutos para os dois tipos de ambulância;

Cenário 8.4.2 – Otimização com tempo de resposta médio ≤ 18 minutos para as ambulâncias USB e ≤ 15 minutos para as ambulâncias USA;

Cenário 8.4.3 – Otimização com tempo de resposta médio ≤ 15 minutos para os dois tipos de ambulância;

Cenário 8.4.4 – Otimização com tempo de resposta médio ≤ 10 minutos para os dois tipos de ambulância.

8.4.1 Tempo de Resposta Médio ≤ 20 minutos

Como o tempo de resposta médio encontrado para validação do modelo foi de 21,21 minutos, o cenário 8.4.1 utilizou como restrição um tempo de resposta médio menor ou igual a 20 minutos para os dois tipos de ambulância, de maneira a identificar se existe um melhor posicionamento das unidades atuais utilizando das vinte bases existentes que poderia resultar em um menor tempo de resposta. A melhor configuração encontrada para este cenário está apresentada a seguir.

Número de ambulâncias USB = 18

Número de ambulâncias USA = 5

Total de Ambulâncias = 23

Custo Total Mensal USB = R\$ 417.780

Custo Total Mensal USA = R\$ 174.075

Custo Total Mensal = R\$ 591.855

Tempo de Resposta Médio USB = 19.57

Tempo de Resposta Médio USA = 19.07

Pode-se observar que este cenário apresenta uma unidade básica adicional quando comparado com o cenário atual de operação. A localização de cada unidade está discretizada na tabela 8.11. O modelo utilizou três bases com um total de três ambulâncias, sendo que a base 18 apresentou um total de 5 unidades (três básicas e duas avançadas). Tal ocorrência pode significar um possível ganho de desempenho ao se concentrar mais unidades em algumas das bases ou então indícios de que a localização atual das bases poderia ser repensada.

Tabela 8.11: Configuração para o cenário 8.4.1

Base	USB	USA	Total
1	-	-	0
2	-	1	1
3	1	-	1
4	-	-	0
5	-	1	1
6	-	-	0
7	2	-	2
8	2	1	3
9	1	-	1
10	-	-	0
11	1	-	1
12	3	-	3
13	-	-	0
14	1	-	1
15	-	-	0
16	1	-	1
17	-	-	0
18	3	2	5
19	3	-	3
20	-	-	0
Total	18	5	23

A distribuição dos tempos de resposta para cada tipo de unidade apresenta tendências semelhantes às encontradas no cenário atual de operação, conforme apresentado nas tabelas 8.12 e 8.13 e nas figuras 8.8 e 8.9 a seguir.

Tabela 8.12: Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.1

TEMPO DE RESPOSTA USB			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	19	0,12%	0,12%
5 - 10	1.683	10,89%	11,01%
10 - 20	6.855	44,36%	55,38%
20 - 30	4.647	30,07%	85,45%
30 - 40	1.640	10,61%	96,07%
> 40	608	3,93%	100,00%
Total	15.452	100,00%	

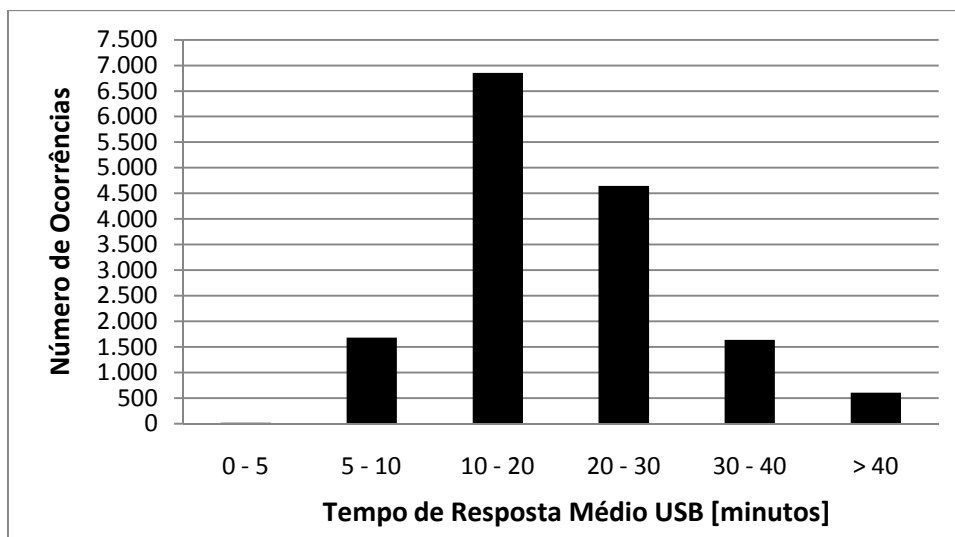


Figura 8.8: Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.1

Tabela 8.13: Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.1

TEMPO DE RESPOSTA USA			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	0	0,00%	0,00%
5 - 10	55	7,31%	7,31%
10 - 20	273	36,30%	43,62%
20 - 30	234	31,12%	74,73%
30 - 40	108	14,36%	89,10%
> 40	82	10,90%	100,00%
Total	752	100,00%	

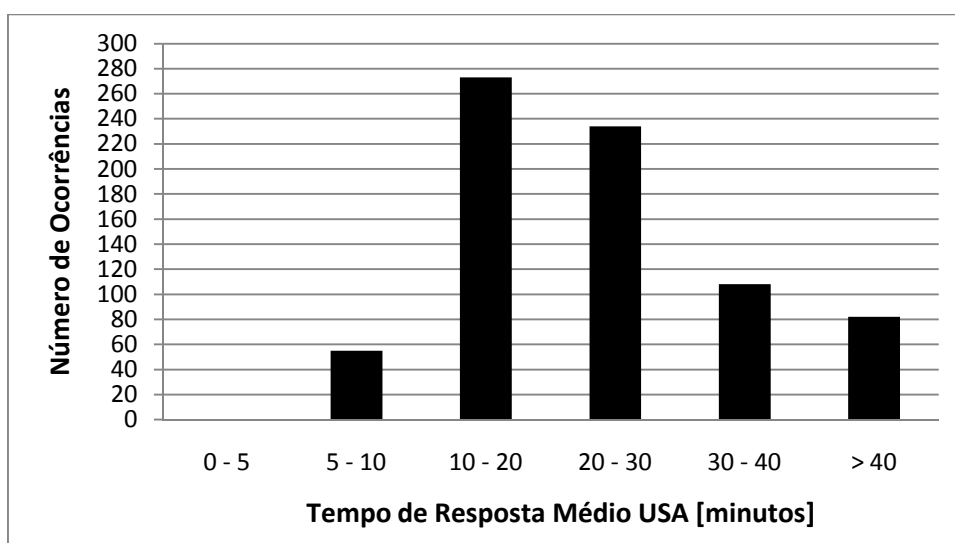


Figura 8.9: Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.1

8.4.2 Tempo de Resposta Médio ≤ 18 minutos para USB e Tempo de Resposta Médio ≤ 15 minutos para USA

Para a gerência do Samu, um tempo de atendimento considerado aceitável e de boa qualidade para as unidades básicas e avançadas é aquele utilizado para o cenário 8.4.2. Os resultados estão apresentados a seguir.

Número de ambulâncias USB = 20

Número de ambulâncias USA = 8

Total de Ambulâncias = 28

Custo Total Mensal USB = R\$ 464.200

Custo Total Mensal USA = R\$ 278.520

Custo Total Mensal = R\$ 742.720

Tempo de Resposta Médio USB = 17.97

Tempo de Resposta Médio USA = 14.77

Houve um aumento de 3 unidades básicas e de 3 unidades avançadas quando comparado com a configuração atual do Samu, resultando em um gasto adicional mensal estimado de R\$ 174.075. Os tempos de resposta médio para os dois tipos de unidade ficaram bastante próximos dos limites impostos. O posicionamento das unidades para esta configuração está apresentado na tabela 8.14.

Novamente houve uma concentração maior de ambulâncias em cada base quando comparado com o cenário atual, sendo quatro bases com três ambulâncias cada. Algumas das bases não foram utilizadas (quatro), novamente indicando que um reposicionamento das bases ao longo da cidade poderia resultar em diminuição no tempo de resposta sem aumento considerável da quantidade de unidades.

Tabela 8.14: Configuração para o cenário 8.4.2

Base	USB	USA	Total
1	1	-	1
2	-	1	1
3	-	1	1
4	-	1	1
5	1	1	2
6	-	-	0
7	3	-	3
8	1	-	1
9	-	-	0
10	-	-	0
11	2	1	3
12	1	-	1
13	1	-	1
14	3	-	3
15	1	1	2
16	3	-	3
17	1	-	1
18	-	2	2
19	-	-	0
20	2	-	2
Total	20	8	28

A distribuição do tempo de resposta para as unidades básicas e avançadas está apresentada nas tabelas 8.15 e 8.16 e figuras 8.10 e 8.11 a seguir. Como era de se esperar, aumentou-se a frequência relativa das ocorrências com tempos menores que 20 minutos e diminuiu-se a frequência relativa das ocorrências com tempos maiores de 20 minutos. Esta tendência é ainda mais acentuada para o caso das unidades avançadas, quando comparamos com a tabela 8.13 do cenário anterior.

Tabela 8.15: Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.2

TEMPO DE RESPOSTA USB			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	35	0,23%	0,23%
5 - 10	2.141	13,95%	14,17%
10 - 20	8.105	52,80%	66,97%
20 - 30	3.777	24,60%	91,58%
30 - 40	978	6,37%	97,95%
> 40	315	2,05%	100,00%
Total	15.351	100,00%	

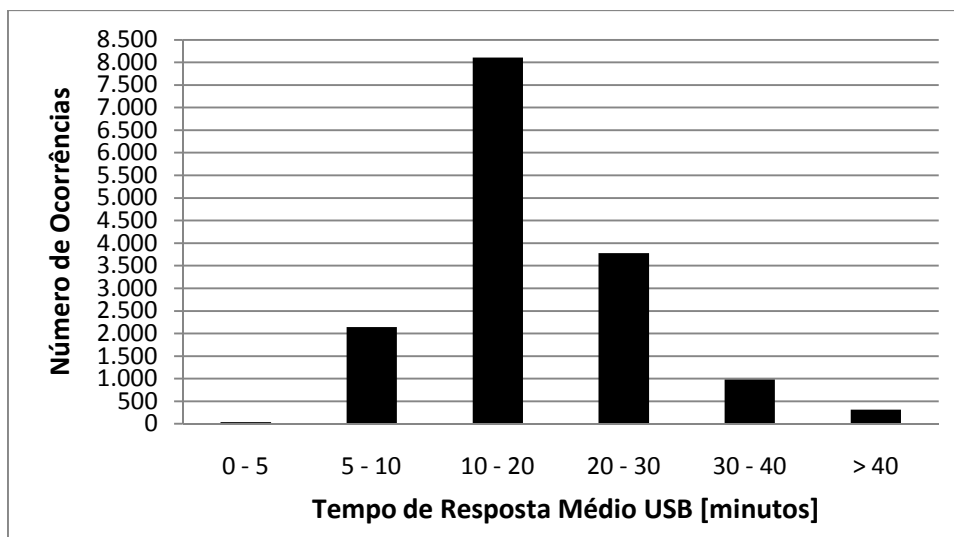


Figura 8.10: Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.2

Tabela 8.16: Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.2

TEMPO DE RESPOSTA USA			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	2	0,24%	0,24%
5 - 10	113	13,47%	13,71%
10 - 20	510	60,79%	74,49%
20 - 30	180	21,45%	95,95%
30 - 40	32	3,81%	99,76%
> 40	2	0,24%	100,00%
Total	839	100,00%	

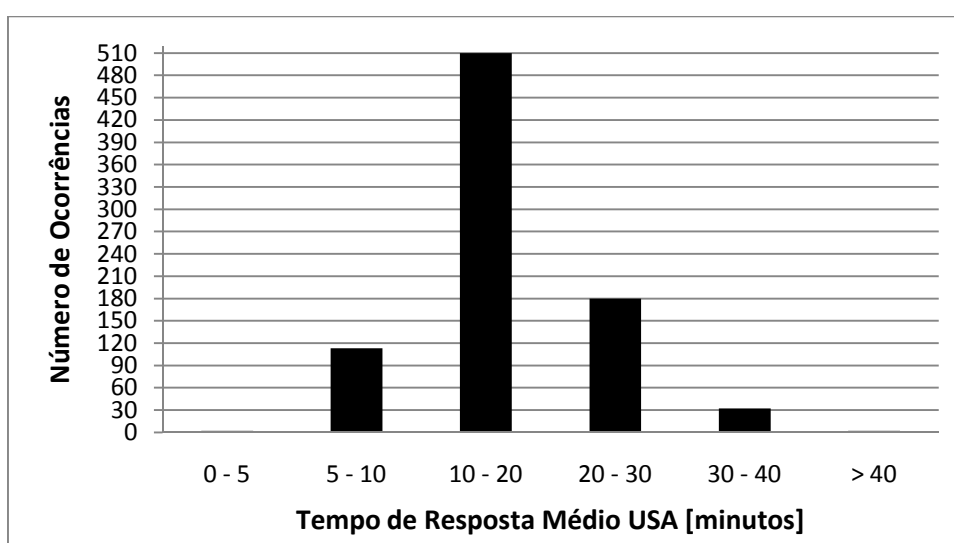


Figura 8.11: Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.2

8.4.3 Tempo de Resposta Médio ≤ 15 minutos

Para o cenário 8.4.3, procurou-se restringir o tempo de resposta das unidades básicas para o mesmo padrão de 15 minutos das unidades avançadas discutido na seção anterior. A motivação para este cenário é forçar uma situação que possa indicar uma possível tendência de concentração de unidades em alguma região ou até mesmo indicar a necessidade de reposicionamento das bases frente a critérios mais rígidos de desempenho.

Número de ambulâncias USB = 24

Número de ambulâncias USA = 8

Total de Ambulâncias = 32

Custo Total Mensal USB = R\$ 557.040

Custo Total Mensal USA = R\$ 278.520

Custo Total Mensal = R\$ 835.560

Tempo de Resposta Médio USB = 14.95

Tempo de Resposta Médio USA = 14.95

Houve um aumento de 7 unidades básicas e de 3 unidades avançadas quando comparado com a configuração atual do Samu, resultando em um gasto adicional mensal estimado de R\$ 266.915. Os tempos de resposta médio para os dois tipos de unidade ficaram novamente bastante próximos dos limites impostos. O posicionamento das unidades para esta configuração está apresentado na tabela 8.17.

Uma unidade avançada adicional foi colocada nas regiões do Barreiro e Noroeste, que antes não possuíam, sendo que o dobro de regionais foram contempladas com uma USA quando comparado com o cenário atual. Para as unidades básicas, as bases 2, 9 e 10 deixaram de ser utilizadas e aumentou-se o número de unidades nas regiões da Pampulha, Norte e Barreiro, sendo que as duas primeiras só possuem uma unidade básica atualmente, passando para três e duas, respectivamente.

Tabela 8.17: Configuração para o cenário 8.4.3

Base	USB	USA	Total
1	1	-	1
2	-	-	0
3	2	1	3
4	-	-	0
5	1	1	2
6	1	-	1
7	1	1	2
8	3	-	3
9	-	1	1
10	-	-	0
11	2	-	2
12	2	-	2
13	1	-	1
14	2	-	2
15	2	1	3
16	2	-	2
17	1	1	2
18	1	1	2
19	1	-	1
20	1	1	2
Total	24	8	32

A distribuição dos tempos de resposta apresentou um aumento considerável nas faixas de valores menores que 20 minutos, com tendência inversa para valores maiores que vinte (tabelas 8.18 e 8.19 e figuras 8.12 e 8.13). Como o tempo de resposta médio foi reduzido, esta tendência já era esperada.

Tabela 8.18: Distribuição do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.3

TEMPO DE RESPOSTA USB			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	55	0,35%	0,35%
5 - 10	2.998	19,33%	19,69%
10 - 20	9.222	59,46%	79,15%
20 - 30	2.872	18,52%	97,67%
30 - 40	298	1,92%	99,59%
> 40	64	0,41%	100,00%
Total	15.509	100,00%	

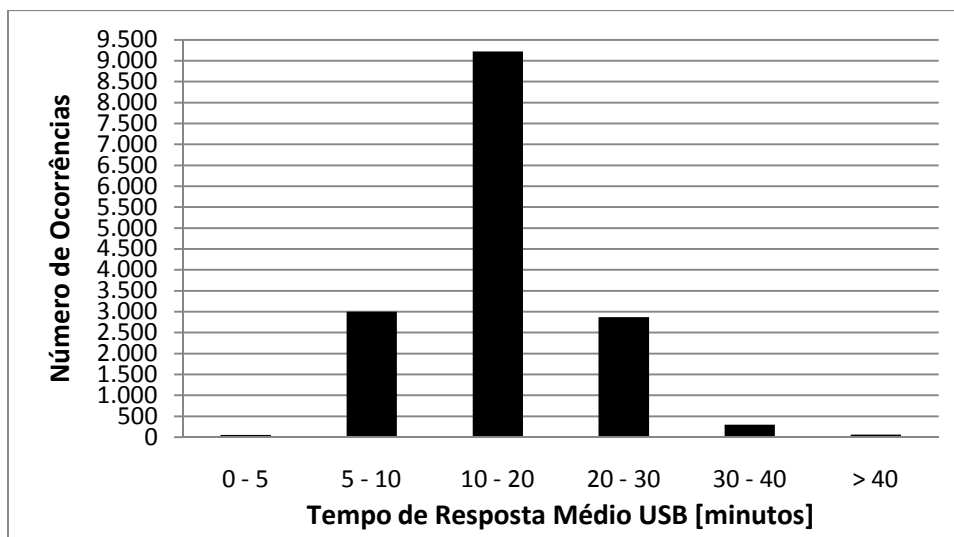


Figura 8.12: Histograma do tempo de resposta médio das USB's para o cenário 8.4.3

Tabela 8.19: Distribuição do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.3

TEMPO DE RESPOSTA USA			
Valores	Número de Ocorrências	Frequência Relativa	Frequência Acumulada
0 - 5	6	0,82%	0,82%
5 - 10	120	16,30%	17,12%
10 - 20	463	62,91%	80,03%
20 - 30	127	17,26%	97,28%
30 - 40	20	2,72%	100,00%
> 40	0	0,00%	100,00%
Total	736	100,00%	

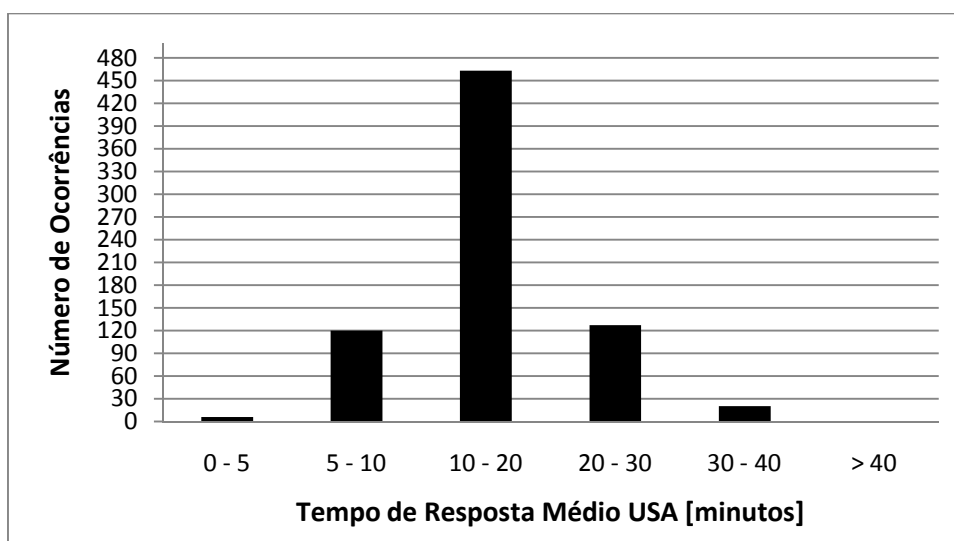


Figura 8.13: Histograma do tempo de resposta médio das USA's para o cenário 8.4.3

8.4.4 Tempo de Resposta Médio ≤ 10 minutos

O cenário 8.4.4 procurou forçar a restrição de tempo de resposta médio de maneira a indicar a necessidade de grandes mudanças no sistema caso sejam estipulados parâmetros de desempenho mais rigorosos. Para um tempo de resposta médio menor ou igual a 10 minutos para os dois tipos de unidades, o otimizador não encontrou solução viável, considerando um número máximo de 3 unidades em cada base para cada tipo.

Analisando os resultados apresentados até o momento (seções 8.4.1 até 8.4.3), podemos observar que existe uma tendência de acúmulo de unidades em determinadas bases. No cenário atual as 20 bases de operação possuem pelo menos uma ambulância alocada. No cenário apresentado na seção 8.1.4 (tempo de resposta médio ≤ 20 minutos), temos um total de oito bases onde não foram alocadas nenhuma unidade de resgate. Nos demais cenários também existem bases que deixaram de ser utilizadas.

Este cenário indica que para ganhos mais expressivos na variável tempo de resposta, uma possibilidade interessante seria o reposicionamento das bases atuais, evitando aumentar exageradamente o número de ambulâncias em cada base. Um estudo de localização considerando as bases atuais e possíveis pontos para implantação de novas bases futuras pode ser interessante para validar a hipótese levantada, sendo ainda possível a determinação de configurações que reduzam o tempo de resposta médio com o mesmo efetivo de unidades móveis, mas com mudanças em suas localizações ao longo do território considerado.

9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Serviços de atendimento móveis de urgência possuem uma grande aleatoriedade associada aos tempos dos diversos processos que fazem parte das operações rotineiras do sistema. Mesmo aquelas operações que possuem regras aparentemente claras de funcionamento apresentam componentes que não são possíveis de mensurar e que influenciam diretamente no funcionamento das diversas atividades, como por exemplo o processo de regulação médica, onde para um mesmo incidente pode ser enviada uma ambulância ou não, dependendo do profissional que está fazendo o atendimento. O mesmo acontece para o processo de encaminhamento do paciente para os centros de atendimento. Considerando as características específicas deste tipo de sistema bem como as dificuldades já relatadas para modelagem, a técnica de simulação a eventos discretos foi utilizada de maneira eficaz para análise do Samu de Belo Horizonte.

Com o modelo desenvolvido, testes foram feitos de maneira a identificar o comportamento do sistema frente a alterações no padrão de demanda e nos processos de operação. Os resultados encontrados fornecem evidências do impacto no desempenho do sistema quando sujeito a mudanças na lógica de funcionamento, não sendo porém objetivo deste estudo a predição do futuro com absoluta segurança. O aumento de demanda simulado indicou as limitações e congestionamento do serviço de atendimento analisado, utilizando como parâmetro de comparação o tempo médio de resposta e os tempos de espera, variáveis comuns para avaliação de serviços móveis de urgência. Os testes utilizando da simulação para otimização indicaram que para ganhos mais expressivos no valor do tempo de resposta médio, é necessário um estudo para melhor distribuição das bases ao longo das nove regionais consideradas.

O estudo da distribuição temporal e espacial das diversas chamadas que chegam à central de atendimento, bem como suas características principais, é uma ferramenta para auxílio à tomada de decisão por parte dos gestores. Um melhor entendimento das entradas do sistema pode favorecer uma melhor utilização dos recursos atuais de operação.

Como sugestão para melhoria do modelo computacional desenvolvido, existem as alternativas de consideração dos plantões médicos em cada centro de atendimento, bem

como a capacidade, resultando em novas regras de encaminhamento dos pacientes para hospitais. Um acompanhamento direto das operações de resgate em diferentes dias e horários pode ser útil para definição de valores para a velocidade média e o fator de correção da distância euclidiana mais precisos, sendo possível o uso de valores discretizados no tempo ao invés de um valor médio único. Uma análise de sensibilidade variando as características das chamadas que chegam à central (aumento na porcentagem de chamadas que necessitam atendimento ou alteração das porcentagens de cada tipo de ocorrência) pode ser útil para indicar a necessidade de novos investimentos frente a alterações no padrão de demanda. Com relação à análise de sistemas de atendimento móveis de urgência, uma sugestão para estudo futuro é o desenvolvimento de algoritmos ou métodos heurísticos para definição de políticas de despacho, buscando otimizar a utilização das unidades e reduzir o tempo de resposta.

O desenvolvimento de um método heurístico específico para o problema em questão, pode ser interessante para diminuição do tempo computacional gasto com a avaliação e definição de cenários dentro do procedimento de otimização baseada em simulação apresentado. O *OptQuest* se utiliza de um procedimento padrão, não aproveitando de características estruturais específicas de cada tipo de problema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-GHAMDI, A. S. Emergency medical service rescue times in Riyadh. *Accident Analysis and Prevention*, v. 34, n. 34, p. 499-505, Jul. 2002.

ARINGHERI, R.; CARELLO, G.; MORALE, D. Ambulance location through optimization and simulation: the case of Milano urban area. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ITALIAN OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OPTIMIZATION AND DECISION SCIENCES, 38., 2007, Genova. *Annals...* Genova: Università degli Studi di Milan, 2007. p. 29.

AZADIVAR, F. A tutorial on simulation optimization. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 24., 1992, Arlington. *Proceedings...* Arlington: 1992. p. 198-204.

BALL, M.O.; LIN, L.F. A reliability model applied to emergency service vehicle location. *Operations Research*, v. 41, n. 1, p. 18–36, Jan. 1993.

BODTKER, K.; WILSON, L; GODOLPHIN, W. Simulation modelling to assist operational management and planning in clinical laboratories. *Simulation*, v. 60, n. 4, p. 247-255, 1993.

BRAILSFORD, S. C. Tutorial: advances and challenges in healthcare simulation modeling. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2007, Washington. *Proceedings...* Washington: 2007. p. 1436-1448.

BRANDEAU, M. L.; LARSON, R. C. Extending and applying the hypercube queueing model to deploy ambulances in Boston. In: IGNAL, E.; SWERSEY, A. J. (Ed.). *Management Science and the Delivery of Urban Services*. North-Holland: Elsevier, 1986. v. 22, p. 121-153.

BUDGE, S.; INGOLFSSON, A.; ERKUT, E. Optimal ambulance location with random delays and travel times. *Health Care Management Science*, v. 11, n. 3, p. 262-274, Sep. 2008.

CAMPBELL, J. P.; GRATTON, M. C.; SALOMONE, J. A.; WATSON, W. A. Ambulance arrival to patient contact: the hidden component of prehospital response time intervals. *Annals of Emergency Medicine*, v. 22, n. 8, p. 1254-1257, Aug. 1993.

CHAMPION, H. R.; SACCO, W. J.; COPES, W. S.; GANN, D. S.; GENNARELLI, T. A.; FLANAGAN, M. E. A revision of the trauma score. *PubMed*, v. 29, n. 5, p. 623-629, May. 1989.

CHURCH, R.L.; REVELLE, C. The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, v. 32, n. 1, p. 101-118, 1974.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações*. São Paulo: Editora do Autor, 2007. 254 p.

COELLI, F. C.; FERREIRA, R. B.; DE ALMEIDA, R. M. V. R.; PEREIRA, W. C. A. Simulação por eventos discretos aplicada à otimização do atendimento em uma clínica de mamografia. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, v. 22, n. 3, p. 203-212, Dez. 2006.

CUMMINS, R. O. From concept to standard-of-care? Review of clinical experience with automated external defibrillators, *Annals of Emergency Medicine*, v. 18, n. 12, p. 1269-1275, Dec. 1989.

CUMMINS, R. O.; EISENBERG, M. S.; HALLSTROM, A. P.; LITWIN, P. E. Survival of out-of-hospital cardiac arrest with early initiation of cardiopulmonary resuscitation, *American Journal of Emergency Medicine*, v. 3, n. 2, p. 114-119, Mar. 1985.

DE OLIVEIRA, M. J. F. 3D visual simulation and hospital admission systems management. The flow of patients in a virtual scenario. In: EURO-95 - OR APPLIED TO HEALTH SERVICES, 1995, Maastrick. *Annals...* Maastrick: 1995.

DE OLIVEIRA, M. J. F.; JUNIOR, P. R. S. Simulação do fluxo de pacientes nos setores de emergência do hospital universitário Antônio Pedro. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 10., 2007, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: 2007.

ELDABI, T.; YOUNG, T. Towards a framework for healthcare simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 39., 2007, Washington. *Proceedings...* Washington: 2007. p. 1454-1460.

FETTER, R. B.; THOMPSON, J. D. Patients' waiting time and doctors' idle time in the outpatient setting. *Health Services Research*, v. 1, n. 1, p. 66-90, Jul. 1966.

FREITAS FILHO, P. J. *Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena*. Florianópolis/SC: Visual Book Editora, 2008. 372 p.

FITZSIMMONS, J. A. An emergency medical system simulation model. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 5., 1971, New York. *Proceedings...* New York: 1971. p. 18-25.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. *Administração de services: operações, estratégia e tecnologia da informação*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S. A., 2004. 564 p.

FITZSIMMONS, J.A.; SRIKAR, B. Emergency ambulance location using the contiguous zone search routine. *Journal of Operations Management*, v. 2, n. 4, p. 225–237, Aug. 1982.

FONE, D.; HOLLINGHURST, S.; TEMPLE, M.; ROUND, A.; LESTER, N.; WEIGHTMAN, A.; ROBERTS, K.; COYLE, E.; BEVAN, G.; PALMER, S. Systematic review of the use and value of computer simulation modeling in population health and health care delivery. *Journal of Public Health Medicine*, v. 25, n. 4, p. 325-335, Dec. 2003.

FU, M. C. Optimization for simulation: theory vs. practice. *INFORMS Journal on Computing*, vol. 14, n. 3, p. 192-215, Jul. 2002.

GARCIA, L. C. *Dimensionamento de recursos de atendimento móvel de urgência da região metropolitana II do estado do Rio de Janeiro*. 2006. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GIBSON, I. W. An approach to hospital planning and design using discrete event simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 39., 2007, Washington. *Proceedings...* Washington: 2007. p. 1501-1509.

GOLDBERG, J.; DIETRICH, R.; CHEN, J.M.; MITWASI, M.G. A simulation model for evaluating a set of emergency vehicle base locations: development, validation and usage. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 24, n. 2, p. 125-141, Mar. 1990.

GONÇALVES, A. A. *Gestão da capacidade de atendimento em hospitais de câncer*. 2004. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GONÇALVES, M. B. Métodos de pesquisa operacional em serviços emergenciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 26., 1994, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: 1994. p. 597-601.

GUNES, E.; SZECHTMAN, R. A simulation model of a helicopter ambulance service. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 37., 2005, Orlando. *Proceedings...* Orlando: 2005. p. 951-957.

HAKES, B.; KELLER, L.; LILEGDON, W. R.; MABROUK, K.; MCGUIRE, F.; LOWERY, J. C. Barriers to implementing simulation in health care. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 26., 1994, Lake Buena Vista. *Proceedings...* Lake Buena Vista: 1994. p. 868-875.

HENDERSON, S. G.; MASON, A. J. Estimating ambulance requirements in Auckland, New Zealand. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31., 1999, Phoenix. *Proceedings...* Phoenix: 1999. p. 1670-1674.

HOLLOWAY, J., FRANCIS, G. AND HINTON, M. A vehicle for change? A case study of performance improvement in the 'new' public sector. *The International Journal of Public Sector Management*, v. 12, n. 4, p. 351-365, 1999.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Modelo hipercubo integrado a um algoritmo genético para análise de sistemas médicos emergenciais em rodovias. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 1, p. 93-104, Jan. 2006.

IANNONI, A. P.; MORABITO, R. Otimização da localização das bases de ambulâncias e do dimensionamento de suas regiões de cobertura em rodovias. *Produção*, v. 18, n. 1, p. 47-63, 2008.

INGALLS, R. G. Introduction to simulation. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 17-26.

INGOLFSSON A, BUDGE S, ERKUT E. *Optimal ambulance location with random delays and travel times*. Alberta: University of Alberta School of Business, USA, 2003. 34 p. Manuscript.

JAMES, G. New E.M.S. Respose Time. *The New York Times*, 25 Mar. 1990. Disponível em: <<http://www.nytimes.com/1990/03/25/nyregion/new-ems-response-time.html?pagewanted=1>>. Acesso em: 12 Nov. 2009.

KOCH, O.; WEIGL, H. Modeling ambulance service of the Austrian red cross. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 35., 2003, New Orleans. *Proceedings...* New Orleans: 1999. p. 1701-1706.

KULJIS, J.; PAUL, R. J.; STERGIOULAS, L. K. Can health care benefit from modeling and simulation methods in the same way as business and manufacturing has? In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 39., 2007, Washington. *Proceedings...* Washington: 2007. p. 1449-1453.

LANGE, V. E. The benefits of simulation modeling in medical planning and medical design. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31., 1999, Phoenix. *Proceedings...* Phoenix: 1999. p. 1564-1567.

LAW, A. M. *Simulation modeling and analysis*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2007. 768 p.

LIM, E.; SEOW, E. Ambulance response time to emergency departments. *Singapore Medical Journal*, v. 34, n. 6, p. 530-532, Dec. 1993.

LIMA FILHO, E. R.; PEREIRA, R. C.; CASTRO, V. F.; ALMEIDA, M. A. R. Simulação de eventos discretos aplicado em manutenção de tomógrafos hospitalares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA OPERACIONAL E LOGÍSTICA DA MARINHA, 11., 2008, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: 2008.

LOWERY, J. C. Introduction to simulation in health care. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 28., 1996, Coronado. *Proceedings...* Coronado: 1996. p. 78-84.

MAYER, J. D. Paramedic response time and survival from cardiac arrest. *Social Science and Medicine*, v. 13, n. 4, p. 267-271, Dec. 1979.

MCCARTHY, J. C.; WRIGHT, P. C.; HEALEY, P.; DEARDEN, A.; HARRISON, M. D. Locating the scene: the particular and the general in contexts for ambulance control. In: INTERNATIONAL ACM SIGGROUP CONFERENCE ON SUPPORTING GROUP WORK: THE INTEGRATION CHALLENGE, 1997, Phoenix. *Proceedings...* Phoenix: 1997. p. 101-110.

MCGRATH, K. The Golden Circle: a way of arguing and acting about technology in the London Ambulance Service. *European Journal of Information Systems*, v. 11, n. 4, p. 251-266. Dec. 2002.

MEDEIROS, D. J.; SWENSON, E.; DEFLITCH, C. Improving patient flow in a hospital emergency department. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1526-1531.

MENDONÇA, F. C.; MORABITO, R. Aplicação do modelo hipercubo para análise de um sistema médico-emergencial em rodovia. *Gestão & Produção*, v. 7, n. 1, p. 73-91, Abr. 2000.

MENG, L. Y.; SPEDDING, T. Modeling patient arrivals when simulating an accident and emergency unit. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1509-1515.

MIDDLETON, D. C.; TRENT, R. B. Emergency medical response to occupational locations in West Virginia. *Journal of Occupational Accidents*, v. 10, n. 2, p. 131-139, Aug. 1988.

MILLER, M. J.; FERRIN, D. M.; SHAHI, N.; LAVECCHIA, R. Allocating outpatient clinic services using simulation and linear programming. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1637-1644.

NOVAES, A. G. *Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1989. 372 p.

OLIVEIRA, L. K. de; GONÇALVES, M. B. Metodologia para avaliar centro de emergência: aplicação ao centro de emergência da Polícia Militar de Santa Catarina. *Revista Produção Online*, v. 4, n. 2, Abr. 2004.

PÉREZ, K.; CARDONA, L.; GÓMEZ, S.; OLARTE, T.; ESCUDERO, P. Simulation and optimization in a health center in Medellin, Colombia. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1362-1367.

PONS, P. T. AND MARKOVCHICK, V. J. Eight minutes or less: does the ambulance response time guideline impact trauma patient outcome? *Journal of Emergency Medicine*, v. 23, n. 1, p. 43-48. Jul. 2002.

RAMIS, F. J.; BAESLER, F.; BERHO, E.; NERIZ, L.; SEPULVEDA, J. A. A simulator to improve waiting times at a medical imaging center. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings* Miami: 2008. p. 1572-1577.

REPEDE, J. F.; BERNARDO, J. J. Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicle in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research*, v. 75, n. 3, p. 567-581, Jun. 1994.

SHANNON, R. E. *Systems Simulation – The Art and Science*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975. 368 p.

SU, S.; SHIH, C. L. Modeling an emergency medical services system using computer simulation. *International Journal of Medical Informatics*, v. 72, n. 3, p. 57-72, Aug. 2003.

SINGER, M.; DONOSO, P. Assessing an ambulance service with queuing theory. *Computers and Operations Research*, v. 35, n. 8, p. 2549-2560, Aug. 2008.

SOSA, N. G. M.; GALVÃO, R. D. e GANDELMAN, D. A. Algoritmo de busca dispersa aplicado ao problema clássico de roteamento de veículos. *Pesquisa Operacional*, v. 27, n. 2, p. 293-310, Maio. 2007.

STANDRIDGE, C. R. A tutorial on simulation in health care: applications and issues. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 31., 1999, Phoenix. *Proceedings...* Phoenix: 1999. p. 49-55.

TAKAKUWA, S.; WIJEWICKRAMA, A. Optimizing staffing schedule in light of patient satisfaction for the whole outpatient hospital ward. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1500-1508.

TAKEDA, R. A. *Uma contribuição para avaliar o desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde.* 2000. 210 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

TAKEDA, R. A.; WIDMER, J. A.; MORABITO, R. Uma proposta alternativa para avaliação do desempenho de sistemas de transporte emergencial de saúde brasileiros. *Transportes*, v. 9, n. 2, p. 9-27. 2001.

TIMERMAN, S.; GONZALEZ, M. M. C.; ZARONI, A. C.; RAMIRES, J. A. F. Emergency medical services: Brazil. *Resuscitation*, v. 70, n. 3, p. 356-359, Sep. 2006.

TOREGAS, C.; SWAIN, R.; REVELLE, C.; BERGMAN, L. The location of emergency service facilities. *Operations Research*, v. 19, n. 6, p. 1363-1373, Oct. 1971.

VILA-PARISH, A. R.; IVY, J. S.; KING, R. E. A simulation-based approach for inventory modeling of perishable pharmaceuticals. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40., 2008, Miami. *Proceedings...* Miami: 2008. p. 1532-1538.

WEARS, R. L.; WINTON, C. N. Simulation modeling of prehospital trauma care. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 25., 1993, Los Angeles. *Proceedings...* Los Angeles: 1993. p. 1216-1224.

WILDE, E. T. Do response times matter? The impact of EMS response times on health outcomes. Princeton: Princeton University, Industrial Relations Section, 2008. 80 p. Working Paper.

WOOLLARD, M., LEWIS, D. AND BROOKS, S. Strategic change in the ambulance service: barriers and success strategies for the implementation of high-performance management systems. *Strategic Change*, v. 12, n. 3, p. 165-175, May 2003.

City of Toronto Ministry of Health. Disponível em <http://www.toronto.ca/health/boh_index.htm>. Acesso em: 8 set. 2009.

Huron County Emergency Medical Services. Disponível em <http://www.huroncounty.ca/ambulance/>. Acesso em: 8 set. 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 ago. 2009.

New South Wales Department of Health. Disponível em <http://www.health.nsw.gov.au/>. Acesso em: 8 set. 2009.

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.pbh.gov.br>. Acesso em: 11 ago. 2009.

ANEXO I - DISTRIBUIÇÕES DOS TEMPOS DE ATENDIMENTO

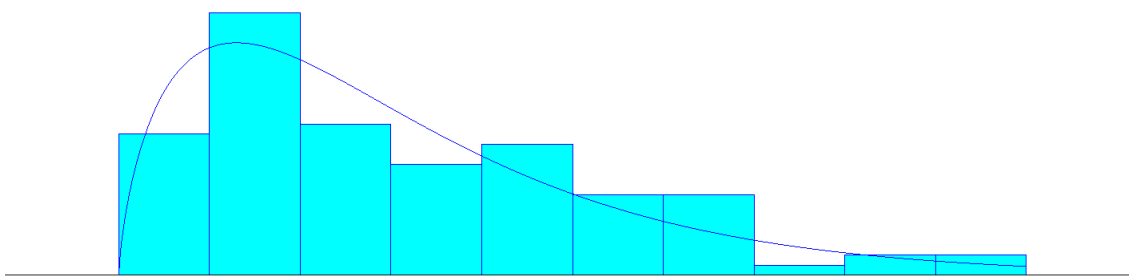


Figura I.1: Distribuição para o tempo de despacho

Expressão: $8 + \text{GAMM}(8.56, 1.7)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.007264

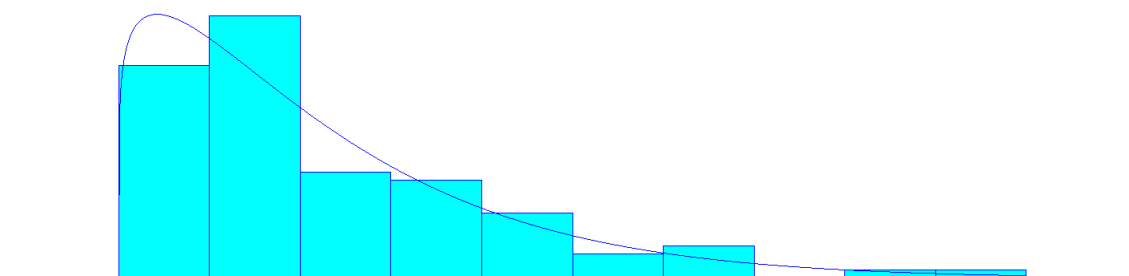


Figura I.2: Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de não despacho de uma ambulância

Expressão: $21 + \text{WEIB}(85.9, 1.16)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.009427

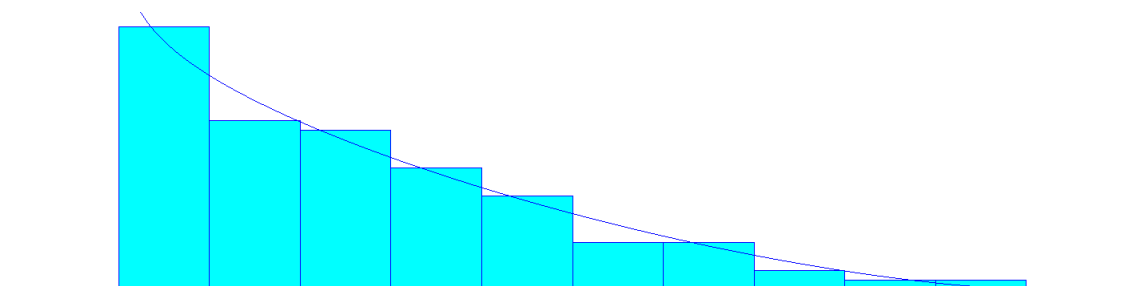


Figura I.3: Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de envio de uma ambulância USA

Expressão: $20 + 290 * \text{BETA}(0.902, 2.5)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.001159

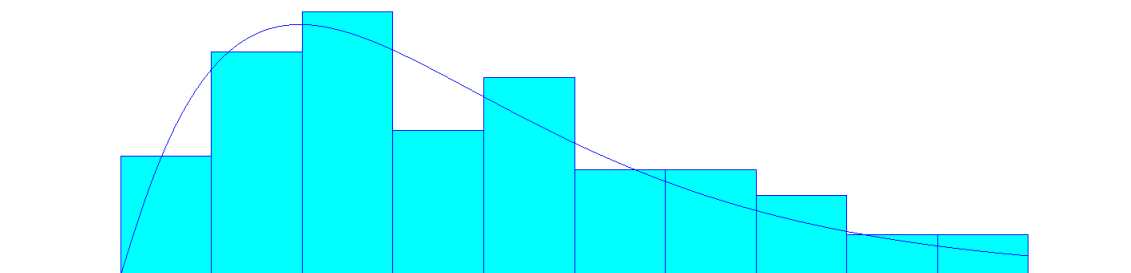


Figura I.4: Distribuição para o tempo de atendimento do médico regulador no caso de envio de uma ambulância USB

Expressão: $29 + \text{GAMM}(18.2, 2.06)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.004375

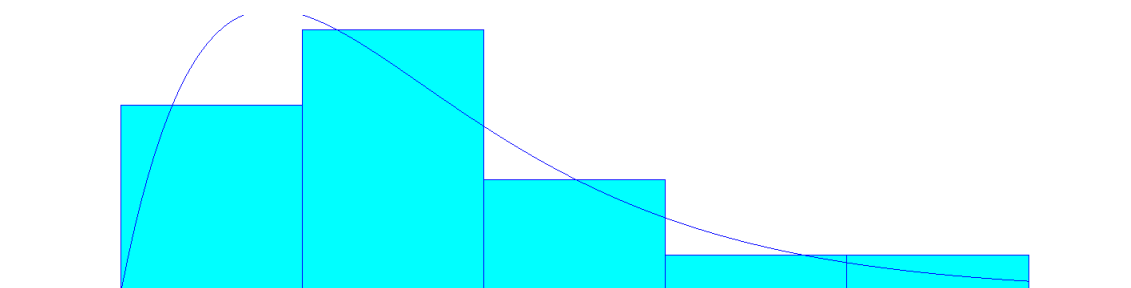


Figura I.5: Distribuição para o tempo de parada para manutenção

Expressão: $\text{ERLA}(1.11, 2)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.006566

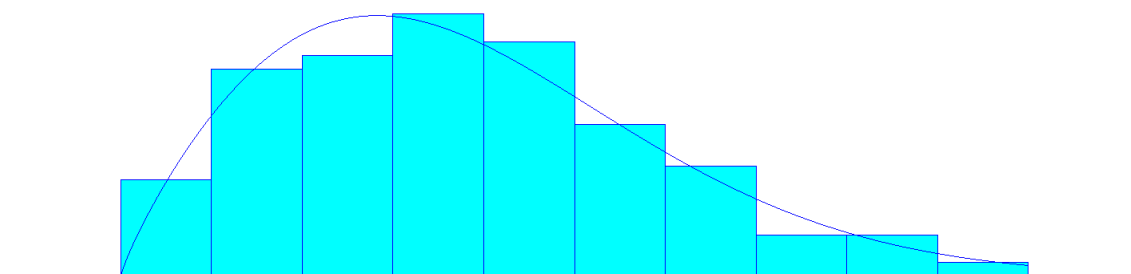


Figura I.6: Distribuição para o tempo de atendimento do teledigifonista no caso de uma ocorrência médica

Expressão: $24 + \text{WEIB}(97.9, 1.84)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.001447

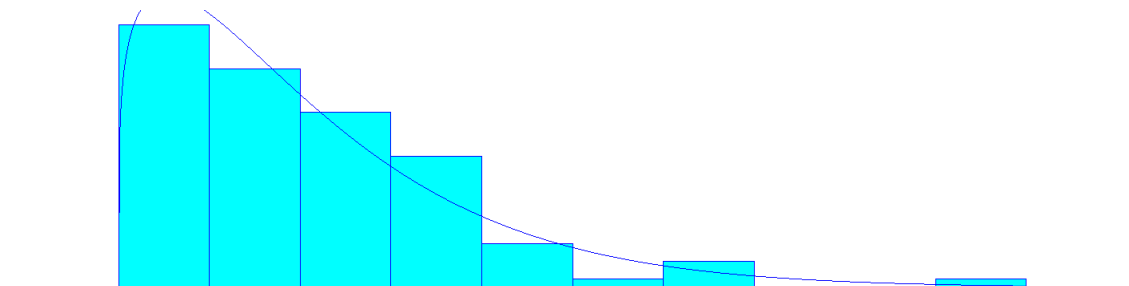


Figura I.7: Distribuição para o tempo de atendimento do teledigifonista no caso de uma ocorrência não médica

Expressão: $6 + \text{WEIB}(24, 1.21)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.003872

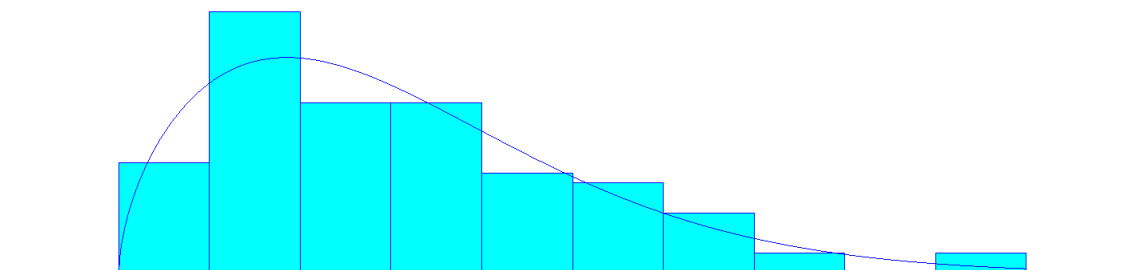


Figura I.8: Distribuição para o tempo de atendimento local no caso de uma USB

Expressão: $4.5 + \text{WEIB}(15.6, 1.71)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.005297

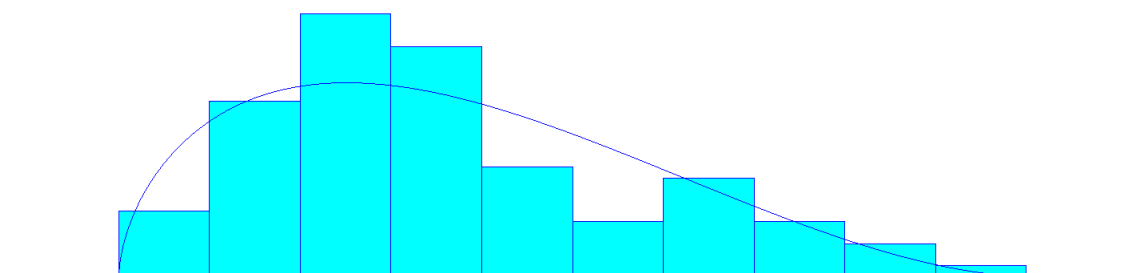


Figura I.9: Distribuição para o tempo de atendimento local no caso de uma USA

Expressão: $5 + 65 * \text{BETA}(4.28, 16.6)$

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.013473

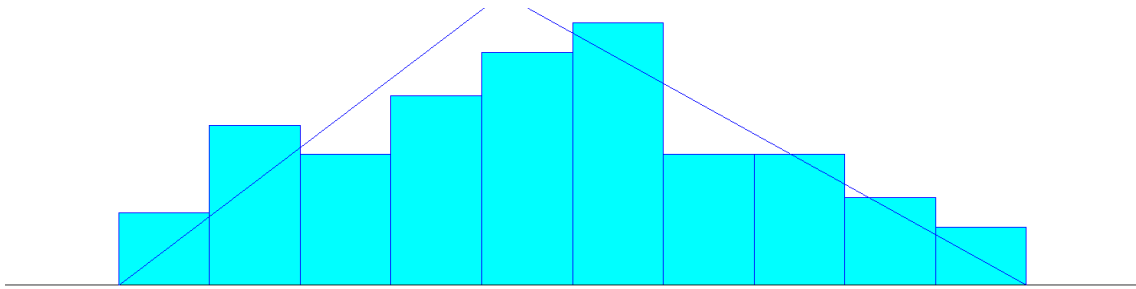


Figura I.10: Distribuição para o tempo de transmissão das informações sobre o estado do paciente para o despachante

Expressão: TRIA(30,56.6,80)

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.007831

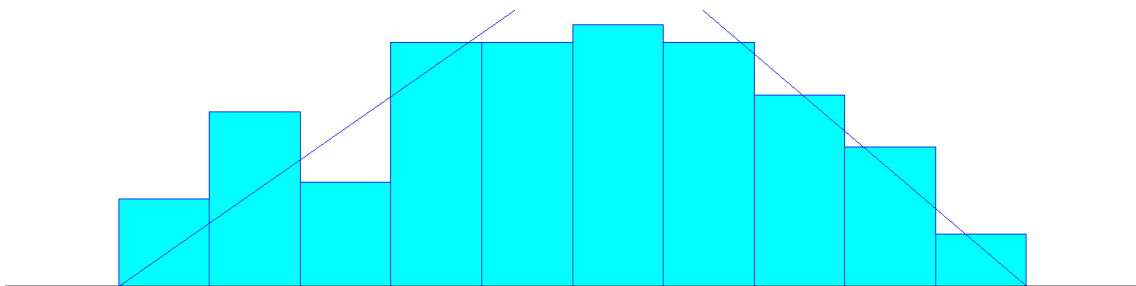


Figura 1.11: Distribuição para o tempo de orientação médica da equipe de resgate através do médico regulador da central (regulação secundária)

Expressão: TRIA(6,16.4,28)

p-valor > 0.15

Erro quadrático: 0.006828

Distribuição para o tempo de reposição: TRIA(15,20,30)

Distribuição para o tempo de entrega do paciente no hospital: TRIA(7,10,20)

ANEXO II - DISTRIBUIÇÃO DA TAXA MÉDIA DE CHAMADAS POR DIA E POR FAIXA DE HORÁRIO

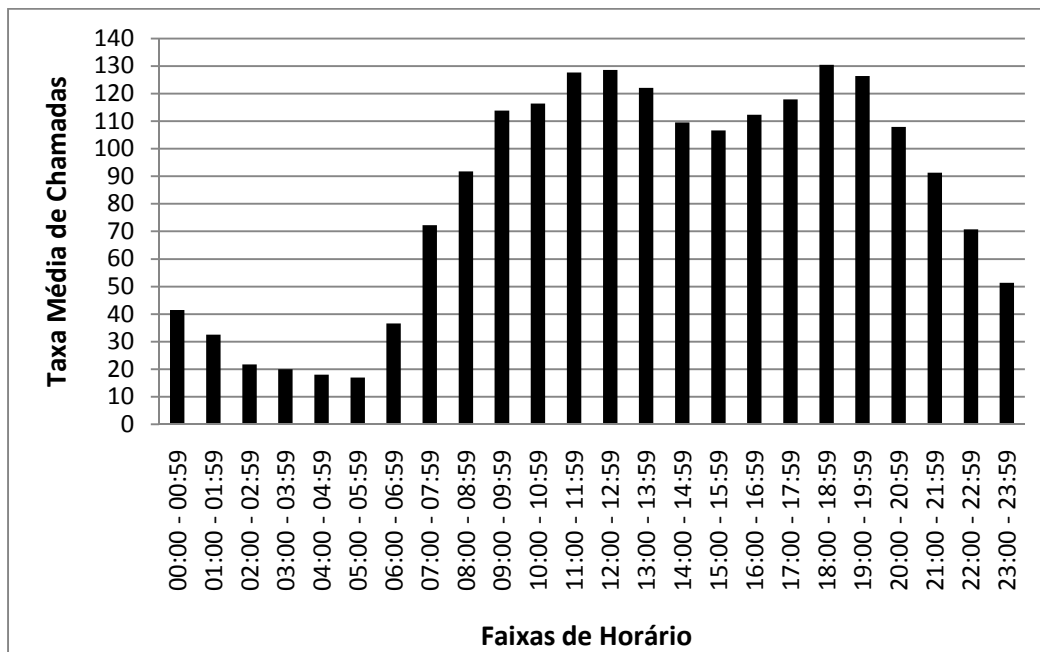


Figura II.1: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (segunda-feira)

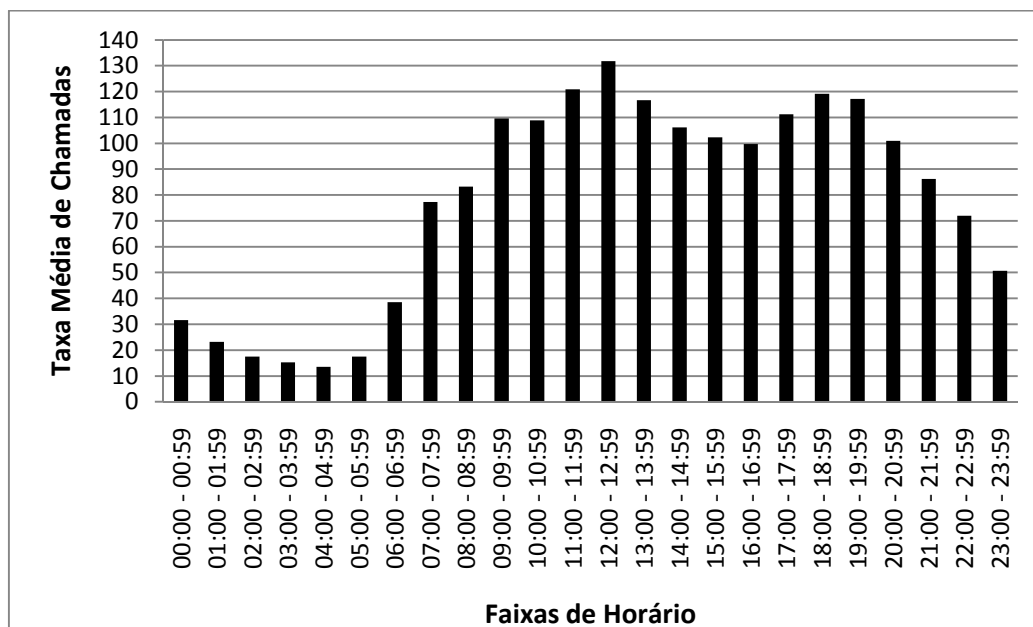


Figura II.2: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (terça-feira)

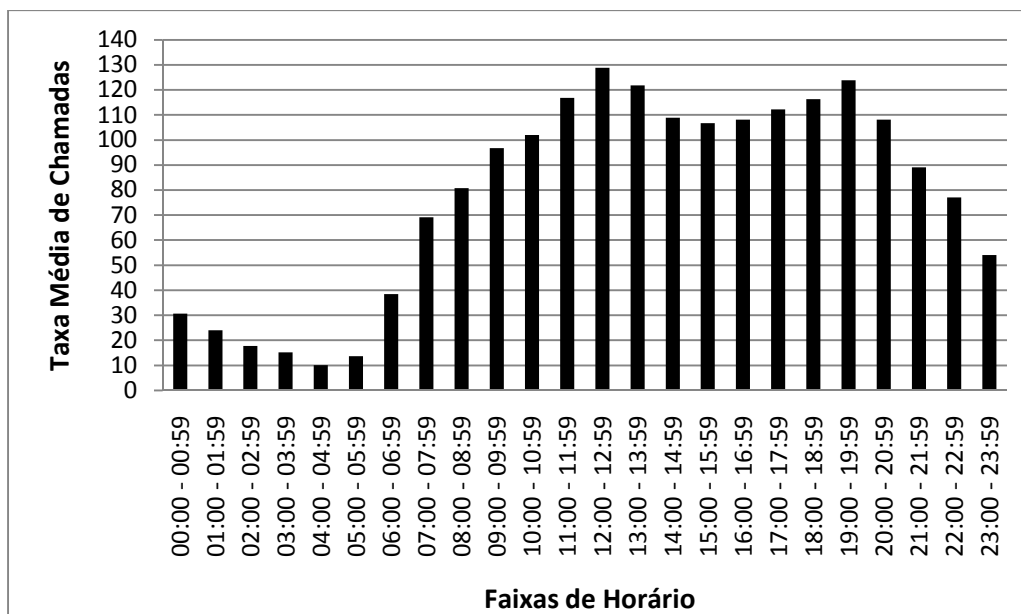


Figura II.3: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (quarta-feira)

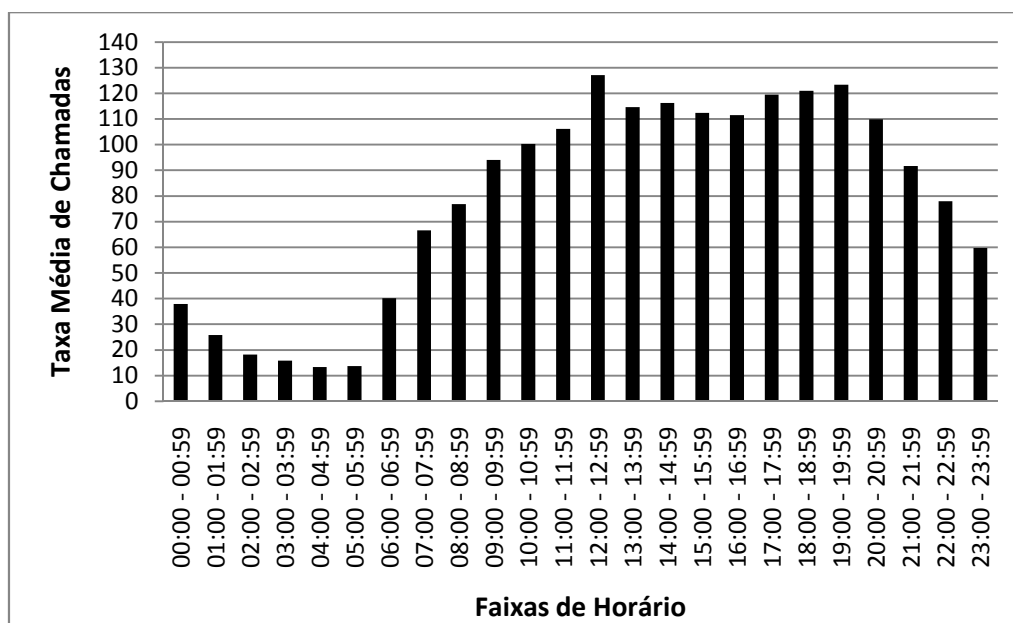


Figura II.4: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (quinta-feira)

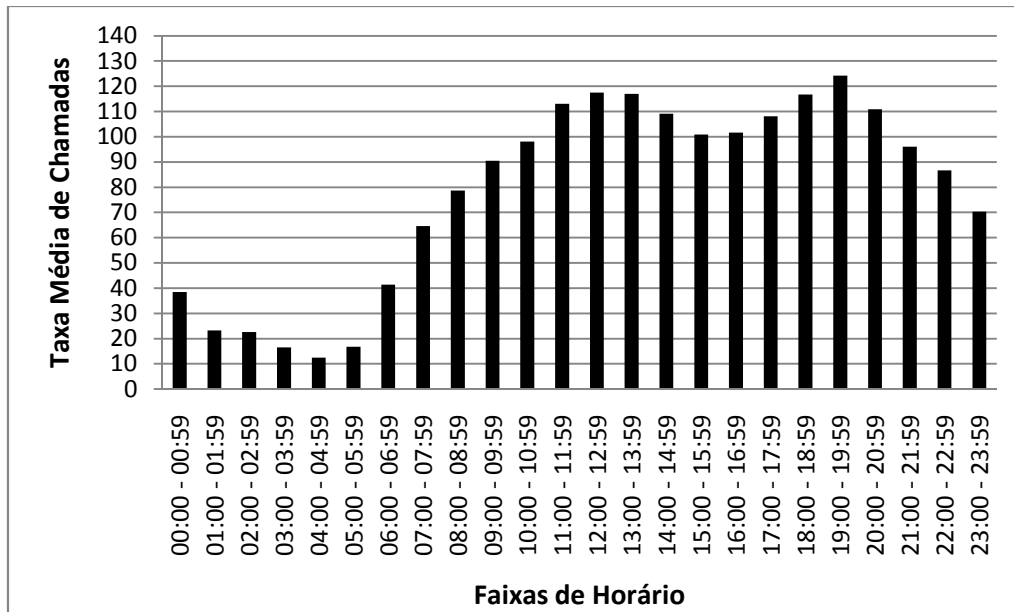


Figura II.5: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (sexta-feira)

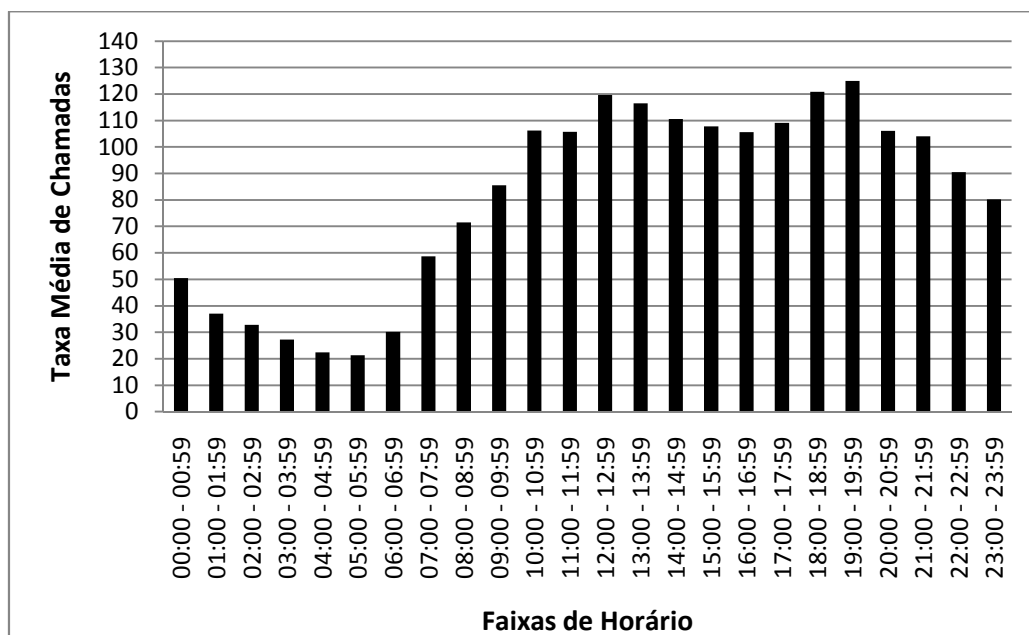


Figura II.6: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (sábado)

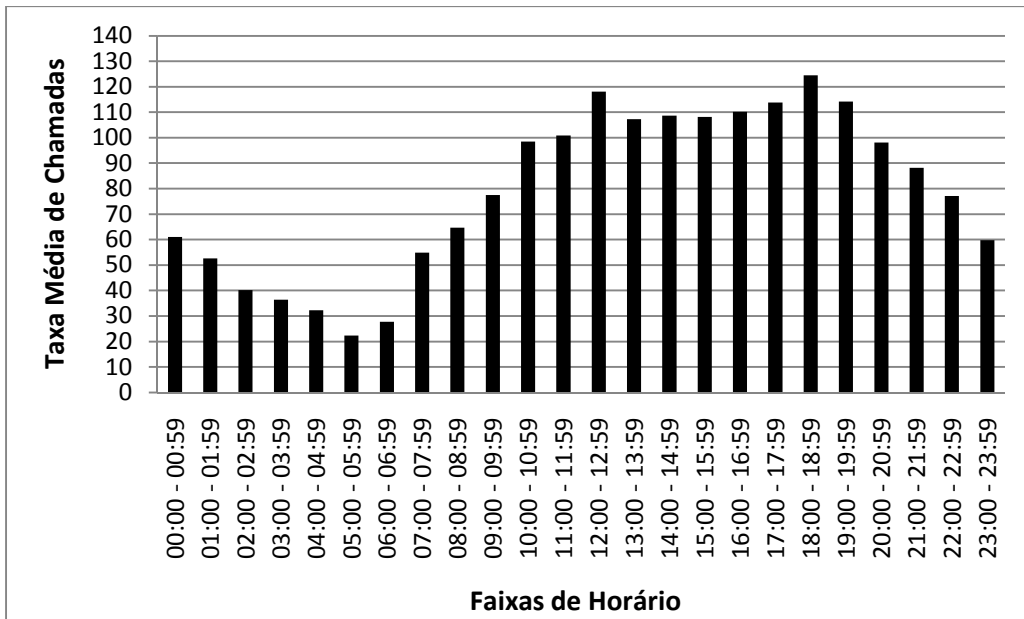


Figura II.7: Histograma da taxa média de chamadas por horário do dia (domingo)

ANEXO III - TAXA DE UTILIZAÇÃO DAS AMBULÂNCIAS PARA O CENÁRIO ATUAL

Tabela III.1 – Taxa de utilização das ambulâncias

Ambulância		Replicação										Média	Desvio Padrão
Nº	Tipo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	USB	43,06%	46,23%	41,64%	39,57%	48,48%	45,57%	47,11%	41,25%	41,72%	49,06%	44,37%	3,34
2	USB	50,70%	47,23%	46,50%	47,84%	51,13%	56,14%	50,16%	45,86%	51,09%	54,08%	50,07%	3,32
3	USB	63,06%	56,90%	65,08%	58,03%	59,58%	58,32%	60,26%	59,14%	56,38%	55,31%	59,21%	3,00
4	USB	58,87%	58,48%	60,29%	58,51%	60,65%	52,28%	56,87%	56,84%	61,81%	56,15%	58,07%	2,72
5	USB	50,96%	54,13%	55,04%	51,52%	60,22%	50,15%	56,27%	52,56%	55,92%	50,91%	53,77%	3,16
6	USB	64,53%	64,08%	63,01%	59,48%	65,20%	58,32%	59,13%	65,10%	62,44%	60,89%	62,22%	2,60
7	USB	55,44%	50,66%	52,27%	51,22%	54,30%	49,28%	58,68%	56,02%	56,03%	50,37%	53,43%	3,10
8	USB	54,94%	57,80%	59,23%	53,05%	62,36%	56,82%	57,08%	53,27%	59,48%	55,09%	56,91%	2,94
9	USB	62,85%	59,11%	61,82%	59,91%	67,59%	63,19%	63,81%	62,48%	56,52%	61,28%	61,86%	2,98
10	USB	63,67%	59,78%	68,86%	63,15%	67,97%	58,13%	60,11%	60,73%	63,18%	61,37%	62,70%	3,48
11	USB	58,25%	54,41%	60,20%	51,65%	59,62%	50,68%	52,06%	49,06%	50,35%	48,80%	53,51%	4,36
12	USB	50,21%	46,78%	52,22%	48,63%	50,88%	50,04%	47,25%	47,91%	50,39%	57,48%	50,18%	3,09
13	USB	59,49%	56,86%	56,49%	53,27%	65,06%	58,58%	56,83%	55,71%	55,56%	55,63%	57,35%	3,20
14	USB	50,01%	52,34%	49,73%	50,76%	54,50%	49,59%	51,77%	53,29%	53,99%	46,36%	51,23%	2,46
15	USB	66,56%	65,13%	66,11%	64,33%	70,22%	60,64%	67,33%	63,70%	59,61%	64,27%	64,79%	3,10
16	USB	59,35%	55,65%	59,45%	50,11%	59,97%	57,04%	54,89%	54,64%	54,89%	57,51%	56,35%	2,98
17	USB	45,75%	40,53%	43,02%	44,10%	44,37%	45,20%	45,46%	45,26%	43,45%	46,95%	44,41%	1,79
18	USM	2,08%	2,31%	2,16%	5,28%	3,67%	3,38%	2,37%	3,78%	2,95%	3,51%	3,15%	0,99
19	USA	12,87%	15,89%	13,99%	15,25%	12,40%	14,54%	17,82%	10,75%	14,70%	12,02%	14,02%	2,08
20	USA	10,36%	14,07%	12,81%	11,94%	14,28%	14,62%	9,50%	16,12%	11,25%	11,10%	12,60%	2,13
21	USA	13,41%	13,40%	16,55%	17,40%	14,08%	14,23%	15,66%	14,51%	18,25%	12,08%	14,95%	1,96
22	USA	8,17%	11,89%	7,44%	12,40%	13,15%	10,76%	6,28%	7,64%	11,06%	11,96%	10,08%	2,45
23	USA	15,43%	13,46%	12,11%	15,61%	21,29%	15,01%	13,00%	16,86%	17,62%	16,77%	15,72%	2,65
Média USB		56,33%	54,48%	56,53%	53,24%	58,95%	54,12%	55,59%	54,28%	54,87%	54,79%	55,32%	1,54
Média USA		10,39%	11,84%	10,84%	12,98%	13,14%	12,09%	10,77%	11,61%	12,64%	11,24%	11,75%	0,91

USB: Unidade de Suporte Básico / USM: Unidade de Saúde Mental / USA: Unidade de Suporte Avançado

ANEXO IV - CUSTO MENSAL DE UMA UNIDADE DE SUPORTE BÁSICO

Tabela IV.1: Custo mensal de uma USB

	Total	Férias	13° salário	Aviso Prévio	FGTS	INSS	PIS	Qtd/Prof.	Total Mensal
Técnico de Enfermagem	978,13	108,67	81,48	81,48	159,34	331,19	12,52	5	8.764,04
Motorista Socorrista	978,13	108,67	81,48	81,48	159,34	331,19	12,52	5	8.764,04
Outros Custos									
Combustível	2.281,25							1	2.281,25
Seguro	1.000,00							1	1.000,00
Reparos	800,00							1	800,00
Passagens	400,00							1	400,00
Diárias	800,00							1	800,00
Medicamentos	400,00							1	400,00
								Total	23.209,33

Custo USB considerado = R\$ 23.210,00

Custo USA = 1.5 * Custo USB

Custo USA = R\$ 34.815,00

A estimativa do custo de uma USA foi feita à partir de conversa com a gerência do Samu, adotando para tanto o fator de ajuste de 1.5 com relação ao custo de uma unidade básica.