

Fernando Simoneti Rogado

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO FLUXO OPERACIONAL DO SERVIÇO DE
ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) REALIZADO NO MUNICÍPIO DE
SÃO PAULO

São Paulo

2020

FERNANDO SIMONETI ROGADO

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DO FLUXO OPERACIONAL DO SERVIÇO DE
ATENDIMENTO MÓVEL DE URGÊNCIA (SAMU) REALIZADO NO MUNICÍPIO DE
SÃO PAULO

Trabalho de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
a obtenção do diploma de Engenheiro de
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Daniel de Oliveira Mota

São Paulo

2020

Nome: ROGADO, Fernando Simoneti

Título: Simulação e análise do fluxo operacional do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) realizado no município de São Paulo

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do diploma de Engenheiro de Produção.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

Prof. Dr.

Instituição:

Julgamento:

À minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me apoiou e me incentivou ao longo de toda minha vida acadêmica, pessoal e profissional. Por serem minhas referências e inspiração com quem eu aprendi a ser mais ético, humano e respeitoso.

A todos meus amigos que me acompanharam todos esses anos tanto nos momentos bons quanto nos ruins e me proporcionaram experiências incríveis e me ensinaram o verdadeiro significado de amizade.

Ao meu orientador, Professor Dr. Daniel de Oliveira Mota, pela dedicação e apoio durante o presente ano, pela compreensão da minha jornada dupla entre o trabalho e a faculdade e por toda a valiosa orientação ao longo desse trabalho.

A todos os funcionários e professores da Escola Politécnica da USP por terem dedicado o seu tempo e contribuído para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional.

“What we anticipate seldom occurs; what we least expected generally happens”

[O que prevemos raramente ocorre; o que menos esperamos geralmente acontece.]

Benjamin Disraeli

RESUMO

Os sistemas de atendimento de saúde de urgência estão presentes em diversos lugares do mundo com o objetivo de proporcionar assistência a indivíduos acidentados e com problemas de saúde de forma rápida e eficaz. Porém, o crescimento da população, aliado à falta de infraestrutura dos serviços de saúde e às péssimas condições de transito de grandes megalópoles faz com que o problema de acesso a esse serviço seja ainda mais prejudicado. Nesse contexto, este trabalho buscou simular a operação do serviço público de saúde prestado pelo SAMU na cidade de São Paulo e avaliar o dimensionamento e qualidade da rede de saúde em questão. Posteriormente, foram construídos cenários para avaliar o impacto no serviço a partir de variações nas entidades do sistema: ambulâncias; bases do SAMU; hospitais; taxa de chamado. Espera-se que esse trabalho contribua na melhora contínua desse serviço e na previsão de futuras alterações no sistema para que, cada vez mais, seja prestado um serviço de qualidade e rapidez com intuito de reduzir o tempo de atendimento total.

Palavras-chave: SIMULAÇÃO. SISTEMA DE SAÚDE. SAMU. MODELAGEM. AMBULÂNCIAS.

ABSTRACT

The emergency health care systems are present in several places around the world with the aim of providing quick and effective assistance to injured individuals and people with health problems. However, the population growth, associated with the lack of infrastructure of health services and the terrible traffic conditions of big megalopolis, worsens the problem of access to this service even further. In this scenario, this paper sought to simulate the operation of the public health service provided by SAMU in the city of São Paulo and to measure the sizing and quality of the health system. After that, scenarios were built to evaluate the impact on the services based on variations in the system's entities: Ambulances; SAMU's Bases; Hospitals; Call rate. It is expected that this work contributes to the improvement of this service and to the projection of future changes in the system, so that it can provide even better quality service and reduce its total service time.

Keywords: SIMULATION. HEALTHCARE SYSTEM. SAMU. MODELING. AMBULANCES.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Procedimento básico para análise de sistemas por simulação	43
Figura 2: Mapa de densidadde demográfica da cidade de São Paulo.....	48
Figura 3: Unidade de Suporte Básico de Vida	51
Figura 4: Posicionamento de bases e ambulâncias do SAMU SP	54
Figura 5: Modelo conceitual do Sistema de atendimento de urgência SAMU SP	60
Figura 6: Mapa de hospitais e unidades de saúde pública no <i>Anylogic</i>	62
Figura 7: Ficha técnica exemplo de uma base fixa do SAMU	63
Figura 8: Mapa das bases do SAMU no <i>Anylogic</i>	64
Figura 9: Mapa dos pontos de acidentes no <i>Anylogic</i>	65
Figura 10: Mapa com as localizações das entidades Acidentes, Hospitais e Bases	66
Figura 11: Captura de tela dos atributos do agente Bases do SAMU.....	67
Figura 12: Imagem gerada pelo <i>software Anylogic</i>	68
Figura 13: Imagem gerada pelo <i>software Anylogic</i> dos atributos do evento chamado	69
Figura 14: Fluxo de <i>stateschats</i> criado no <i>software Anylogic</i>	70
Figura 15: Transição do estado ‘aguardando na base’ para ‘movendo para o chamado’ retirado do <i>Software Anylogic</i>	70
Figura 16: Fluxo de pré atendimento realizada pela equipe de resgate	71
Figura 17: Fluxo de desembarque do pacientes realizado no Hospital	72
Figura 18: Log dos estados de uma ambulância gerado pelo <i>software</i> após simulação.....	74
Figura 19: Período de regime transiente e regime permanente de uma simulação de tempo médio de atendimento.....	75
Figura 20: Transição do estado ‘aguardando na base’ para ‘movendo para o chamado’ retirado do <i>Software Anylogic</i>	76
Figura 21: Experimento de variação de parâmetros para simulação de atendimentos de urgência com geração de números aleatórios independentes e 100 replicações	77
Figura 22: Gráfico de tempo médio de atendimento por cada repetição realizada	78
Figura 23: Simulação de um experimento no <i>software Anylogic</i>	81
Figura 24: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de Ambulâncias.....	84
Figura 25: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de Ambulâncias	85

Figura 26: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de Ambulâncias	86
Figura 27: Gráfico Distância Média até o Acidente por Número de Ambulâncias.....	87
Figura 28: Gráfico Taxa de Ocupação por Número de Ambulâncias	87
Figura 29: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de Bases fixas.....	90
Figura 30: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de Bases Fixas	91
Figura 31: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de Bases Fixas	91
Figura 32: Gráfico Distância Média até o Acidente por Número de bases fixas	92
Figura 33: Gráfico Taxa de Ocupação por Número de bases fixas	93
Figura 34: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de unidades de Saúde Pública	95
Figura 35: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de unidades de Saúde Pública	96
Figura 36: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de unidades de Saúde Pública	96
Figura 37: Gráfico Distância Média de deslocamento ao Acidente por Número de unidades de Saúde Pública	97
Figura 38: Gráfico taxa de ocupação por Número de unidades de Saúde Pública	98
Figura 39: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Taxa de Chamado.....	100
Figura 40: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Taxa de Chamado	101
Figura 41: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Taxa de Chamado	101
Figura 42: Gráfico Distância Média até o Acidente por Taxa de Chamado.....	102
Figura 43: Gráfico taxa de ocupação por Taxa de Chamado	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução da população da cidade de São Paulo.....	27
Tabela 2: Crescimento do SAMU SP	49
Tabela 3: Intervalos de confiança para o tempo médio de atendimento	79
Tabela 4: Análise dos indicadores para o cenário atual de operação	81
Tabela 5: Descrição dos cenários propostos.....	83
Tabela 6: Número de ambulâncias em cada base fixas e no sistema por experimento realizado	84
Tabela 7: Variação do número de bases fixas	89
Tabela 8: Variação da taxa de chamado	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

AMA – Assistência Médica Ambulatorial

CNES – Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde

DEINFO – Departamento de Produção e Análise de Informação

EMS – *Emergency Medical Services*

EUA – Estados Unidos da América

GIS – *Geographic Information System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

SAMDU – Serviço de Assistência Médica Domiciliar de Urgência

SAMU – Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano

URAM – Unidades Rápida de Atendimento Móvel

USA – Unidade de Suporte Avançado a vida

USB – Unidade de Suporte Básico a vida

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	27
1.1 Considerações iniciais	27
1.2. Descrição do problema.....	28
1.3. Justificativa	29
1.4. Objetivo do Trabalho	29
1.5. Estrutura	30
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1. O sistema de emergência urbano	31
2.1.1. Método baseado geograficamente	32
2.1.2. Método por carga de trabalho.....	33
2.1.3. Modelagem	33
2.1.3.1. Modelagem por tempo de deslocamento	34
2.1.3.2. Modelagem por fila.....	35
2.1.3.3. Modelos utilizando múltiplos critérios	36
3. SIMULAÇÃO	37
3.1. Modelo de Simulação	37
3.1.1. Componentes e Classificações da Simulação	39
3.1.2. Etapas da Simulação	40
3.2. Software de Simulação - Anylogic	44
4. ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR.....	45
4.1. Modelo Anglo-americano.....	45
4.2. Modelo Franco-germânico.....	46
4.3. Modelo Brasileiro	47
4.3.1. Estrutura do SAMU em São Paulo	48
4.3.2. Planejamento das bases do SAMU SP	53

4.3.3. Estruturação das Filas SAMU SP	55
5. METODOLOGIA.....	57
5.1. Visão geral e decomposição do problema.....	57
5.2. Concepção do Modelo	58
5.2.1. Entidades	58
5.2.2. Atributos.....	59
5.2.3. Atividade	59
5.2.4. Evento	60
5.2.5. Estado do sistema	60
5.3. Modelo conceitual	60
5.4. Coleta de Dados	61
5.4.1. Hospitais e Instituições de Saúde Pública	61
5.4.2. Bases SAMU.....	62
5.4.3. Acidentes	64
5.4.4. Combinação e Conferência dos Dados	65
5.5. Tradução do modelo.....	67
5.6. Premissas utilizadas.....	72
5.7. Verificação e Validação do modelo	73
5.8. Regime transiente x Regime Permanente.....	75
5.9. Número de replicações e números randômicos.....	76
5.10. Descrição das variáveis de estudo	79
5.11. Cenário Atual Estimado de Operação	80
6. ANÁLISE DE CENÁRIOS.....	83
6.1. Cenário 1 – Variação no número de ambulâncias por base fixa do SAMU.....	83
6.2. Cenário 2 – Redução do Número de Bases Fixas do SAMU.....	88
6.3. Cenário 3 – Redução do número de Hospitais e Unidades de Saúde Pública	94
6.4. Cenário 4 – Variação da taxa de chamado.....	98

7. CONCLUSÃO.....	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXO A - TABELA RESULTADO CENÁRIOS	111
I – <i>Dashboard</i> Cenário 1.....	111
II – <i>Dashboard</i> Cenário 2	112
III – <i>Dashboard</i> Cenário 3	113
IV – <i>Dashboard</i> Cenário 4.....	114

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Segundo o último censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população da cidade de São Paulo era de mais de 11 milhões de habitantes. Em decorrência da situação econômica favorável, aliada com a urbanização e com a revolução industrial dos últimos 60 anos, houve um grande período de migração de outras regiões brasileiras para o sudeste, mas principalmente para a cidade de São Paulo.

Tabela 1: Evolução da população da cidade de São Paulo

Anos	População Total	Área (km ²)	Densidade (hab/km ²)
1950	2.198.096	1.624	1.354
1960	3.666.701	1.587	2.31
1970	5.924.615	1.509	3.926
1980	8.493.226	1.509	5.628
1991	9.646.185	1.509	6.392
2000	10.434.252	1.509	6.915
2010	11.253.503	1.509	7.458

Fonte: IBGE, 2020

Esse grande contingente de pessoas fez com que a população paulista aumentasse em mais de 500% entre os períodos de 1950 e 2010, tornando-se a quinta metrópole mais populosa do mundo segundo o censo de 2010. Entretanto, esse crescimento desenfreado não foi acompanhado por investimentos governamentais para suprir a necessidade da população, fazendo com que diversas pessoas vivessem em situações precárias e não tivessem acesso a serviços básicos como o de saúde.

O acesso e a qualidade dos serviços públicos de saúde na cidade são temas extremamente complexos. O sistema de emergências pré-hospitalar é um setor crucial, tendo em vista que a agilidade no processo de atendimento e deslocamento do paciente de uma ocorrência para um hospital pode determinar se um paciente tem sua vida salva ou não.

A Constituição Brasileira de 1988 apresenta que a saúde deve ser garantida pelo Estado, como pode ser visto no artigo abaixo:

Art. 196 — A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação. (BRASIL, 1988)

Com artigo presente na constituição, fica ainda mais evidente a importância de um sistema de saúde adequado para a população.

Entretanto, a grande complexidade do sistema de saúde faz com que seja extremamente desafiador o planejamento de recursos, já que este sistema apresenta alto grau de incertezas, além de ser muito sensível a alterações de agentes e de demanda. Isso evidencia a relevância de um estudo que possa avaliar a eficiência do serviço de atendimento de urgência para que se possibilite um planejamento mais apropriado dos recursos.

Sendo assim, o estudo realizado nesse trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade e agilidade do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) do município de São Paulo – SP, além de examinar a influência dos diversos agentes e seus impactos na qualidade do serviço prestado à população.

1.2. Descrição do problema

A unidade de pronto atendimento possui a responsabilidade de atender, tratar e transportar pacientes expostos a algum acidente, trauma ou condição que põe em risco a vida humana com a finalidade de aumentar a sobrevivência dos pacientes.

Embora o transporte mais comum e mais conhecido sejam as ambulâncias, os pré-atendimentos hospitalares podem ser realizados também por motocicletas e helicópteros, sendo que cada unidade de saúde possui uma equipe médica e equipamentos para o atendimento dos acidentados. Entretanto, nem todos os chamados geram uma necessidade de uma unidade de suporte à vida.

Além da equipe médica, existe uma equipe especializada que realiza o atendimento de todas as ligações recebidas. Essa equipe inicia um processo de triagem das ocorrências que tem como objetivo tanto identificar as informações básicas, como o local do acidente e quantidade de pessoas acidentadas, como também determinar a gravidade do acidente e a necessidade do deslocamento de uma unidade móvel.

Após a triagem inicial, quando há a necessidade de unidade móvel, essa se desloca até o local do acidente, presta o atendimento inicial de estabilização do acidentado e se desloca até

o hospital informado. Tendo esse processo em vista, observa-se que a sobrevivência de um paciente está diretamente ligada à gravidade do acidente, ao tempo de deslocamento em que a equipe médica realiza até o local e ao transporte do acidentado até o hospital.

1.3. Justificativa

Tendo em consideração a superlotação dos hospitais e dos serviços pré-hospitalares, elevados tempos de espera por um serviço e a precariedade dos recursos, unido com a relevância do tema de saúde pública principalmente nesse ano de 2020 no qual o mundo inteiro está vivenciando uma pandemia, fica evidente a importância da temática estudada.

Com o objetivo de aumentar a probabilidade de sobrevivência de um paciente acidentado, buscou-se entender a natureza da gravidade de um acidente e a influência de fatores nos tempos de deslocamentos.

O acidente é algo sobre o que não se tem controle, já que este tem natureza probabilística em que não se pode prever ao certo a localização, o momento e a gravidade em que a urgência irá acontecer. O tempo de deslocamento também não pode ser previsto, já que depende da localização do acidente, entretanto, este é extremamente influenciado pela disposição geográfica das bases fixas do SAMU e hospitais, além da disponibilidade de unidades móveis, o que afeta diretamente a sobrevivência do paciente.

Tendo em vista prestar um melhor atendimento, o presente trabalho se motiva em desenvolver uma ferramenta que avalia a influência dos agentes nos parâmetros de qualidade e agilidade dos atendimentos, para um auxílio na apuração da capacidade dos atendimentos pré-hospitalares de urgência.

A justificativa da pesquisa provém da percepção do baixo conhecimento sobre o tema de pré-atendimento hospitalar, além da proporção em que questões de saúde se apresentaram nesse ano de pandemia global, como também o fato da natureza probabilística dos acidentes ser mais facilmente exemplificada em modelos de simulação.

1.4. Objetivo do Trabalho

O objetivo da presente pesquisa é, inicialmente, propor uma formulação do modelo atual de atendimento pré-hospitalar por meio da definição das localizações e quantidades dos agentes Bases fixas do SAMU; Hospitais e Unidades de Saúde Públicas; Ambulâncias e Acidentes em uma macrorregião da cidade de São Paulo e utilizando do *software Anylogic*.

Buscou-se também realizar experimentos para quatro cenários propostos com o propósito de avaliar o desempenho do sistema considerando diversas composições de parâmetros dos agentes estudados, comparando-os entre si e com a solução atual, com o objetivo central de contribuir com a melhoria do sistema de atendimento pré-hospitalar a partir da redução dos tempos de deslocamentos e tempo de atendimento total de uma unidade.

1.5. Estrutura

O presente trabalho de formatura é composto por seis capítulos, sendo o primeiro deles a Introdução, na qual é apresentado, em linhas gerais, o contexto inicial do trabalho em questão, o problema a ser estudado e os objetivos esperados com o estudo.

O segundo capítulo é a revisão bibliográfica em que se buscou fundamentação teórica para o desenvolvimento do projeto. Neste capítulo é apresentado o funcionamento do sistema de emergência urbano, além de diretrizes históricas do funcionamento do modelo de alocação dos agentes que prestam esse serviço.

O terceiro capítulo apresenta a criação e funcionamento de um modelo de simulação e como ele possibilita uma análise de um cenário ao longo do tempo por meio correlação de aspectos matemáticos, lógicos e da relação entre entidades. Além disso, esse capítulo trouxe explicação sobre o *software* de simulação utilizado nesse trabalho.

No quarto capítulo foi apresentada a evolução histórica do atendimento pré-hospitalar e como o modelo brasileiro foi influenciado tanto pelo modelo anglo-americano quanto franco-germânico. Apresentou-se também a estrutura e planejamento do SAMU em São Paulo.

O quinto capítulo descreve a metodologia utilizada neste estudo e na construção de toda a jornada de um chamado de urgência, identificando o relacionamento das entidades, seus atributos e todos os eventos que causam alterações no sistema. Foi apresentada também toda a extração dos dados para o modelo, as premissas utilizadas para, no fim, realizar a simulação do modelo atual de atendimento pré-hospitalar.

O sexto capítulo retrata os testes computacionais realizados para os quatro cenários propostos de variação das entidades do sistema evidenciando a influência dos agentes nos indicadores propostos tais como os tempos de descolamento e a taxa de operação das ambulâncias.

O sétimo e último capítulo apresenta a conclusão da pesquisa frente à capacidade do sistema nos cenários apresentados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada nesse capítulo tem como objetivo analisar a fundamentação teórica para o sistema de emergência urbano.

2.1. O sistema de emergência urbano

Serviço de ambulâncias para emergências SAMU, bombeiros, policiamento urbano são exemplos similares de sistemas de serviços de emergência urbano. Eles cumprem um papel essencial na sociedade: o de promover o estado de bem-estar social necessário para o cidadão. Esses sistemas operam sobre um ambiente complexo, em que a demanda tem uma grande variação ao longo do tempo e dificilmente pode ser prevista, além de seguirem restrições legais, políticas e administrativas que são, muitas vezes, orientadas por interesses conflitantes.

A segunda é que para cada chamado classificado como urgente e verdadeiro, um ou mais veículos são enviados para o local do incidente. O terceiro e último é que há uma relação direta entre a qualidade percebida do serviço e a rapidez com que o veículo chega ao local.

Entretanto, os serviços de emergências possuem algumas características que podem divergir entre si. A primeira delas é que alguns serviços possuem localizações iniciais fixas e, no momento que é realizado o chamado, os veículos são enviados dessa localização, esse é o caso do SAMU e dos bombeiros, que apresentam postos distribuídos ao longo da cidade. Outros possuem, além das localizações fixas, as localizações móveis, tais como a polícia, a qual possui carros que realizam rondas na cidade, podendo atender incidentes caso estejam mais perto.

A segunda é que, quando se recebe um chamado, esse chamado é classificado segundo a sua urgência e necessidade de atendimento imediato, porém, há diferentes níveis de urgência para cada serviço urbano. Além disso, é necessário identificar possíveis alarmes falsos e trotes que ocorrem quando se recebe um chamado. Identificar, através do telefone, a urgência de um chamado é uma habilidade extremamente necessária para que o sistema não se sobrecarregue e, quando realmente necessário, os atendimentos urgentes possam ser realizados o mais rápido possível.

A terceira e última característica que difere entre os sistemas é que, para alguns serviços de urgência, o tempo entre atendimentos é utilizado para outras atividades importantes. Para o serviço de policiamento, o tempo entre atendimento pode ser utilizado para realização de patrulhamento de rotina, treinamento, preenchimento de relatórios entre outros. No caso do SAMU, por mais que um atendimento urgente seja mais importante que qualquer outra atividade secundária, uma ambulância não pode ir de um atendimento para outro, é necessário

o retorno para o posto fixo para manutenção e reabastecimento de equipamentos, já que a unidade móvel é preparada somente para a assistência de uma ocorrência.

Há diversos fatores que influenciam a seleção e alocação dos serviços de urgência; alguns exemplos que podem ser considerados para se analisar a eficiência e disponibilidade dos serviços de ambulâncias, tais como a quantidade de veículos disponíveis para realizar os atendimentos; a quantidade de funcionários em serviço para cada unidade fixa e móvel disponíveis; a localização e atendimento de cada unidade fixa; a prioridade referente a cada ocorrência recebida, conjuntamente com as circunstâncias da fila de ocorrências; quantidade de veículos necessários para atendimento de uma ocorrência; e se é necessário uma categoria de veículo específico para o atendimento.

Esses são fatores importantes e decisivos para determinar a localização e número unidades necessárias para atender regiões de uma cidade. Para tal, existem métodos que buscam atender melhor esses fatores.

2.1.1. Método baseado geograficamente

Esse método de decisão avalia o território geográfico da área estudada para determinar o número e localizações dos estabelecimentos fixos. Ele reforça critérios padronizados para o nível de serviço, ou seja, a necessidade de um estabelecimento e veículos para atender certa área. Entretanto, esse número pode variar para as diferentes classificações de áreas estudadas. Para uma região com alta densidade populacional, a necessidade de um estabelecimento fixo é maior que para uma região (com a mesma superfície territorial) menos densa. Sendo assim, os critérios variam entre as regiões, porém são iguais para áreas classificadas como semelhantes.

Portanto, essa análise pode gerar um problema de ociosidade ou superlotação do serviço urbano, já que, não necessariamente as áreas classificadas como semelhantes seguem o mesmo padrão de demanda pelos serviços. Uma resposta para um atendimento vai muito além da distância que o estabelecimento se encontra, depende também de fatores como filas de outros atendimentos, atrasos para envio do veículo, velocidade que pode ser empregada naquela região, probabilidade de possuir veículos disponíveis e muitos outros fatores.

Conclui-se que esse não é o método mais assertivo para se quantificar a necessidade de localidades fixas de um serviço de emergência urbano.

2.1.2. Método por carga de trabalho

Ao invés de olhar apenas um critério como o método geográfico, a análise por carga de trabalho busca avaliar um conjunto de fatores subjetivos de maneira a fazer uma alocação de necessidade de novos funcionários, veículos ou localizações.

Uma das fórmulas mais conhecidas para o serviço de policiamento foi do Wilson (1993) em que se combinaram indicadores de atividade (número de prisões; número de chamados para serviços, número de portas e janelas que precisavam ser chegadas) com outros fatores (número de quilômetros rodados; número de crimes) para chegar em uma avaliação para cada área.

Em seguida, foram inseridos pesos para cada um desses critérios e, assim, a partir dos dados obtidos e os pesos definidos para cada um dos critérios, foi calculada a pontuação dos estabelecimentos estudados.

Entretanto, esse procedimento muitas vezes não gera valores satisfatórios, sendo necessário o julgamento manual do conjunto solução para uma alocação mais condizente com a necessidade. Um dos motivos para tal é que, mesmo com os critérios e pesos definidos, esse modelo não consegue prever atrasos em períodos de alta demanda.

Soma-se a isso o fato da avaliação por esse método ser realizada linearmente a partir da construção dos critérios e quantificação dos pesos, porém, com o objetivo de avaliar uma demanda complexa e não linear que é a requisição de chamados em uma região. Além de que essa metodologia busca atender, através de uma simples representação determinística, um sistema em que muitos dos critérios são probabilísticos.

Ainda assim, a característica que mais gera inconsistência no método é a dificuldade em determinar os pesos de cada critério. A alocação dos pesos é algo extremamente subjetivo, que compromete a resolução de um problema que segue uma guia lógica.

Com o aumento da implementação digital conjuntamente do avanço da tecnologia e de *softwares* matemáticos, teorias de alocações de emergências como esta começaram a cair em desuso.

2.1.3. Modelagem

O método em que esse trabalho se baseia é na construção e análise matemática de modelos de operação. A modelagem de sistemas de emergências urbanos, apresenta duas diferentes características. A primeira é que a distribuição de incidentes e respostas ao logo da área da cidade ocorre de forma probabilística, a segunda é que a demanda e o serviço necessário ao longo do tempo também são probabilísticos.

Com relação à primeira, temos que sua característica reflete na geolocalização dos pontos fixos dos serviços de atendimento, sendo assim, dependendo de onde estão alocados, pode-se aumentar muito a distância percorrida para um atendimento. Já a segunda, reflete na análise temporal dos incidentes, já que possíveis picos na demanda podem ocasionar atrasos e aumento de filas de atendimento.

Também é possível utilizar esses dois modelos de alocação e muitos outros de forma conjunta, incorporando uma modelagem com múltiplos critérios complexos para avaliar a melhor forma de alocação.

Esses métodos de modelagem de um sistema de emergência urbano vão ser descritos nos próximos tópicos.

2.1.3.1. Modelagem por tempo de deslocamento

O tempo de deslocamento de uma unidade até o ponto da ocorrência corresponde a uma das maiores frações do tempo de resposta para uma operação estável. Para tal, uma modelagem por tempo de deslocamento avalia características que influenciam a alteração da duração do trajeto como características geográficas, número de unidades, taxa de chamados, sendo necessário avaliar as probabilidades de combinações entre esses fatores, além de regras de prioridade para cada nível de urgência.

Kolesar (1973) foi um pesquisador que estudou os dados e resultados de modelos que avaliavam o tempo de deslocamento de um serviço de urgência, além de outros modelos complexos, e chegou a uma aproximação condizente para casos em que o regime de atendimento não estava em extrema superlotação. Essa aproximação é que o tempo de deslocamento é inversamente proporcional a raiz quadrada da média de unidades disponíveis. A partir desse resultado, seria possível determinar quantos veículos são necessárias para cada região geográfica da seguinte forma:

Primeiramente, é necessário determinar a constante de proporcionalidade entre o tempo de deslocamento e o número médio de unidades disponíveis, para tal, seria utilizado os dados coletados na região a ser estudada. Após, seria determinado, também por meio dos dados, a taxa de chamados pela região. Em seguida, seria utilizado o método de filas (estudado no tópico a seguir), para se determinar a quantidade de unidades médias disponíveis. Com essas informações, seria possível calcular a média de tempo de deslocamento.

2.1.3.2. Modelagem por fila

Entender e aplicar modelos que analisam a fila de um sistema de emergência urbano é de extrema relevância, já que a percepção de qualidade e a probabilidade de um atendimento efetivo está diretamente ligada ao tempo de resposta de uma unidade chegar até o local. No caso do serviço de saúde pública isso se torna ainda mais relevante e essencial, pois o tempo e urgência de um atendimento pode salvar vidas de muitos pacientes.

Desse modo, é necessário muito cuidado com superlotação do sistema e grandes filas para atendimento de chamados, pois caso haja alguma ocorrência com grande urgência, corre-se o risco de não possuir nenhuma unidade para lhe atender. Essa análise vai ao encontro de um dos objetivos primários de serviços de emergência urbanos, que é exatamente em reduzir a probabilidade em que uma ligação urgente ocorra e o atendimento atrasse pelo fato de não haver veículos ou funcionários disponíveis para prestar suporte.

A característica probabilística da demanda faz com que seja extremamente difícil prever e garantir que todas essas novas urgências tenham uma unidade para pronto atendê-las, ou seja, há uma possibilidade que essa emergência espere o atendimento em uma fila e que essa fila seja priorizada a depender da gravidade do acidente.

Stevenson (1970) foi um pesquisador que, na década de 70, aplicou um modelo para determinar o número de ambulâncias necessárias em uma região a partir de uma taxa de ligações recebidas de forma a assegurar que apenas 1%, 5% e 10% (esses valores eram alterados conforme a necessidade do estudo) dos chamados entrassem na fila de espera. Definindo uma taxa de ligações, era possível se analisar a probabilidade da entrada de um chamado entrar na lista de espera e determinar a quantidade de ambulâncias necessárias.

O interessante desse estudo é que Stevenson (1970) percebeu, a partir de suas análises, que para se atingir o indicador de fila de espera estipulado o número de ambulâncias necessárias para atender uma região aumentava conforme o aumento da taxa de chamados recebidos, como era de se esperar. Entretanto, o que ele percebeu foi que esse aumento não era diretamente proporcional à taxa de ligações, já que o dobro da taxa de ligações não reflete no dobro de necessidade de ambulâncias e sim um valor menor. Esse estudo fez com que diversas fórmulas utilizadas anteriormente que traziam a proporcionalidade direta entre taxa de chegada e fila ficassem defasadas.

2.1.3.3. Modelos utilizando múltiplos critérios

Além dos métodos que avaliam especificamente o tempo de deslocamento de uma unidade de um serviço de emergência até o acidente e o tempo de fila para um novo chamado, existem modelos que analisam mais de um critério, estes chamados de modelos de múltiplos critérios.

Esses modelos tendem a ser mais robustos, já que analisar um critério especificamente tende a não ser suficiente para determinar o número de unidades necessárias para um serviço de atendimento de urgência. Primeiro porque modelos simples, como os apresentados, não relacionam atividades secundárias de um serviço de urgência, como reabastecimento de equipamentos e manutenção, estes avaliam apenas a resposta a chamados. Segundo porque as variáveis sendo analisadas de forma isolada dificilmente geram resultados com confiabilidade, já que o sistema no qual se encontram é muito mais complexo.

Devido à necessidade e importância de analisar, de forma confiável, o desempenho de resposta a um atendimento, começou-se a estudar o emprego de múltiplos critérios com objetivo de se chegar em uma resposta mais adequada.

Um estudo de múltiplos critérios foi realizado por Larson (1969), no qual foi utilizado um programa matemático para se avaliar a necessidade de uma alocação de um veículo policial. Esse programa utilizava do tempo de fila de atendimentos, um sistema complexo de deslocamento e um modelo de frequência de patrulha preventiva para gerar seus resultados.

Nesse modelo, era necessário estipular os limites máximos de cada um dos critérios, para que, caso o resultado da simulação atingisse o limite máximo, um novo veículo fosse necessário. A partir desse momento, o modelo era testado novamente e verificado se nenhum limite máximo era atingido, assim se seguia com relação a novos limites estabelecidos.

Muito diferente do método de carga de trabalho apresentado anteriormente, esse algoritmo traz mais confiabilidade na alocação de veículos por refletir mais fielmente características de um sistema de emergência urbano.

Entretanto, o cálculo desse modelo é extremamente desgastante para se fazer manualmente, sendo então necessário um auxílio de um computador para que a resposta ótima fosse calculada de forma rápida.

Mostrando-se tão mais eficaz o modelo de simulação de múltiplos critérios e com o avanço dos *softwares* e tecnologia, vemos cada vez mais a possibilidade de criar sistemas que representam mais fielmente o ambiente real, tornando as decisões mais assertivas e confiáveis.

3. SIMULAÇÃO

O presente capítulo busca apresentar funcionamento de um modelo de simulação desde a sua criação até a sua implementação.

3.1. Modelo de Simulação

Segundo Banks e Carson (1984, p.3), “simulação é a imitação de processos ou sistemas reais em um período determinado”. Isso implica na possibilidade de formulação e análise de uma situação ao longo do tempo a partir da correlação de aspectos matemáticos, lógicos e da relação entre entidades.

A simulação possui diversos usos práticos no mundo real para resoluções de problemas complexos, entretanto possui algumas aplicações em que são mais apropriadas. Para Banks e Carson (1984) e Miyagi (2002) alguns exemplos de aplicações tidos como apropriadas são descritas abaixo:

- Para um estudo e experimentação com interações internas de um sistema complexo ou de um subsistema de um sistema complexo;
- Para observação comportamental do modelo a partir de mudanças informacionais, organizacionais e com relação ao meio;
- Para sugestão de melhorias de um sistema em estudo a partir do ganho de conhecimento no desenho da simulação;
- Para observação de quais variáveis mais influenciam no modelo, mudando as entradas e observando os resultados obtidos nas saídas;
- Para experimentação de novos projetos ou novos procedimentos antes de implementá-los;
- Para resolução e verificação de soluções analíticas.

A grande aplicabilidade das simulações faz com que ela se torne um poderoso artifício para resolver diversos problemas complexos em engenharia e em outras áreas de conhecimento. Para Miyagi (2002) e Banks e Carson (1984), algumas das áreas de utilização identificadas são:

Sistemas de manufatura

A aplicabilidade em sistemas de manufatura permite uma análise de sistemas em que há uma manipulação e movimentação de materiais; modelagem de operações de montagem de produtos; planejamento da inter-operação entre sistemas de estoques; e manufatura ágil de

forma a verificar a distribuição do sistema, construção de sistemas inteligentes e de sistemas autônomos.

Sistemas de saúde

Para os sistemas de saúde, as aplicações da simulação podem ser descritas tal como avaliação do custo e faturamento de produtos farmacêuticos; otimização dos atendimentos em ambulatório; gerenciamento dos recursos hospitalares; melhorar o desempenho de um hospital; e reduzir a superlotação de emergências.

Sistemas envolvendo recursos naturais

Com relação a sistemas que envolve recursos naturais, as simulações possibilitam o gerenciamento de sistemas de coleta de lixo; a análise da eficiência de operação de plantas nucleares e análise de atividades de restauração do ambiente;

Sistemas de transporte

Para os sistemas de transporte, as simulações são benéficas para a análise de transferências de cargas; operações de containers em portos; verificação dos postos de pedágio flexíveis de acordo com a demanda; e administração de suprimentos médios em um evento catastrófico.

Sistemas de construção civil

Em um sistema de construção civil, as simulações permitem a reprodução de processos de montagens de pontes suspensas; a análise de novos paradigmas do processo construtivo; e verificação da interface para as ferramentas de projeto e construção.

Sistemas de restaurantes e entretenimento

Para sistemas de restaurantes e entretenimento a simulação possibilita a análise do fluxo de clientes em fast-foods; determinação do número ideal de funcionários de empresas de serviços; avaliação de atividades em parques temáticos.

Reengenharia e processos de negócios

Para simulações de reengenharia e processos de negócios, há a possibilidade de integração de sistemas baseados nos fluxos de tarefas; e análises de soluções de engenharia.

Processamento de alimentos

Para análise de processamento de alimentos, as simulações possibilitam a avaliação de operações no processamento de pescados, carnes e aves; e avaliação da capacidade de processamento de cereais.

Sistemas computacionais

Há a possibilidade também de simular sistemas computacionais de modo a avaliar os sistemas com arquitetura de Cliente/Servidor; e avaliação de redes heterogêneas.

Além de todas essas aplicabilidades apresentadas acima, para evidenciar ainda mais a eficácia dessa ferramenta tem-se o exemplo publicado na revista acadêmica *Interfaces* (Interfaces, v. 37, no. 6, 2007, p.553-565) de uma empresa americana no setor de impressão que, através da simulação da produção e da cadeia de distribuição e otimização do modelo de rotas e pedidos, conseguiu trazer uma economia de custo de mais de U\$10 milhões por ano.

3.1.1. Componentes e Classificações da Simulação

Segundo Miyagi (2002, p.3) “Um sistema é definido como um grupo de objetos que estão agregados de acordo com uma relação de interdependência para atingir certos objetivos.”. Vale ressaltar que esse sistema pode ser afetado por alterações externas, para tal, é necessário analisar as fronteiras do sistema para identificar quais são os componentes externos e quais são os componentes internos do sistema, sendo que definição da fronteira é uma decisão a ser tomada a depender do propósito do estudo.

Para Miyagi (2002), existem cinco componentes pré-definidos do sistema que possibilitam melhor entendimento e análise do mesmo, estes são:

- **Entidade:** este é o objeto de interesse do sistema;
- **Atributo:** sendo a propriedade da entidade;
- **Atividade:** representando qualquer processo que causa mudança no sistema;
- **Estado do sistema:** é a coleção de variáveis que descrevem o sistema em qualquer momento da simulação;
- **Evento:** é uma ocorrência instantânea em que ocorre a mudança do estado do sistema;

Um modelo é uma simplificação de um sistema complexo e varia com a proposta de cada estudo, para isso é necessário a identificação apenas dos aspectos que afetam o problema a ser estudado.

Para melhor estudo e caracterização dos modelos de simulação, estes podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos; determinísticos ou estocásticos; discretos ou contínuos.

Os modelos estáticos, como o próprio nome já diz, representam um sistema em um momento específico de tempo. Também conhecidos como Simulação de Monte-Carlo, estes se comportam em função apenas dos eventos atuais, desconsiderando assim os eventos passados. Os modelos dinâmicos representam como o sistema se altera ao longo do tempo, considerando os eventos ocorridos anteriormente.

Com relação a modelos determinísticos, estes não possuem variáveis aleatórias, apenas um conjunto conhecido de variáveis de entrada que resultam em um único conjunto de saída. Os modelos estocásticos possuem uma ou mais variáveis aleatórias como entrada. Sendo que, variáveis randômicas de entrada resultam diferentes conjuntos de saída.

Por fim, os modelos discretos, as variáveis são alteradas em um conjunto de momentos específicos do tempo, a partir da ocorrência de eventos determinados, alterando o estado do sistema da mesma forma. Nos modelos contínuos, as variáveis se alteram continuamente ao longo do tempo de simulação, não dependendo de momentos específicos.

3.1.2. Etapas da Simulação

Segundo Banks e Carson (1984), um modelo de simulação é construído em 4 fases, sendo composto, em sua totalidade, por 12 passos. Trazendo um breve resumo de cada um desses passos, o primeiro deles é a formulação do problema. Esse passo é o ponto de partida, nele inicia-se com a definição do problema a ser simulado. É importante ressaltar que todos os *stakeholders* do projeto entendam o problema para que consigam dar prosseguimento à simulação, de modo a diminuir o risco de o problema precisar ser reformulado ao longo do estudo;

O segundo é estabelecer o objetivo e o plano do projeto, passo que tem como objetivo indicar as questões a serem sanadas pela simulação. É necessário determinar qual é a metodologia utilizada para simulação e qual é o planejamento do projeto para atingir o objetivo identificado. O plano do projeto deve incluir soluções de sistemas alternativos; método de avaliar a efetividade das soluções; um plano de estudo em relação a pessoas envolvidas; o custo previsto; o número de dias para completar cada fase do estudo; e os resultados previstos ao final de cada fase.

O próximo passo é a concepção do modelo. Neste se vê necessário ter uma habilidade de abstrair as características essenciais de um problema para conseguir chegar em um modelo

inicial. Tende-se a começar um modelo de forma simples, para que, a partir da modificação de suposições e iterações do modelo, chegue a modelos mais complexos resultando em melhor qualidade e aumentando a confiança do mesmo.

O quarto passo é a coleta de dados para alimentar o sistema. Os dados necessários para entrada no modelo possuem relação com a forma como o modelo foi elaborado, sendo assim, conforme o sistema se torna mais complexo, a necessidade dos dados também pode se alterar.

O passo seguinte é a tradução do modelo. Os modelos que imitam os sistemas do mundo real tendem a ter a necessidade de registro e processamento de um grande volume de informações, sendo necessária a elaboração através de programa de computador. É necessário decidir se será utilizado um modelo em uma linguagem de programação ou pacotes de *softwares* específicos. As linguagens de programação tendem a ser mais robustas e flexíveis que os pacotes de simulação, entretanto é necessário despender mais tempo para construção do modelo. Já os pacotes simplificam e tornam mais ágil a tradução do modelo e, cada vez mais, estão se tornando mais flexíveis para construção do modelo, sendo assim, caso seja possível, é recomendado o uso de pacotes de *softwares*.

O sexto passo é a verificação do modelo. Nessa etapa se edita o modelo e a programação realizada por meio de processos iterativos, corrigindo possíveis distorções, a fim de prepará-lo para simulação. Verifica-se também se o programa executa o modelo conforme a expectativa e se a simulação produz resultados válidos.

O passo subsequente é a validação do modelo, em que se determina se o modelo apresentado possui a assertividade necessária para representar o sistema real. A validação é atingida a partir da calibração do modelo, este também um processo iterativo no qual se realiza uma comparação do comportamento do sistema real e do modelo, analisando-se as discrepâncias entre ambas e efetuando-se possíveis correções.

O oitavo passo é a determinação do projeto experimental, na qual ocorre a definição e detalhamento dos cenários alternativos que serão simulados. Na maior parte dos casos, a decisão frente a quais alternativas vão ser simuladas é em função da quantidade de rodadas que serão finalizadas e analisadas. Sendo que, para cada um dos projetos simulados, é necessária a decisão de termo de aquecimento (*warm-up period*), tempo total de simulação e número de replicações.

O passo seguinte é a própria execução do modelo e sua análise. Nessa etapa, a simulação do modelo é realizada para que seja gerado um conjunto de resultados, para que, ao serem analisados, seja estimado o desempenho do sistema.

O passo posterior são as execuções adicionais da simulação caso necessidade. A partir dos resultados obtidos nas simulações realizadas, determina-se a necessidade de experimentos adicionais e se novas restrições devem ser consideradas no projeto.

O décimo primeiro passo é a documentação do modelo e dos relatórios de resultados. A primeira documentação necessária é a do programa do modelo de simulação, no qual será descrito todo o processo de tradução do modelo e programação para que, caso usado novamente, os usuários possam confiar nos dados obtidos através dele. A segunda é a documentação do experimento, na qual será descrita toda trajetória do projeto realizado, apresentando-se os resultados e as análises obtidas de forma clara em um relatório. Ambas as documentações trazem facilidade para manutenções futuras e compreensão de outros usuários quanto ao uso.

Por fim segue-se para o passo de implementação do modelo. O sucesso na implementação está ligado a como as etapas anteriores foram cumpridas, de forma que, se os *stakeholders* estiveram presentes em todo o processo necessário e estes entendem da natureza do modelo, seu conjunto de resultados e a confiabilidade do modelo, o processo de implementação se torna mais simples.

Com relação às 4 fases do modelo de simulação, a fase 1 consiste no período de descoberta e orientação sobre o problema a ser estudado, consistindo dos dois primeiros passos na construção, a Formulação do problema; Definição dos objetivos e o plano do projeto.

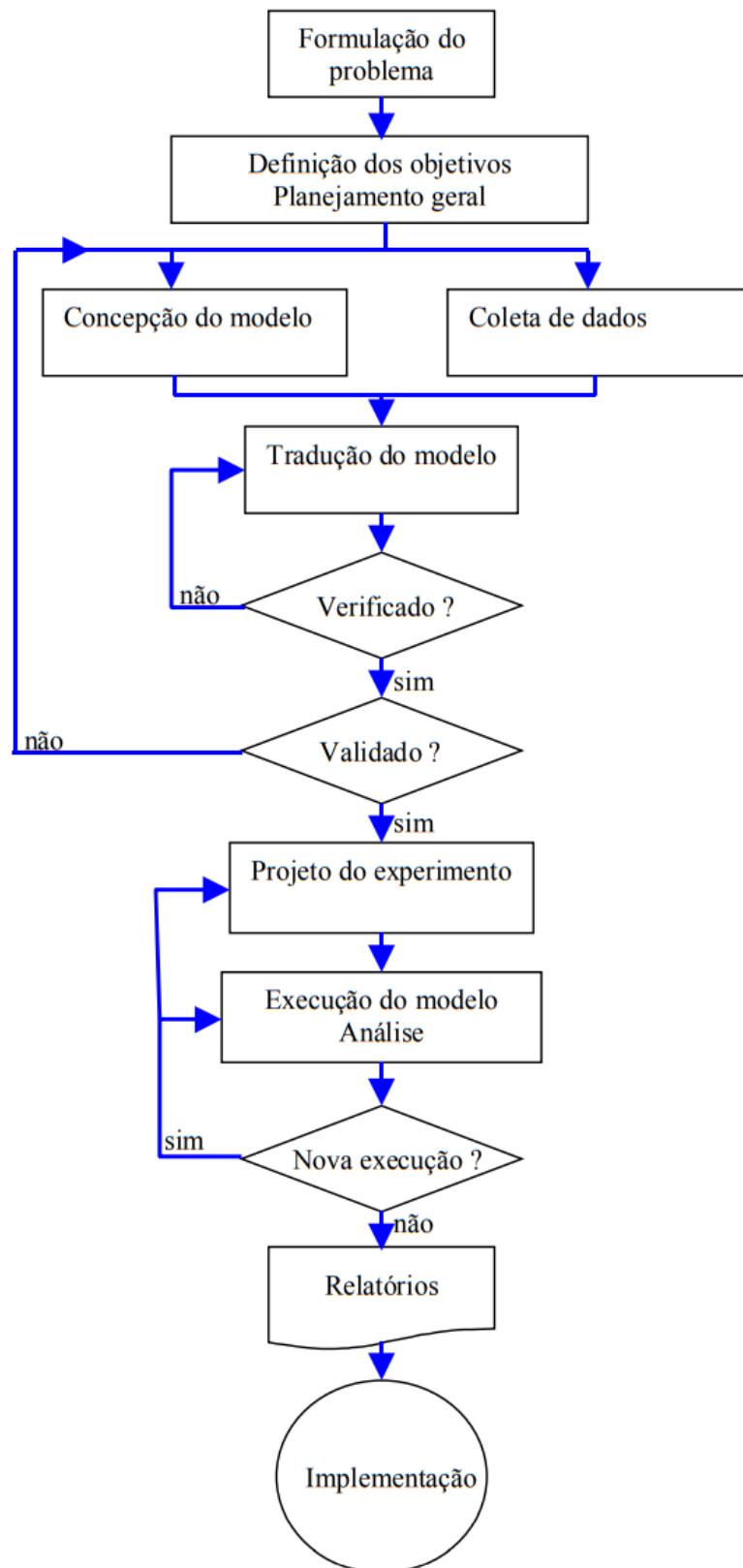
A fase 2 está relacionada à concepção do modelo e à coleta de dados, consistindo nas cinco próximas etapas da construção. São elas a Concepção do modelo, Coleta de dados, Tradução do modelo; Verificação; e Validação. Vale ressaltar que nessa fase os processos são iterativos, podendo a qualquer momento voltar para os passos anteriores.

A fase 3 consiste na execução do modelo, esta envolvendo os três próximos passos, sendo eles o Plano experimental; Execução do modelo e análise; Execuções adicionais da simulação. Nesta fase é necessário um conhecimento para o plano de experimentação, já que as variáveis de saídas podem conter erros aleatórios. Sendo assim, é necessária uma análise estatística para mitigação desses erros apresentados.

A fase 4 está relacionada à implementação do estudo analisado, consistindo das duas últimas etapas, Documentação e relatórios de resultados; e Implementação. O sucesso dessa fase se dá a partir do sucesso das fases anteriores e o envolvimento de todos os *stakeholders* que inferem no modelo.

A Figura 1 a seguir mostra os passos para construção desse modelo, mostrando que esse processo não é um fluxo direto, sendo necessárias diversas iterações para que o modelo esteja completo.

Figura 1: Procedimento básico para análise de sistemas por simulação



Fonte: MIYAGI, 2004, p.7

3.2. Software de Simulação - *Anylogic*

O *software* utilizado na construção desse trabalho foi o *Anylogic*. Esse *software* é uma ferramenta de modelagem de simulação multi-método que suporta modelagem por eventos discretos, baseada em agentes e sistemas dinâmicos.

O grande diferencial do *Anylogic* é que ele permite que o usuário modele seu problema utilizando um ou mais métodos, combinando-os, e ainda possibilita um certo nível de abstração que captura a complexidade e heterogeneidade dos processos.

Podendo ser utilizado desde modelagem de manufatura e logística até para dinâmicas de sistema econômico e interações sociais, o *Anylogic* inclui biblioteca de objetos para modelagem de processos, mobilidade, interações, outras diversas formas de comportamentos para os agentes, estoques e fluxos para sistemas dinâmicos. Essas bibliotecas facilitaram na construção desse trabalho, já que a relação entre os agentes e a biblioteca que já é fornecida proporcionou agilidade e assertividade do modelo. Embora o *Anylogic* utilize da programação baseada em Java, não foi necessária grande complexidade na programação já que os agentes e bibliotecas já estavam ali presentes.

Um dos grandes diferenciais do programa é a parte da “animação”. O editor suporta diferentes formas geográficas, controles, imagens, *Geographic Information System* (GIS) que facilitam não só a construção do modelo, mas também o deixa mais visual, auxiliando na própria validação do mesmo.

A possibilidade de uso de mapas GIS proporcionou o posicionamento dos agentes estudados como postos do SAMU e hospitais. Além disso, viabilizou enxergar o trajeto realizado pelas ambulâncias, sendo uma ótima forma de validação do modelo.

Sendo assim, o *Anylogic* se mostrou uma ferramenta poderosa e capaz de suportar o fluxo de simulação das ambulâncias na cidade de São Paulo que é mostrado nesse trabalho.

4. ATENDIMENTO PRÉ-HOSPITALAR

Os serviços de atendimento pré-hospitalar, que hoje salvam milhares de vidas, foram iniciados apenas com objetivo de um tratamento inicial das vítimas e posteriormente um transporte simples dessas vítimas para outro ambiente.

Essa ideia de atendimento de pacientes fora de um ambiente hospitalar surgiu pela necessidade do contexto de guerra, no qual foi identificado pelo cirurgião militar Baron Dominique Jean Larrey (1766-1842), no ano de 1796, a eficácia de se tratar feridos no próprio campo de batalha. O cirurgião criou um sistema no qual os soldados treinados iniciavam o tratamento dos pacientes em campo e posteriormente os transportavam para o hospital para serem tratados.

Nos Estados Unidos da América (EUA) ocorreu uma experiência semelhante, em que, na Guerra de Secessão, foi organizado o primeiro tratamento e transporte de feridos em campo.

A partir desse momento, diversas iniciativas começaram a surgir na Europa e EUA, entretanto essas iniciativas eram focadas em necessidades pontuais, até que a partir do final da década de 1960 a ideia de atendimento pré-hospitalar se expandiu, potencializada pela evolução na medicina e pelos avanços tecnológicos da saúde.

Entretanto, a evolução desses serviços nessas duas regiões se deu de maneiras distintas, gerando modelos de assistências e formas de organizações diferentes. Estes podem ser agrupados em dois tipos distintos, o modelo anglo-americano e o modelo franco-germânico. Ainda assim, grande parte dos serviços de atendimento no mundo possuem suas peculiaridades e composições sendo influenciadas pelos dois modelos, como é o caso do modelo brasileiro. Tanto os dois modelos originais quanto o modelo brasileiro serão tratados a seguir.

4.1. Modelo Anglo-americano

Nos Estados Unidos chamados de *Emergency Medical Services* (EMS), os serviços de atendimentos se iniciaram no ano de 1966 devido ao aumento da mortalidade em acidentes de trânsito e ao impacto econômico orçamentário gerado no país. Primeiramente, ele foi tratado como responsabilidade do Departamento de Transportes por estar extremamente voltado a acidentes de trânsitos.

Entretanto, os avanços na Medicina de Urgência ocorridos na década de 60 (que introduziram novas técnicas de suporte à vida em ambientes pré-hospitalares conjuntamente com o retorno de diversos médicos militares da Guerra do Vietnã, os quais trouxeram diversas

técnicas avançadas de tratamento de feridos), fizeram com que as EMS introduzissem diversos novos métodos de tratamento de pacientes.

Com o avanço da sua responsabilidade, a responsabilidades sobre a EMS foi transferida para o Departamento de Saúde, Educação e Bem-estar Social em 1973, o que contribuiu para um financiamento federal, possibilitando uma cobertura nacional para EMS.

Esse histórico híbrido é uma característica que influencia o modelo anglo-americano de atendimento, o qual possui como principal particularidade a ausência de um profissional médico na estrutura de serviços. O primeiro contato do paciente é com um socorrista, podendo ser um policial, bombeiro ou cidadão. Esses profissionais são treinados em primeiros socorros e suporte básico a vida, de modo que este modelo possibilita apenas um suporte simples e inicial de um paciente.

Portanto, esse modelo tem como objetivo um rápido deslocamento do paciente até o destino, o hospital, para que seja atendido por um médico ou enfermeiro nos departamentos de urgências, por mais que muitos paramédicos sejam qualificados para prestarem serviços de atendimentos avançados no local.

4.2. Modelo Franco-germânico

O modelo franco-germânico influenciou a forma de desenvolvimento dos serviços de atendimento de urgência em diversos países europeus como Portugal, Espanha e Itália. Como o próprio nome já diz, suas características são provenientes da formação dos serviços de atendimento na França e Alemanha.

Esse modelo possui como principal característica o transporte do médico até o paciente, ou seja, o médico se encontra presente desde o início do pré-atendimento. Historicamente, as primeiras ambulâncias tripuladas por médicos foram inseridas na Alemanha em 1957, proporcionando um atendimento que já contava com inovações tecnológicas como o tratamento de parada cardiorrespiratória.

A partir de meados do ano de 1970, os sistemas de atendimento pré-hospitalares começaram a difundir por toda Alemanha, sempre seguindo a mesma premissa de levar os médicos até os pacientes de maneira mais rápida.

Entretanto, essa centralidade do médico na gestão de serviços de urgências urbanos não é proveniente apenas da Alemanha. Ela teve origem na França, país no qual, em 1955, foram criadas as primeiras equipes móveis de atendimento, com equipe constituída por médicos e associadas a hospitais. Esse serviço foi iniciado com a finalidade de prestar atendimento a

pacientes vítimas de acidentes rodoviários e realizar a transferências para os hospitais associados.

Em 1987, o governo federal francês decretou que o serviço de atendimento pré-hospitalar tinha como propósito responder, por meios exclusivamente médicos, às situações de urgência, além de se responsabilizar pela capacitação dos médicos de urgência.

As características históricas do modelo desenvolvido na Alemanha e na França possibilitam o entendimento das peculiaridades do modelo franco-germânico. Pelo médico participar intensamente da assistência ao paciente de urgência, da organização e gestão do sistema, esses modelos, em sua maioria, são considerados partes integrantes de um sistema de saúde e serviços públicos. Estes médicos possuem ainda a autonomia de tratar pacientes no local da urgência e de decidir não os transportar a um hospital caso não seja necessário.

4.3. Modelo Brasileiro

Da mesma forma que os dois modelos anteriormente apresentados, o modelo brasileiro de serviços de atendimento pré-hospitalar também é fruto de uma evolução histórica de decisões de estados e municípios.

O modelo brasileiro sofreu influências internacionais tanto dos Estados Unidos quanto da França. O início dos atendimentos de urgência no Brasil estava atrelado a instituições militares, não sendo necessariamente obrigatória a presença de um médico.

Entretanto, em 1893, o atendimento de urgências passou a ser de responsabilidade dos médicos no Estado de São Paulo e, em 1910, a presença de médicos em locais de acidentes e incêndio se tornou obrigatória.

Em 1950, também em São Paulo, foi criado o Serviço de Assistência Médica Domiciliar de Urgência (SAMDU), sendo que este foi regulado para toda federação em 1959, entretanto esse serviço foi interrompido na década de 60.

A partir da mobilização conjunta do setor de saúde, Corpo de Bombeiros, Prefeitura de São Paulo e a Polícia Militar, foi assinado um protocolo em 1979 com objetivo de criar um sistema de ambulâncias que visava atender vítimas de acidentes com a participação dos bombeiros e funcionários de saúde.

Após 10 anos desse protocolo, surgiu em São Paulo o Serviço de Atendimento Médico de Urgência, mais popularmente conhecido como SAMU, com objetivo de definir e implantar um programa mais estruturado para atendimento de pacientes.

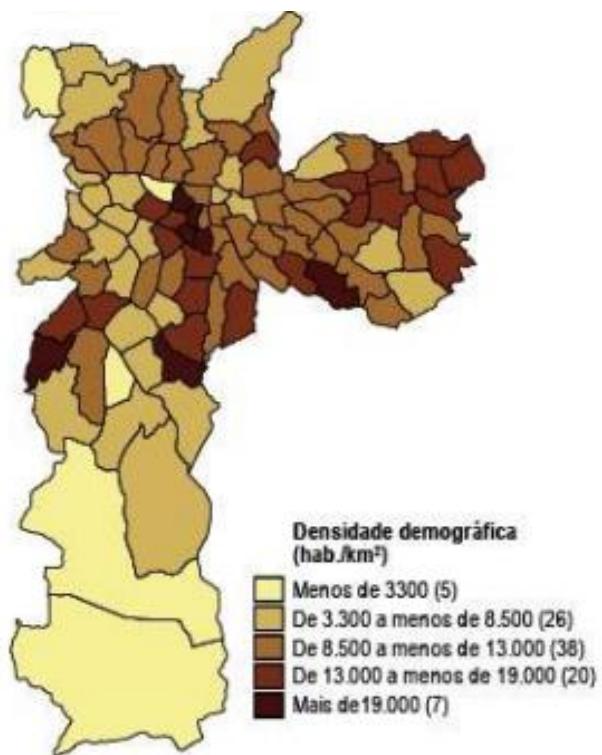
O SAMU possuía duas categorias de veículos: as Unidades de Salvamento Básico (USB), sendo essas uma ambulância simples de suporte a vida, tripulada por bombeiros

socorristas treinados; e as Unidades de Salvamento Avançado (USA), podendo ser ambulância ou um helicóptero contendo equipamentos que proporcionavam salvamento e estabilização dos pacientes acidentados, além de serem capazes de realizar procedimentos mais avançados. As equipes dessas Unidades de Salvamento eram compostas tanto médicos quanto enfermeiros especializados.

4.3.1. Estrutura do SAMU em São Paulo

Segundo o IBGE, o município de São Paulo possui uma população de mais de 12 milhões de habitantes em uma área de 1.523km² (IBGE, 2020), sendo considerada a maior e mais populosa cidade da América do Sul e o maior polo econômico do Brasil, sendo o SAMU SP responsável por todo atendimento móvel pré-hospitalar de urgência para todo o município.

Figura 2: Mapa de densidadde demográfica da cidade de São Paulo



Fonte: IBGE, 2014

Devido a seu rápido crescimento populacional e grande densidade demográfica, a cidade enfrenta um grande problema de congestionamento de veículos, já que o uso de carros é a forma de locomoção de cerca de 50% dos habitantes.

Essa característica causa dois grandes problemas para o atendimento pré-hospitalar. O primeiro é que, por essas bases móveis utilizarem do meio rodoviário, muitas vezes ocorre um

atraso no atendimento porque as ambulâncias ficam presas em longos congestionamentos na cidade. O segundo é que os acidentes de trânsito em São Paulo são responsáveis pela grande parte demanda de atendimentos pré-hospitalares. Foram registrados em São Paulo mais de 146 mil acidentes de trânsito em 2009, sendo que quase 38 mil precisaram de alguma assistência médica (Ponce, 2009).

Essa grande população e alta demanda no município fez com que o SAMU-SP recebesse investimentos ao longo dos anos, criando robustez através de um sistema capaz de suportar a necessidade da cidade e fazendo com que ele fosse considerado, hoje, o maior sistema de cuidado pré-hospitalar da América do Sul.

Tabela 2: Crescimento do SAMU SP

ANO	Média de Ambulâncias em Operação	ANO	Quantidade de Bases de Atendimento
2003	33,4	2003	-
2004	61,1	2004	25
2005	71,6	2005	25
2006	72,5	2006	32
2007	87,4	2007	32
2008	119,3	2008	60
2009	119,7	2009	65
2010	-	2010	67
2011	-	2011	70

Fonte: SAMU-SP

O SAMU está estruturado em duas dimensões de atendimento: a reguladora e a assistencial. A dimensão reguladora é realizada pela Central de Operações do SAMU, e nela não há distinção da região do município sendo atendida, portanto, a central proporciona uma cobertura de 100% do território do município, e possui um funcionamento de 24h por dia durante todos os dias da semana com quadro de funcionários atuando por plantões da seguinte forma:

- 30 a 42 atendentes de telefonia;
- 10 telefonistas auxiliares de regulação médica distribuídos pelas regiões da cidade (2 por região);

- 2 bombeiros, responsáveis pela interação e comunicação com o Centro de Operações do Corpo de Bombeiro e as Unidades Rápida de Atendimento Móvel (URAM) conduzidas pelos bombeiros socorristas;
- 5 médicos reguladores, sendo estes distribuídos por região da cidade;
- 2 supervisores técnicos, composto por um médico e um enfermeiro;
- 1 coordenador geral.

Os atendentes são distribuídos em três turnos, manhã, tarde e noite e a quantidade de profissionais pode variar conforme a necessidade, dependendo do nível de pico e ociosidade de cada período. Eles realizam a primeira triagem de um chamado, e, logo em seguida, ocorre a segunda triagem pela equipe de regulação médica, o médico regulador e os dois telefonistas de regulação médica. Cada equipe é responsável por atender uma região específica da cidade: Norte, Sul, Sudeste, Leste e Oeste. Além disso, os telefonistas de regulação médica são responsáveis também pela comunicação e envio das ambulâncias até o local da urgência.

A dimensão assistencial é realizada pela equipe de profissionais presentes nas ambulâncias (técnicos de enfermagem, enfermeiros, médicos e motoristas treinados). No momento em que essa equipe chega ao local de urgência, estes prestam uma assistência direta e uma avaliação do paciente e, em seguida, direcionam o paciente para um hospital público ou unidade de saúde pública destino.

Como apresentado na Essa grande população e alta demanda no município fez com que o SAMU-SP recebesse investimentos ao longo dos anos, criando robustez através de um sistema capaz de suportar a necessidade da cidade e fazendo com que ele fosse considerado, hoje, o maior sistema de cuidado pré-hospitalar da América do Sul.

Tabela 2, em 2011 São Paulo possuía 70 bases fixas espalhadas pelas 5 regiões da cidade. As bases fixas podem estar localizadas em imóveis alugados ou concedidos por outros órgãos públicos, sendo que esses imóveis precisam ser modificados para comportar o recebimento de ambulâncias e suportar a agilidade para um atendimento.

Para prestar os atendimentos de urgência, o SAMU possuía 158 veículos de resgastes sendo eles 107 Unidades de Suporte Básico de Vida, 15 Unidades de Suporte Avançado de Vida e 36 Unidades Rápida de Atendimento Móvel (moto-ambulâncias). Além disso, contava com um quadro de profissionais de 1201 auxiliares de enfermagem, 330 enfermeiros, 600 motoristas e 125 médicos especializados.

As USB são conduzidas por no mínimo dois profissionais, sendo eles um condutor do veículo e um técnico ou auxiliar de enfermagem, e possui equipamentos como desfibrilador

externo, materiais de primeiros socorros, oxímetro de pulso, dentre outros, entretanto essas unidades mais básicas não podem administrar medicamentos nos pacientes.

As USA, como o nome já diz, são mais avançadas. Elas são conduzidas por no mínimo três profissionais, sendo eles um médico, um enfermeiro e um condutor. Além de todo o equipamento presente na unidade básica, esta também possui equipamentos mais especializados e a viabilidade de administrar medicamentos.

Externamente, ambas são praticamente idênticas, diferenciando-se apenas pelos profissionais, pelos equipamentos internos e pela descrição presente na lateral de cada unidade como pode ser visto na Figura 3 abaixo.

Figura 3: Unidade de Suporte Básico de Vida



Fonte: Associação Paulista para o Desenvolvimento da Medicina

O processamento e execução de um chamado de urgência no SAMU se dão por diversas etapas reguladas e sistematizadas para gerar o máximo de agilidade no atendimento.

Inicialmente, um chamado é realizado na Central de Operações do SAMU, o 192. Vale destacar que no Brasil há dois serviços públicos de atendimento a urgências: o sistema de resgate dos bombeiros (193) e o sistema municipal do SAMU (192).

Caso não haja nenhum operador livre para atender ao chamado no momento da ligação, este entra em uma fila de espera e aguarda a liberação de um dos operadores.

Assim que o operador atende a ligação, este inicia um procedimento de registro de uma ficha do paciente. Esta funciona como um registro médico do chamado, em que são gravadas informações importantes durante todo o atendimento da urgência tais como:

- Local do chamado;
- Gravidade da ocorrência;
- Qual viatura será disponibilizada em caso do envio de uma ambulância;
- Procedimentos médicos executados no local;
- Unidade de saúde destino do paciente;

Essas informações servem como fonte de dados para posteriores análises e para controles de insumos médicos, já que nos registros é possível avaliar os locais de acidentes, as unidades de saúde que mais foram enviados pacientes, todos os materiais utilizados no atendimento do paciente.

O atendente de urgência segue um protocolo de perguntas para o indivíduo que fez a ligação. A partir do seu treinamento, das regras de envio de uma unidade móvel, da metodologia de classificação e priorização de uma urgência, o atendente decide se o chamado necessita de atendimento de uma equipe no local, dando prosseguimento no envio de uma unidade de saúde.

Caso o chamado não necessite de um atendimento no local, o atendente fornece instruções pelo telefone para que a urgência seja resolvida. Esses chamados são considerados casos simples de acidentes como torções e possíveis dúvidas. Há também a possibilidade de o chamado ser falso. Logo que identificado, este é abandonado imediatamente.

Caso o chamado necessite de um atendimento no local, o telefonista realiza duas tarefas, sendo a primeira passar esse chamado para uma fila de envio de ambulâncias, na qual o médico regulador se encarrega de alocar os veículos disponíveis para os chamados abertos. A segunda é passar as instruções médicas para o indivíduo que fez a ligação com o objetivo de maximizar a probabilidade de sobrevivência das vítimas.

O médico regulador segue a ordem da fila de prioridade de envio para encontrar o veículo disponível mais próximo. Em seguida, este se comunica com a base em que a unidade está disponível e repassa as informações para o atendimento do chamado.

No momento em que é alocada a um chamado de urgência, a equipe assistencial recebe a ficha do paciente e continua seu preenchimento com os dados da ambulância com as seguintes informações:

- Identificação do veículo;
- Tipo do veículo (USB, USA);
- Nome dos integrantes da equipe;
- Horário de saída;

Na grande parte das vezes, esse preenchimento é realizado com o veículo do resgate já em trajeto para o atendimento, principalmente para proporcionar agilidade.

Quando a equipe chega ao local, há uma rápida conferência da situação da urgência. Após a conferência, a equipe inicia os procedimentos médicos necessários no local. Existem algumas situações em que a equipe se comunica com a central durante o atendimento para retirada de algumas dúvidas médicas ou para pedir um auxílio de mais unidades para o local.

Após o atendimento inicial do paciente, a equipe começa o procedimento de transporte da vítima para o hospital público ou unidade de saúde mais próxima, local de destino que deve conter as especialidades médicas necessárias para o tratamento do socorrido. Ao longo do transporte, a equipe continua o preenchimento da ficha do paciente, anotando novas informações relacionadas aos procedimentos realizados no local e para qual instalação hospitalar o paciente está sendo transportado.

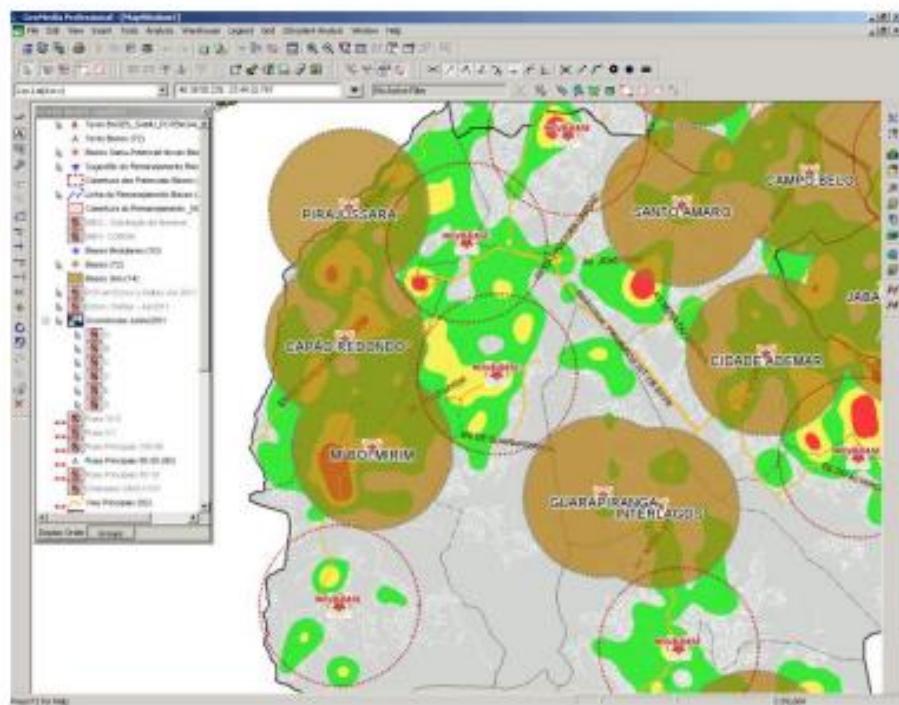
Quando a unidade chega no hospital, a equipe faz a transferência do paciente para a equipe médica especializada e encerra o chamado, fazendo a finalização da ficha do paciente por meio da inclusão das últimas informações como horário de chegada ao hospital e horário de encerramento do chamado.

Com o encerramento do chamado, a unidade se desloca para sua unidade de origem. Quando chega ao local, esta comunica a base que está disponível e prepara os equipamentos e o veículo para um futuro novo atendimento.

4.3.2. Planejamento das bases do SAMU SP

O planejamento das localizações fixas das bases e das ambulâncias do SAMU SP é realizado através da distribuição geográfica das urgências. A distribuição é analisada com base na incidência de chamados nas regiões da cidade e os veículos são posicionados com o intuito de cobrir os pontos com maior probabilidade de ocorrências. A Figura 4 abaixo é uma representação retirada do SAMU-SP que mostra um posicionamento e atendimento das bases através de um mapa de calor.

Figura 4: Posicionamento de bases e ambulâncias do SAMU SP



Fonte: SAMU SP

A probabilidade de uma urgência acontecer em um local vai variando ao longo do dia. São Paulo possui como característica o fato de que, nas regiões periféricas e de baixa renda, de caráter residencial, os acidentes tendem a ocorrer mais nos períodos da tarde, da noite e nos finais de semana, quando comparado com o período da manhã.

Essa é uma característica resultante da flutuação de densidade populacional na cidade. Nos períodos comerciais, as populações dessas regiões realizam a migração pendular para as áreas centrais e mais comerciais, diminuindo a probabilidade de acidentes. Enquanto nos períodos não comerciais, eles retornam a essas áreas, aumentando assim a probabilidade de urgências nessas regiões.

Com relação à região central, observa-se o oposto desse fenômeno: nos horários comerciais, tem-se um aumento do fluxo de pessoas e, consequentemente, um aumento da probabilidade de novas ocorrências.

4.3.3. Estruturação das Filas SAMU SP

O trabalho de Singer e Donoso (2008) classifica o sistema de atendimento de urgências de saúde como um sistema de filas, em que os chamados são registrados como demandas e as equipes com seus veículos são os agentes do sistema que realizam a operação.

Entretanto, como já enfatizado anteriormente, uma nova demanda passa por uma triagem e classificação de prioridade, para depois ser direcionada para uma fila. Esse sistema de fila organiza os chamados de acordo com suas prioridades e decide qual chamado deve ser atendido primeiramente por uma unidade móvel.

Os sistemas de ambulância possuem diversos indicadores de nível de serviço, sendo que um dos mais utilizados é a medida de cobertura. Esse indicador reflete o tempo de resposta de uma unidade entre o início do chamado até o momento da chegada até o acidente. Fitzsimmons e Sullivan (1979) definem como indicador de cobertura um padrão referente a uma porcentagem γ dos chamados em um tempo máximo de resposta T , ou seja, uma função de probabilidade na qual o chamado tem de ser respondido em um tempo menor que T . Alguns autores trazem referências de função probabilidade para esse indicador, sendo eles:

- Para Galvão (2005), em áreas urbanas $\gamma = 95\%$ das urgências devem ser atendidas em no máximo $T = 10$ minutos. Já em áreas rurais, $\gamma = 95\%$ das urgências devem ser atendidas em no máximo $T = 30$ minutos.
- Para Baker (1989), toda a população deve ser atendida em no máximo $T = 10$ minutos.
- Para o estudo da Orcon (1974), $\gamma = 75\%$ dos chamados devem ser atendidas no máximo $T = 8$ minutos e $\gamma = 95\%$ dos chamados devem ser atendidas em no máximo $T = 19$ minutos.

Essas são referências de autores que estudaram o nível de cobertura em grandes cidades, entretanto no Brasil não há nenhuma lei que delimita o tempo máximo para atendimento de uma chamada.

Existem diversos outros indicadores capazes de analisar também o serviço de urgências urbanos, e alguns deles serão tratados nesse trabalho.

5. METODOLOGIA

Esse capítulo tem como objetivo explicar a metodologia aqui empregada para a solução do problema de dimensionamento de unidades de saúde na cidade de São Paulo. O método de solução proposto busca avaliar o resultado de indicadores para analisar o sistema frente à sua qualidade e rapidez a diferentes cenários propostos

O *software* utilizado foi o *Anylogic*, que possibilitou a modelagem da cidade de São Paulo utilizando multi-métodos. A robustez do programa facilitou a construção de toda a mobilidade, interações das entidades e também possibilitou a inserção dos dados das entidades referentes na simulação.

5.1. Visão geral e decomposição do problema

Um chamado se inicia quando um indivíduo faz uma ligação para central 192, momento a partir do qual o atendente segue o fluxo descrito na seção 4.3.2.

Esse fluxo foi a base central deste trabalho: a partir de seu entendimento, começou-se a destrinchar toda a jornada de um chamado de urgência, identificando-se como as entidades se relacionavam entre si, seus atributos e todos os eventos que causavam uma alteração do sistema em estudo.

É imprescindível que se entenda todo o fluxo e suas características para que o modelo apresentado seja o mais verossímil possível, sendo assim, foram identificadas algumas peculiaridades desse sistema.

A primeira delas é que uma ambulância só está com o *status* de disponível se ela se encontra na base à espera de um chamado. No primeiro momento, esta parece uma característica trivial, mas isso implica que uma ambulância não pode receber um chamado mesmo quando ela não está atendendo nenhum paciente no retorno do hospital até a sua base de origem.

Isso transcorre de dois grandes motivos. O primeiro é que nem todas as unidades de saúde possuem radiotransmissor, o que dificulta a comunicação com a central para recebimento de novos chamados. O segundo é que o espaço físico das unidades móveis é restrito, fazendo com que haja estoque escasso de material necessário para um atendimento eficiente. Sendo assim, a ambulância em questão precisa repor esse estoque e realizar a manutenção dos equipamentos na base matriz, necessitando que o retorno ocorra.

Outra característica identificada foi que a unidade de saúde só poderia levar um paciente de uma urgência até um hospital público, seja ele municipal ou estadual, ou unidade de saúde pública que tivesse o suporte para atendimento da urgência daquele paciente.

Isso limita levar um paciente acidentado que esteja em um estado grave para um hospital que, não necessariamente, é o mais perto do acidente. Diferentemente de muitos outros países como EUA, por estarmos falando de um serviço público de atendimento de urgências de saúde, essa premissa é plenamente condizente com a natureza do serviço.

Além disso, segundo o dado da Agência Nacional de Saúde Suplementar, em agosto de 2020, menos de 25% da população possuía algum auxílio de saúde complementar como plano de saúde, sendo então essa a forma encontrada para que uma unidade de saúde consiga atender 100% da população, independentemente dela possuir um plano auxiliar.

Como já apresentado anteriormente, um chamado é classificado a partir do seu nível de urgência. De fato, os casos mais urgentes precisam de um atendimento mais rápido, mas vale ainda ressaltar a correlação da gravidade dos casos com a dificuldade do atendimento. Foi identificado que, em grande parte dos casos mais graves, as ambulâncias tinham dificuldade na remoção do paciente, seja porque ficavam prestando atendimento por mais tempo, visando imobilizar e estabilizar o indivíduo, ou porque tinham uma dificuldade de acesso ao paciente por precisarem tomar um cuidado maior em sua remoção. Deste modo, buscou-se uma forma de melhor modelar essa característica no sistema.

5.2. Concepção do Modelo

Após entendimento inicial da situação atual apresentada e suas características, visou-se construir uma problemática inicial do modelo para que, através de processos iterativos, ele começasse a ficar mais robusto e condizente com o sistema real.

Buscou-se inicialmente entender os cinco componentes pré-definidos do sistema e como eles se relacionavam entre si.

5.2.1. Entidades

Existem 4 diferentes entidades no modelo: as bases fixas do SAMU, as ambulâncias, os hospitais e os acidentes.

As bases fixas do SAMU são as edificações espalhadas pela região municipal de São Paulo, que é o ponto inicial e destino de todas as ambulâncias. Lá se encontram as equipes técnicas especializadas para o atendimento, o estoque de materiais de saúde e o local onde ocorre a manutenção dos carros.

As ambulâncias são os veículos que se deslocam das bases fixas do SAMU até um acidente. Elas prestam o atendimento para o paciente no local da urgência e depois transportam

esse paciente até o hospital mais próximo. Após prestar o atendimento, estes retornam para sua base fixa de origem.

Os hospitais e as unidades de saúde públicas são responsáveis em prestar assistência médica completa, curativa e preventiva ao atendimento do paciente acidentado. Estes também estão espalhados pela cidade.

Os acidentes são pontos aleatórios da cidade em que é gerado uma urgência. Eles ocorrem de maneira probabilística, havendo dificuldade de prevê-los de antemão.

5.2.2. Atributos

Existem atributos relacionados a cada uma das entidades referentes no sistema, que refletem as características individuais de cada uma das entidades.

Cada uma das bases fixas do SAMU possui como propriedade sua geolocalização, sendo ela definida pela latitude e longitude; seu endereço; seu Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES); e a quantidade de ambulâncias que possui.

As ambulâncias também possuem sua geolocalização, para que uma unidade sempre retorne para a sua base específica; e a velocidade média empregada no trajeto. Para fins do estudo, foi desconsiderado a diferença entre unidade básica de saúde e unidade avançada de saúde.

Os hospitais possuem sua geolocalização; CNES; a dependência administrativa, para especificar se é municipal, estadual ou privado (no caso do modelo foram desconsiderados os hospitais privados); tipo de hospital, que classifica se é um hospital, unidade especializada ou pronto-socorro geral.

Os acidentes também possuem sua geolocalização por coordenadas; e sua gravidade.

5.2.3. Atividade

A atividade é qualquer processo que muda no sistema, de modo que temos o próprio deslocamento da ambulância como a atividade central desse modelo. Inicialmente ela se encontra na base aguardando um chamado, depois ela se move para o local do acidente, atende o paciente no local, transporta o paciente até o hospital mais próximo e depois retorna para sua base de origem.

5.2.4. Evento

O evento é uma ocorrência instantânea que provoca uma mudança de estado no sistema. O evento mais importante do modelo em questão é a geração de novos acidentes, já que esta proporciona todo o fluxo das atividades de atendimento da ambulância.

Entretanto, existem outros eventos que ocorrem durante o processo de atendimento de um chamado de urgência como a saída da ambulância da base, chegada ao local, atendimento do paciente no local, transporte até o hospital, desembarque do paciente no hospital e chegada da ambulância na base.

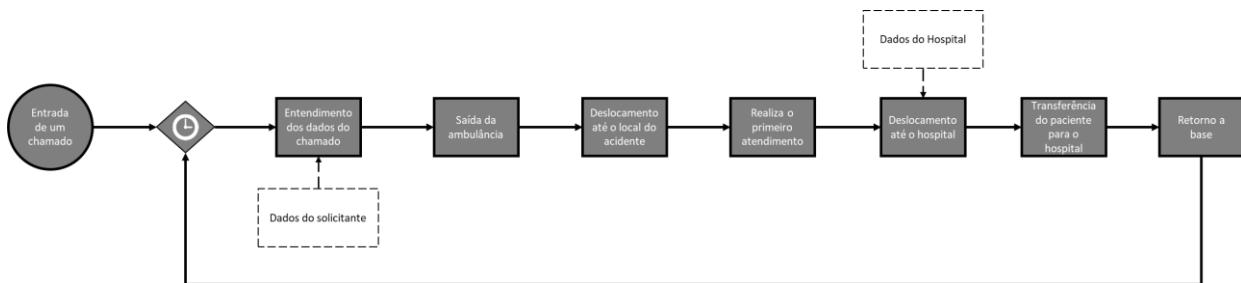
5.2.5. Estado do sistema

O estado do sistema consiste na coleção de variáveis que descrevem o sistema em qualquer momento da simulação. Sendo assim, o estado indica a quantidade de entidades em cada evento do sistema.

5.3. Modelo conceitual

Após entender os cinco componentes pré-definidos de um sistema, buscou-se construir um modelo conceitual do fluxo. O modelo conceitual é uma ferramenta que mostra todos os conceitos importantes no domínio do sistema, bem como as associações entre esses conceitos. O objetivo central é apresentar um modelo em que se possam observar os principais elementos que estão envolvidos para serem modelados.

Figura 5: Modelo conceitual do Sistema de atendimento de urgência SAMU SP



Fonte: Autor

O modelo conceitual apresentado mostra a atividade central do fluxo de ambulâncias, o atendimento de um paciente. Pode-se analisar que o evento inicial é a entrada de um chamado

de urgência, momento a partir do qual se verifica se há uma ambulância disponível para prestar o atendimento.

Com a ambulância localizada, esta recebe todos os dados do atendimento e se desloca até o local. Chegando ao local, a equipe de salvamento especializada presta o atendimento inicial e, após estabilizar o paciente, desloca-se ao hospital indicado.

No hospital, a equipe transfere o paciente para o setor de emergência deste local e depois retorna para a sua base de origem à espera de um novo chamado.

De forma simplificada, este foi o fluxo gerado na etapa de concepção do modelo com objetivo de abstrair todas as características essenciais mapeadas anteriormente.

5.4. Coleta de Dados

Para a construção de um modelo que visa a melhor representação do sistema real de ambulâncias na cidade de São Paulo, buscaram-se informações reais do Governo através de dados públicos para uma melhor alocação dos hospitais e instituições de saúde pública, das bases do SAMU, e os acidentes na cidade.

5.4.1. Hospitais e Instituições de Saúde Pública

Com relação aos hospitais e instituições de saúde pública de São Paulo, existe um conjunto de dados realizado pelo Departamento de Produção e Análise de Informação (Deinfo), da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) que contém o CNES, localização geográfica, região da cidade, modalidade de gerenciamento, tipo de estabelecimento, tipo de serviço, entre outras informações, de todos os estabelecimentos de saúde sejam eles públicos ou privados.

Está disponível uma série histórica de 2004 a 2014, sendo os dados disponibilizados por ano. Sendo assim, foi utilizado o ano de 2014, último ano de referência, para extrair todas as localizações de saúde utilizadas no sistema.

Entretanto, antes de serem inseridos no sistema, foram necessárias uma pré-análise e uma averiguação dos dados em questão. Primeiramente, foi identificado que os dados ali presentes retratavam todas as instituições de saúde, inclusive as privadas. Como já previamente apresentado, as ambulâncias somente realizam o transporte de um paciente acidentado para hospitais públicos, de modo que foram desconsideradas todas as unidades de saúde privadas encontradas na tabela de dados.

Em seguida, foi identificado que ali estavam presentes diversas unidades de saúde que não prestavam atendimento para pacientes de urgências, como as Assistências Médicas Ambulatorial (AMA), centros de especialidades odontológicas e muitos outros. Portanto foi criada uma segunda segmentação nos dados que admitia apenas Hospitais, Hospitais Gerais, Hospitais Especializados, Pronto Atendimentos de Urgência e Pronto Socorro Geral.

Com essas segmentações realizadas, identificaram-se todos os possíveis estabelecimentos para os quais um paciente de urgência poderia ser direcionado, totalizando 63 hospitais e unidades de saúde pública.

Figura 6: Mapa de hospitais e unidades de saúde pública no Anylogic



Fonte: Autor

5.4.2. Bases SAMU

Para as bases do SAMU, também foi utilizada uma plataforma aberta de dados do Governo, dessa vez da própria CNES. Utilizando-se a ferramenta de consulta de identificação

de estabelecimento presente na própria plataforma, foram selecionados os campos de município e de busca por nome para encontrar as fichas técnicas de cada uma das bases do SAMU.

A Figura 7 abaixo apresenta uma ficha de identificação de estabelecimento, como exemplo, para a Base do SAMU presente na Avenida Professor Almeida Prado, no Butantã.

Figura 7: Ficha técnica exemplo de uma base fixa do SAMU

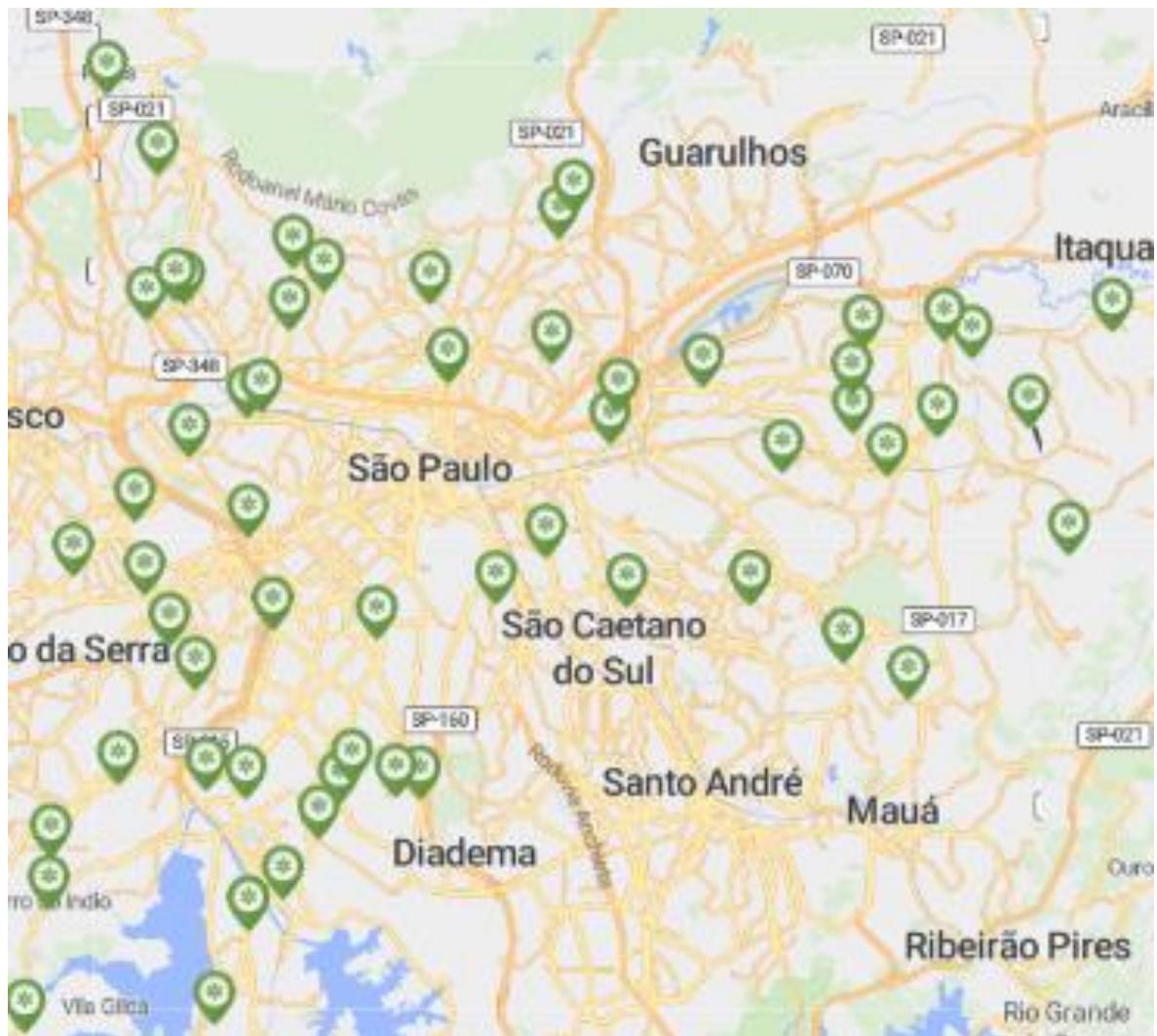
 CNES Cadastro Nacional de Estabelecimento de Saúde		Ministério da Saúde (MS) Secretaria de Atenção à Saúde (SAS) Departamento de Regulação, Avaliação e Controle de Sistemas (DRAC) Coordenação-Geral de Sistemas de Informação (CGSI)	
Ficha de Estabelecimento Identificação			
Data: 23/05/2020			
CNES: 7271921 Nome Fantasia: BASE SAMU OESTE CID UNIVERSITARIA AM981		CNPJ: --	
Nome Empresarial: PREFEITURA DO MUNICIPIO DE SAO PAULO		Natureza Jurídica: ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA	
Logradouro: AVENIDA PROFESSOR ALMEIDA PRADO		Número: 1280	Complemento: --
Bairro: BUTANTA		Município: 355030 - SAO PAULO	UF: SP
CEP: 05508-070	Telefone: --	Dependência: MANTIDA	Reg de Saúde: --
Tipo de Estabelecimento: UNIDADE MOVEL DE NIVEL PRE-		Subtipo: --	Gestão: MUNICIPAL
Diretor Clínico/Gerente/Administrador: ROSANGELA ARAUJO MOREIRA DA SILVA			
Cadastrado em: 17/07/2013	Atualização na base local: 17/10/2019	Última atualização Nacional: 18/05/2020	
Horário de Funcionamento: SEMPRE ABERTO			
Data desativação: --		Motivo desativação: --	

Fonte: Cadastro Nacional de Estabelecimento de Saúde

Com todas essas informações disponíveis, foram identificados em cada uma das fichas o logradouro e o número, para depois utilizar-se a plataforma do Google Maps e retirar as coordenadas de cada uma das bases.

Com todo esse processo realizado, foram analisadas as fichas que continham o mesmo endereço e, consequentemente as mesmas coordenadas, e foram removidas as duplicatas. Após esse processo, foram identificadas 65 bases ativas do SAMU no município de São Paulo.

Figura 8: Mapa das bases do SAMU no Anylogic



Fonte: Autor

5.4.3. Acidentes

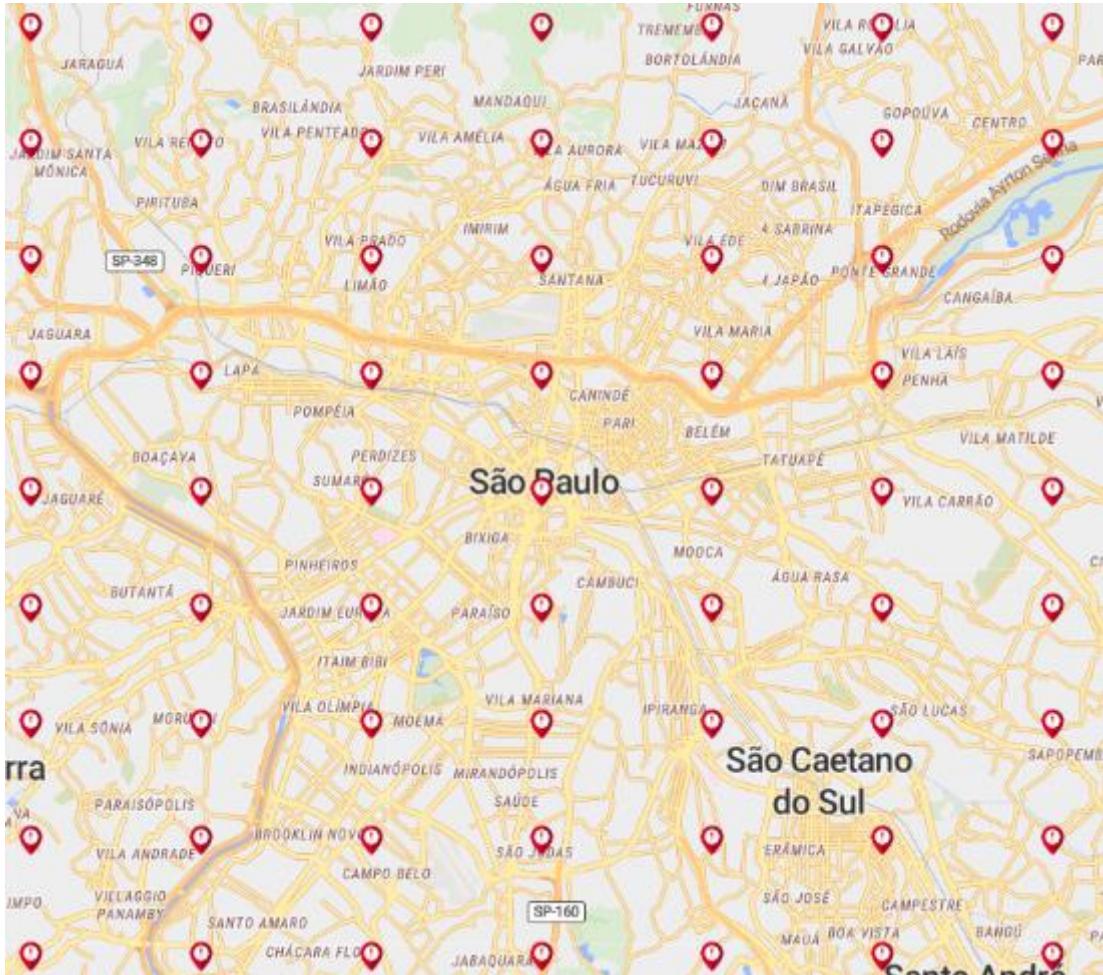
Como apresentado anteriormente, uma urgência pode acontecer em qualquer ponto da cidade de acordo com uma função de probabilidade a depender da localização e horário em que se encontra. Por essa grande variação e inconstância da função de probabilidade e para fins de simplificação do modelo, definiu-se que a probabilidade de ocorrer uma urgência em qualquer ponto da cidade era o mesmo.

Sendo assim, foram criados pontos ao longo da cidade que atuam como centro de massa da função probabilidade de ocorrência de uma microrregião. Esses locais foram gerados partindo do marco zero da cidade de São Paulo: primeiramente, identificaram-se as coordenadas

do local, e depois foram alteradas as latitudes e longitudes para se criar esse mapa de ocorrências.

Por São Paulo possuir uma delimitação irregular e difícil de ser mapeada, novamente para fins de simplificação do modelo, foi selecionado uma macrorregião da cidade para ser modelada, e ser identificado o fluxo de ambulâncias.

Figura 9: Mapa dos pontos de acidentes no *Anylogic*



Fonte: Autor

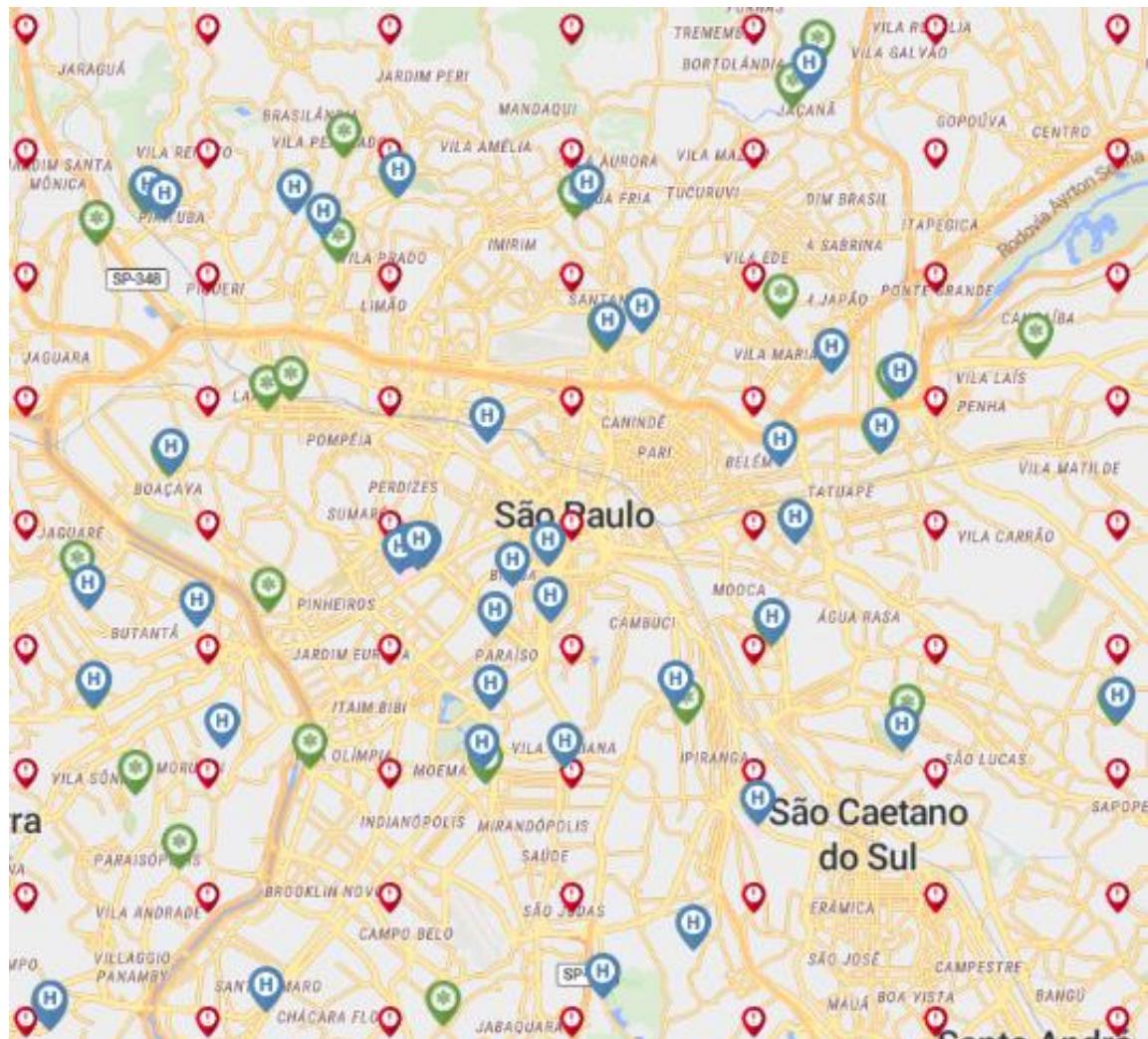
5.4.4. Combinação e Conferência dos Dados

Depois de determinadas todas as fontes de dados deste trabalho, por ser identificada a necessidade de simular apenas uma macrorregião da cidade de São Paulo, viu-se a necessidade de selecionar apenas as Bases fixas do SAMU e os hospitais que se encontravam presentes nessa macrorregião selecionada.

A partir dessa necessidade, foi realizada uma triagem na base de dados com objetivo de verificar quais entidades estavam presentes nessa macrorregião selecionada. Com relação ao SAMU SP, foram selecionadas as 32 bases que se encontravam na região. Já em relação aos hospitais e unidades de saúde pública, foram selecionados 42 estabelecimentos que se encontravam nessa região. Para os acidentes, por fim, foram mapeados 63 pontos focais de acidentes na região selecionada da cidade de São Paulo.

Na Figura 10 é apresentado o mapa com a localização das entidades após a triagem dos dados.

Figura 10: Mapa com as localizações das entidades Acidentes, Hospitais e Bases



Fonte: Autor

Com todos os dados obtidos e selecionados, foi-se entender como poderia ser criado o fluxo das ambulâncias em São Paulo no *software* do *Anylogic*.

5.5. Tradução do modelo

A tradução do modelo visa elaborar o modelo em um *software* através de um programa de computador. O *software* utilizado, como já mencionado anteriormente, foi o *Anylogic*. Esse programa possibilitou a modelagem por multi-métodos disponíveis no programa.

Inicialmente, criaram-se os agentes da simulação. Os agentes, para o *Anylogic*, são as entidades do sistema, então foram criadas as bases fixas do SAMU, as ambulâncias, os hospitais e os acidentes e, posteriormente, foram inseridos todos os atributos de cada um dos agentes através de uma funcionalidade do *software* de importar uma *database* do excel a partir dos dados previamente selecionados.

Na Figura 11, é possível observar a população de bases sendo criada a partir de uma *database* importada pela tabela ‘samu’ do excel, além de seus atributos por latitude e longitude.

Figura 11: Captura de tela dos atributos do agente Bases do SAMU

A interface de usuário para a configuração de um agente 'bases' no software Anylogic. Os campos e opções configuradas são:

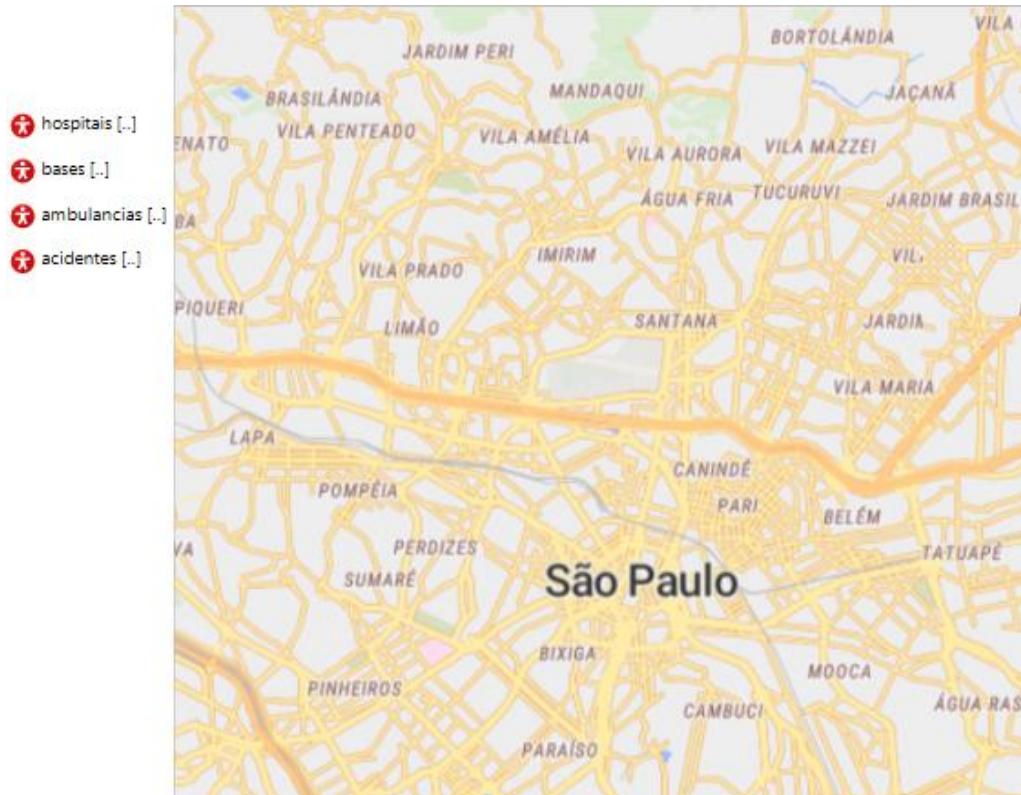
- Name:** bases
- Show name:** checked
- Ignore:** unchecked
- Single agent:** radio button (unchecked)
- Population of agents:** radio button (checked)
- Population is:**
 - Initially empty: radio button (unchecked)
 - Contains a given number of agents: radio button (unchecked)
 - Loaded from database: radio button (checked)
- Table:** samu
- Choice conditions:** icons for adding, deleting, and sorting conditions.
- Mode:**
 - One agent per database record: radio button (checked)
 - Multiple agents per record: radio button (unchecked)
- Agent parameters mapping:**

Parameter	Column
GIS location longitude	longitude
GIS location latitude	latitude

Fonte: Autor

Foi configurado também um mapa de geográfico da cidade de São Paulo, para possibilitar a localização das entidades criadas. Na Figura 12 abaixo, verifica-se uma captura de tela do *software*, na qual é possível verificar o mapa localizado São Paulo e os quatro agentes apresentados do lado esquerdo.

Figura 12: Imagem gerada pelo software Anylogic



Fonte: Autor

Após realizada a criação dos agentes e do mapa, buscou-se entender como poderia ser construído o fluxo do modelo conceitual. Partiu-se da geração de demanda através de um chamado, o que foi realizado através do *agent modeling* em que é possível gerar um evento aleatório através de um fluxo por taxa.

O momento em que é gerado este evento, ele associa os atributos necessários, alguns aleatórios, outros calculados. O primeiro atributo gerado aleatoriamente foi o local do acidente, que pode estar em qualquer local mapeado da cidade. Também é associada de forma aleatória a gravidade deste acidente.

Com essas duas informações, são calculados os outros atributos do chamado. O primeiro é a base que irá atender este chamado, que busca a ambulância disponível mais próxima e aloca essa ambulância para atender este chamado. O segundo é o local do hospital, que irá informar o hospital mais próximo que será o destino do paciente.

Figura 13: Imagem gerada pelo *software Anylogic* dos atributos do evento chamado

▼ Action

```

Hospital hospital = getNearestAgent(main.hospitais);
Ambulancia ambulancia = getNearestAgent(filter(main.ambulancias,
                                               v -> v.inState(Ambulancia.aguardando_na_base)));
Base base = getNearestAgent(main.bases);

Chamado chamado = new Chamado(this, uniform_discr(1,3), hospital, base);

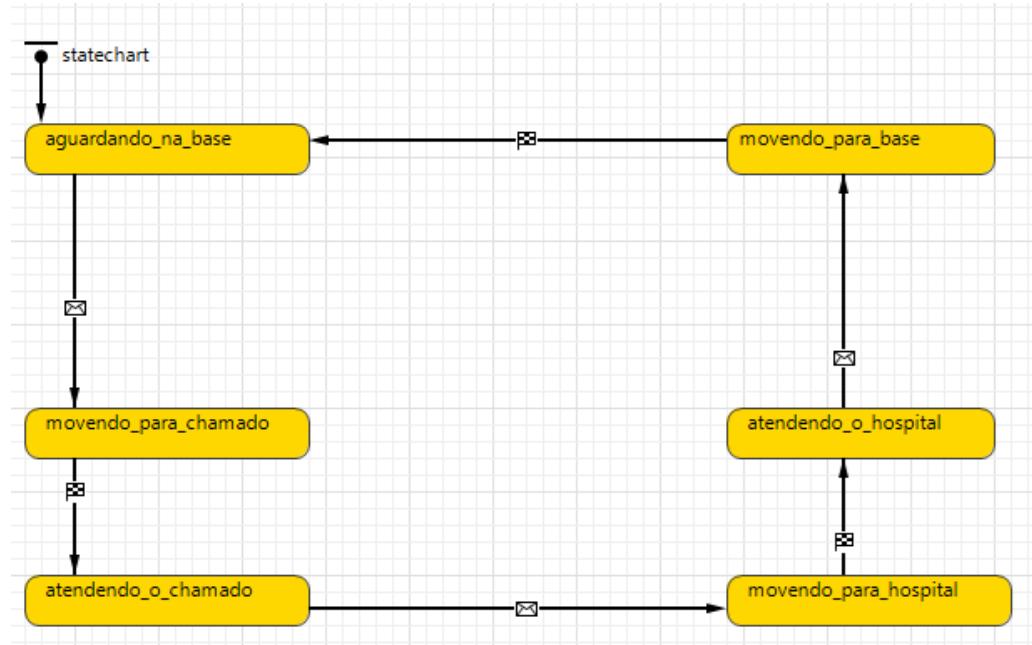
if(ambulancia != null)
    send(chamado,ambulancia);

```

Fonte: Autor

Em seguida, construiu-se o fluxo de atendimento realizado por uma ambulância. Para a movimentação de um agente, utilizou-se a modelagem em *statecharts* presente no *Anylogic*, que permite uma definição de comportamento por eventos ou relativamente ao tempo de comportamento dos diversos agentes. Ele consiste de uma modelagem por *states*, que determina o estado do agente no momento, e por *transitions*, que são os gatilhos que permitem as mudanças de um estado para outro no sistema.

Na Figura 14 é apresentado o fluxo de *statecharts* criado no *software Anylogic*, que mapeia todo o transporte de uma ambulância desde o momento em que ela recebe o chamado até o momento em que ela retorna a base de origem.

Figura 14: Fluxo de *statescharts* criado no software *Anylogic*

Fonte: Autor

Na Figura 15 mostrada abaixo, é possível verificar a transição dos estados ‘aguardando na base’ para ‘movendo para o chamado’.

Figura 15: Transição do estado ‘aguardando na base’ para ‘movendo para o chamado’ retirado do Software *Anylogic*

Name:	<input type="text" value="transition5"/>	<input type="checkbox"/> Show name	<input type="checkbox"/> Ignore
Triggered by:	<input type="button" value="Message"/>		
Message type:	<input type="button" value="Chamado"/>		
Fire transition:	<input checked="" type="radio"/> Unconditionally <input type="radio"/> On particular message <input type="radio"/> If expression is true		
Action:	<pre> msg.tempo_inicial = time(MINUTE); main.n_amb_atual = main.n_amb_atual - 1; if (time(MINUTE) > main.warm_up) { main.distancia_acidente.add (distanceTo (msg.local_do_chamado, KILOMETER)); main.taxa_ocupacao.add ((main.n_amb_atual)); } moveTo(msg.local_do_chamado); chamado = msg; </pre>		

Fonte: Autor

Constata-se que essa transição é desencadeada por uma mensagem, e essa mensagem é a geração de um novo chamado como mostrado anteriormente. Nesse momento, ele utiliza a

função *moveTo* para se deslocar até o local do chamado. As outras funções apresentadas acima são utilizadas para cálculo dos indicadores de tempo até o acidente e distância de deslocamento, os quais serão discutidos mais à frente.

Para tornar o problema ainda mais real, buscou-se entender a forma como se realizam tanto o atendimento da equipe especializada no local do acidente quanto a transferência do paciente acidentado para o hospital.

Para isso, construiram-se dois fluxos utilizando-se a funcionalidade de Modelagem por Processos nos agentes Acidente e Hospital. A Modelagem por Processos é uma ferramenta capaz de realizar modelagem por eventos discretos, permitindo um amplo estudo de um sistema em termos de agentes, como clientes, produtos, transações, os processos, a partir de uma sequência de operações que envolvem filas, atrasos, utilização de recursos, e os próprios recursos.

Construiu-se um fluxo simples por modelagem de processos para o pré atendimento que ocorre no local do acidente pela equipe de resgate. Na Figura 16, pode ser visto esse fluxo criado para o agente Acidente.

Figura 16: Fluxo de pré atendimento realizada pela equipe de resgate

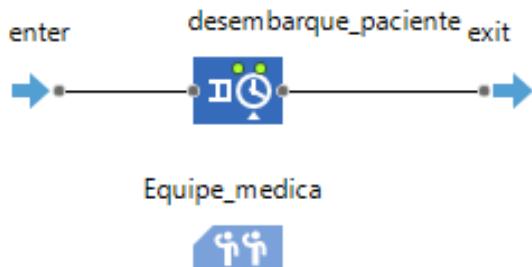


Fonte: Autor

Incialmente, o fluxo se inicia com a chegada da equipe ao local do acidente. Em seguida, ele vai para o processo de pré atendimento, que possui como característica a variação proporcional à gravidade do acidente. Com esta etapa finalizada, ele segue para o processo de saída, que envia uma mensagem para o fluxo do *statechat*, acionando uma *transition* para seguir para próxima etapa do fluxo.

Um processo semelhante ocorre no agente Hospital, como pode ser visualizado na Figura 17 abaixo.

Figura 17: Fluxo de desembarque do pacientes realizado no Hospital



Fonte: Autor

Este fluxo se inicia a partir da chegada da ambulância no hospital, momento no qual ocorre o desembarque do paciente na urgência do hospital. O tempo gasto nesse desembarque também varia proporcionalmente à gravidade do paciente, já que pacientes mais graves precisam de um cuidado e atendimento melhor. Quando esse processo se finaliza, também é enviada uma mensagem para o fluxo de *statechart* para que a ambulância possa seguir com o fluxo de retorno a base.

Desde o momento em que a ambulância retorna para a sua base de origem, o fluxo se encerra e o processo fica à espera de um novo chamado.

5.6. Premissas utilizadas

Durante o processo de tradução do modelo, viu-se necessário realizar algumas premissas de forma a construir o modelo de modo a se assemelhar ao máximo com o sistema real, mesmo não possuindo todas as informações necessárias.

As premissas foram embasadas nos estudos acadêmicos e artigos já retratados anteriormente na etapa de construção da revisão bibliográfica e no modelo brasileiro de atendimento de emergências urbanas de saúde.

Inicialmente precisou-se definir a velocidade em que os veículos de saúde iriam trafegar no modelo. Hoje, ambulâncias não precisam seguir as leis brasileiras de trânsito, sendo autorizadas de passar em faróis vermelhos e realizar cruzamentos proibidos, desde que não ponha outras pessoas em risco, o que facilita o seu trajeto. Entretanto, São Paulo sofre com um grande índice de congestionamento, como já descrito anteriormente, o que compromete a velocidade de todos os veículos, muitas vezes impossibilitando que a velocidade da ambulância seja maior. Analisando todos esses fatos, considerou-se que as ambulâncias possuem uma velocidade média de 10 metros/segundo para realizar seus deslocamentos.

Foi necessário também definir a taxa de chegada de um chamado de urgência. Pela cidade de São Paulo possuir a maior população da América, com mais de 12 milhões de habitantes, foi necessário definir uma taxa condizente com o tamanho da população. Sendo assim, definiu-se que cada local do acidente possuiria uma taxa de 1 chamado por hora e, como foram mapeados 63 locais possíveis de acidentes, a taxa global do sistema é de 63 acidentes por hora.

Outra premissa necessária foi a definição da função de probabilidade da gravidade dos acidentes, já que a gravidade do acidente reflete nos tempos de atendimento e desembarque do paciente no hospital, como já mostrado anteriormente. Sendo assim, no momento em que um chamado é gerado, há uma distribuição de probabilidade uniforme discreta em que a gravidade pode ser 1, 2 ou 3.

Tanto para o tempo de atendimento quanto para o tempo de desembarque do paciente no hospital, foram necessárias premissas para definir o período dessas atividades. Sendo assim, tomou-se como base que os atendimentos de casos mais graves demoram mais, já que é necessária uma maior cautela e um atendimento mais intenso, e o contrário vale para atendimentos menos graves. Portanto, definiu-se que o atendimento era proporcional à gravidade do chamado, com a constante igual a 10, ou seja, para os acidentes com gravidade igual a 1, o tempo de atendimento e o tempo de descarregamento eram iguais a 10 minutos, já para gravidade 3, os tempos eram iguais a 30 minutos.

Por fim, foi estimado o número de ambulâncias presentes no cenário atual. Para isso, definiu-se um número médio de 4 unidades de saúde para cada base fixa do SAMU. O valor de 128 ambulâncias no total (4 unidades para cada uma das 32 bases selecionadas na macrorregião) é condizente com os valores encontrados nos estudos mostrados anteriormente.

5.7. Verificação e Validação do modelo

A qualidade e veracidade de um modelo de simulação depende da semelhança entre os resultados obtidos pelo modelo e os resultados originados do sistema real. Já que são realizadas diversas simplificações e premissas sobre o modelo de simulação, há uma necessidade de se avaliar como essas decisões impactam a qualidade de assertividade do modelo.

A avaliação de um modelo é realizada de duas formas. A primeira, a verificação, tem como objetivo analisar se a tradução do modelo foi realizada de forma correta e se passou por um processo iterativo para correção de distorções. Além disso, verificam-se as premissas e simplificações implementadas, de que formas elas alteram o modelo e se ele executa conforme os fluxos propostos e a expectativa.

A segunda, a validação, tem uma atuação de forma a determinar se, mesmo com as simplificações e premissas, o modelo apresentado possui assertividade suficiente para representar o modelo real. Está é uma etapa que ocorre calibrações do modelo, sendo também um processo iterativo de comparação entre o modelo e o comportamento do sistema real.

Para a verificação do modelo desenvolvido, foram utilizadas duas técnicas, sendo a primeira delas a própria análise visual do sistema. Como o fluxo de ambulâncias pode ser visto através da simulação, foi verificado se o trajeto realizado estava correto da saída da base até o retorno à mesma. A segunda forma foi utilizando o *log* gerado pelo próprio *software* após a simulação, no qual podem ser vistos todos os tempos de uma ambulância, seus estados e a hora de entrada e saída de cada estado. Partindo desses dados, foi possível analisá-los a fim de verificar possíveis erros de fluxo.

Na Figura 18 abaixo, é possível identificar o log gerado para uma simulação realizada no *Anylogic*.

Figura 18: Log dos estados de uma ambulância gerado pelo *software* após simulação

	agent_type	agent	statechart	state	entry_date	exit_date
1	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	aguardando_na_base	28-06-2020 00:00:00	28-06-2020 00:02:41
2	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_chamado	28-06-2020 00:02:41	28-06-2020 00:09:41
3	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	atendendo_o_chamado	28-06-2020 00:09:41	28-06-2020 00:29:41
4	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_hospital	28-06-2020 00:29:41	28-06-2020 00:36:47
5	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	atendendo_o_hospital	28-06-2020 00:36:47	28-06-2020 00:56:47
6	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_base	28-06-2020 00:56:47	28-06-2020 00:59:37
7	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	aguardando_na_base	28-06-2020 00:59:37	28-06-2020 01:02:31
8	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_chamado	28-06-2020 01:02:31	28-06-2020 01:23:31
9	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	atendendo_o_chamado	28-06-2020 01:23:31	28-06-2020 01:53:31
10	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_hospital	28-06-2020 01:53:31	28-06-2020 02:00:43
11	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	atendendo_o_hospital	28-06-2020 02:00:43	28-06-2020 02:30:43
12	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	movendo_para_base	28-06-2020 02:30:43	28-06-2020 02:40:12
13	Ambulancia	ambulancias[0] : 7845	statechart	aguardando_na_base	28-06-2020 02:40:12	28-06-2020 02:41:25

Fonte: Autor

As validações do modelo foram mais complexas de se realizar. Como não existiam dados abertos do Governo para identificar os tempos médios de atendimentos de uma ambulância em São Paulo, foram utilizados trabalhos acadêmicos e artigos para identificar valores de referências mais perto dos reais.

Com esses valores de referências, foram realizadas interações e calibrações do modelo de forma a assemelhar o seu comportamento ao do sistema real.

5.8. Regime transiente x Regime Permanente

Para a análise dos indicadores de execução do modelo de um sistema de urgência urbano de saúde, é importante a diferenciação entre os chamados de urgência realizados durante um regime transiente e os realizados em um regime permanente do sistema, já que este serviço ocorre 24 horas em todos os dias da semana.

Um sistema é classificado como regime transiente quando o período em que se encontra a simulação ainda está sob a influência das variáveis iniciais do sistema. Sendo assim, este possui maior variabilidade de inconsistência nos resultados.

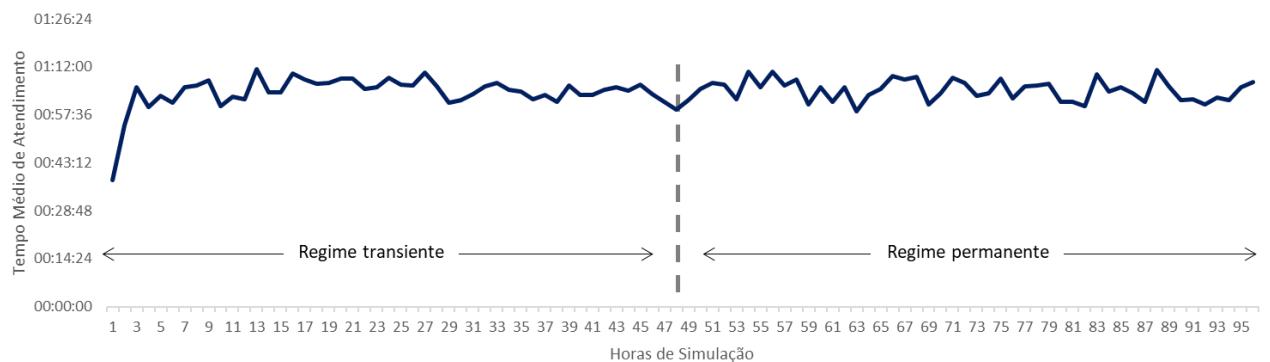
No momento em que os resultados não sofrerem grande influência da situação inicial e, consequentemente, possuirem menor variabilidade, o sistema entra em regime permanente.

Buscaram-se analisar os indicadores do modelo apenas em regime permanente, de forma a evitar possíveis distorções geradas pela situação inicial. Para determinar o período dessas duas fases, analisou-se o tempo de atendimento médio de um chamado de urgência, sendo assim, foi executado o modelo e determinadas essas fases se utilizando de análise gráfica.

Através da observação do comportamento do sistema, definiu-se um período de aquecimento em que as análises estatísticas não seriam coletadas de 48 horas, já que a partir desse instante o sistema já não manifesta alguma tendência clara de aumento ou diminuição, apenas oscila entre os valores de limite superior e inferior.

A Figura 19 apresentada abaixo mostra os tempos médios de atendimento gerados em cada hora de simulação, mostrando o período de regime transiente e o de regime permanente.

Figura 19: Período de regime transiente e regime permanente de uma simulação de tempo médio de atendimento

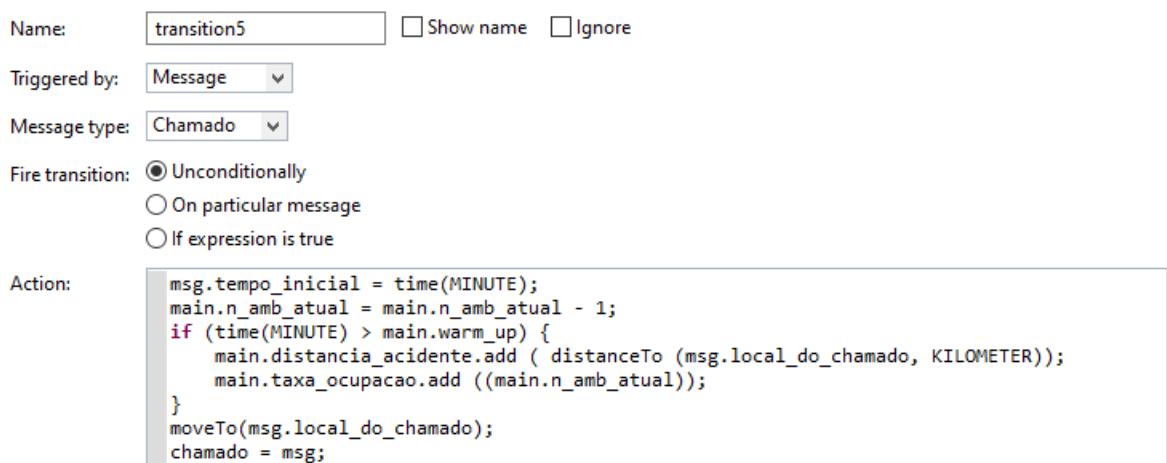


Fonte: Autor

Como no *software* não era possível inserir de forma automatizada esse período de aquecimento, este foi realizado a partir de uma programação para que fossem adicionados apenas os dados em que o momento da simulação fosse maior que o período de aquecimento.

A condicionante presente na Figura 20 representada pela função *if* representa a forma em que isso foi modelado no *software*.

Figura 20: Transição do estado ‘aguardando na base’ para ‘movendo para o chamado’ retirado do *Software Anylogic*



Fonte: Autor

Conclui-se que, a cada simulação, o modelo possuía um período de aquecimento de 48 horas e um período de 48 horas de operação em regime permanente no qual os dados foram coletados para tratamento e análise estatística de desempenho do sistema.

5.9. Número de replicações e números randômicos

Visto que o modelo de simulação contém números aleatórios de entrada, as variáveis de saída também terão natureza aleatória, fazendo com que seja necessário mais de uma replicação para que conclusões possam ser tomadas baseadas nos dados estatísticos.

Para determinar o número de replicações de cada rodada de simulação, utilizou-se da construção de intervalos de confiança e análise da precisão para medição do desempenho do número de replicações.

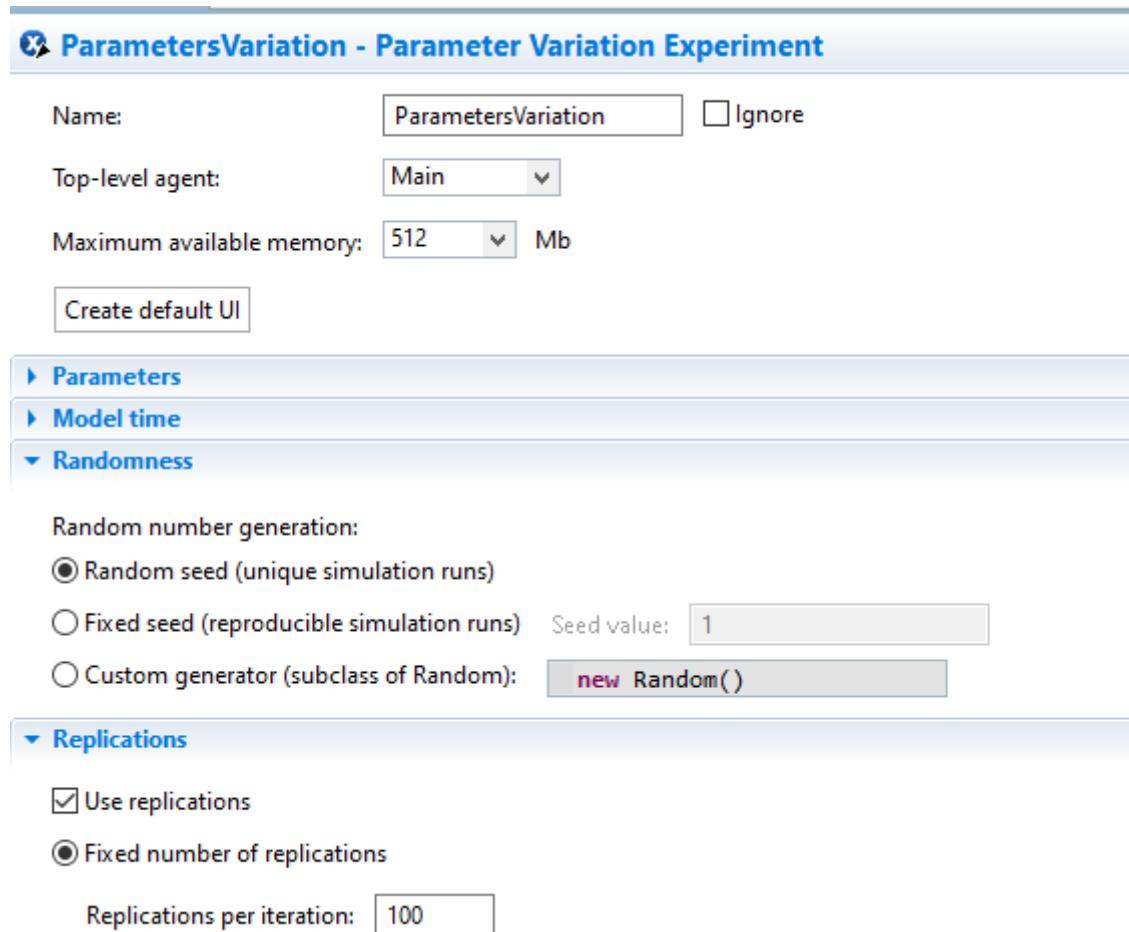
Confiança estatística se trata do intervalo de valores que contém a média da população com certa probabilidade desejada. Quanto maior a probabilidade, maior a confiança estatística de que média da população se encontra nesse intervalo, entretanto, a precisão se refere ao

tamanho desse intervalo, pois nada adianta uma alta confiança estatística se esse intervalo é tão grande que não é possível concluir sobre a média da população (Chwif e Medina, 2007).

Para se determinar um intervalo de confiança, é necessário que os elementos da amostra sejam estatisticamente independentes. No caso do *Anylogic*, isso é possível já que este possui uma funcionalidade de simulação de parâmetros, na qual é solicitado o número de replicações requeridas e se é desejado uma aleatoriedade dos números gerados no sistema em questão. Como a função geradora de números aleatórios garante que os valores gerados são estatisticamente independentes, os dados referentes às replicações também serão independentes.

A Figura 21 mostra como foi gerado no *software Anylogic* a simulação de atendimentos de urgência com a geração de números aleatórios independentes e 100 replicações.

Figura 21: Experimento de variação de parâmetros para simulação de atendimentos de urgência com geração de números aleatórios independentes e 100 replicações



Fonte: Autor

Segundo Chwif e Medina (2006) o intervalo de confiança pode ser construído a partir da seguinte equação:

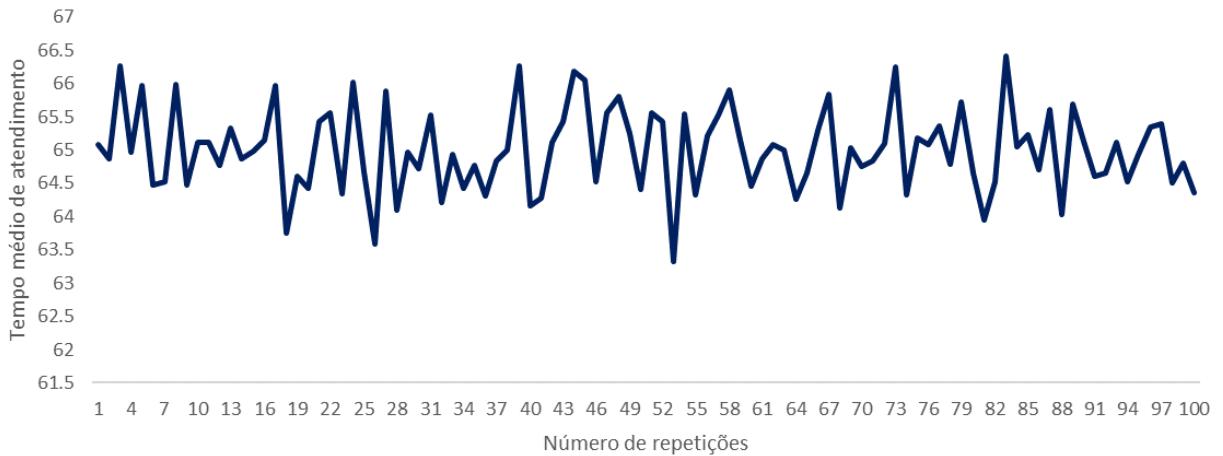
$$\bar{x} \pm t_{n-1;a/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Sendo que:

- \bar{x} é a média da amostra;
- $t_{n-1;a/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ é a metade do tamanho do intervalo (precisão);
- $t_{n-1;a/2}$ 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.

Para o cálculo do intervalo de confiança e precisão, o modelo foi replicado 100 vezes a fim de se coletar os valores de tempo médio de atendimento do regime permanente. Na Figura 22 pode ser visto o tempo médio de atendimento de um chamado por cada repetição realizada.

Figura 22: Gráfico de tempo médio de atendimento por cada repetição realizada



Fonte: Autor

Para se definir o intervalo de confiança, utilizou-se uma confiança de 95% e, por meio do cálculo dessa equação com auxílio do *software* do Excel, encontraram-se os seguintes valores:

Tabela 3: Intervalos de confiança para o tempo médio de atendimento

	Média	Intervalo de Confiança	Precisão
Tempo de Atendimento Médio	65,00	[64,88 ; 65,12]	0,24

Fonte: Autor

Como o tamanho do intervalo apresentado é extremamente baixo (alta precisão), apresentando um intervalo de confiança pequeno para uma confiabilidade de 95%, considerou-se o valor de 100 replicações satisfatório para análise dos dados gerados por cada experimento.

5.10. Descrição das variáveis de estudo

Para avaliar os dados gerados pelos experimentos, foram definidas algumas variáveis de estudo. Essas variáveis têm como objetivo avaliar o desempenho do sistema por meio do estudo de experimentação a partir da mudança dos atributos das entidades.

Alguns indicadores foram determinados a partir do estudo do sistema de urgência urbano, outros foram determinados a partir dos estudos logísticos já retratados ao longo desse trabalho. São eles:

- Tempo total de atendimento: essa variável indica o tempo entre a chegada de um chamado de urgência até o retorno da ambulância até sua base fixa, incluindo os tempos de deslocamentos até o acidente, até o hospital e até a base fixa, além dos atendimentos da equipe no local do chamado e a transferência do paciente da ambulância para o hospital;
- Tempo até o acidente: como um dos indicadores mais importante, o tempo até o acidente reflete o tempo entre o recebimento do chamado e a chegada da ambulância no local;
- Distância até o acidente: esse parâmetro indica a distância entre a base fixa do SAMU que irá prestar o atendimento até o acidente;
- Tempo até o hospital: esse parâmetro avalia o tempo entre a saída da ambulância do local do acidente até a chegada dela ao hospital;
- Taxa de ocupação média: este é um indicador logístico que avalia a disponibilidade da frota em questão. Para uma avaliação logística, a princípio, quanto mais alto esse indicador é, melhor. Entretanto, no caso do SAMU é necessária cautela, pois esse número muito alto pode refletir em indisponibilidade das ambulâncias em prestar um

atendimento, acarretando na demora do atendimento. Esse indicador é calculado por meio da seguinte fórmula:

$$1 - \left(\frac{\text{Média de ambulâncias disponíveis}}{\text{Total de ambulâncias}} \right)$$

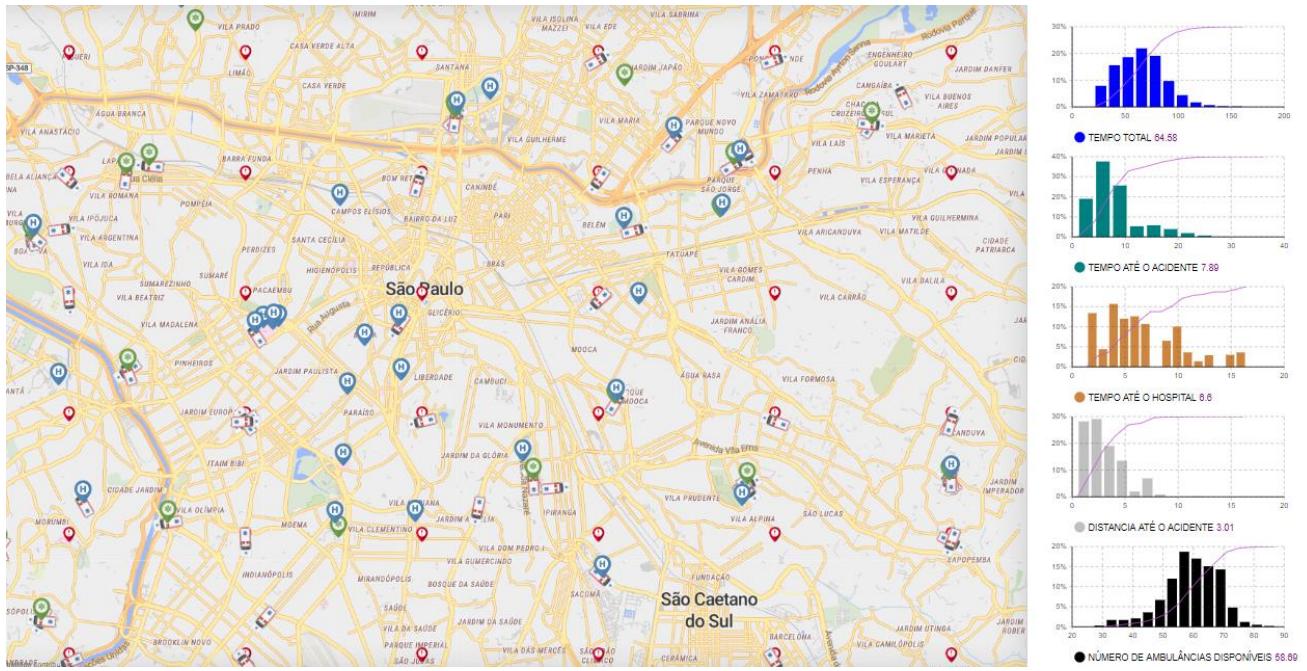
Com esses indicadores selecionados e descritos, foi possível dar prosseguimento à execução do modelo e análise de cenários.

5.11. Cenário Atual Estimado de Operação

Uma vez que o modelo foi desenvolvido no *Anylogic*, foi verificado e validado, e os indicadores determinados, foi possível realizar a simulação do cenário atual estimado de operação. Nesse caso, o cenário é estimado e já foi necessário realizar algumas premissas, como já descrito anteriormente, como a taxa de acidentes, o número de ambulâncias e a seleção da macrorregião de São Paulo.

Uma vez simulado, foi possível utilizar das variáveis de estudo para avaliar o modelo atual e seus resultados. Na Figura 23, é possível verificar a simulação de um experimento no *software* apresentado. Além do mapa em que é possível ver o deslocamento das ambulâncias, cada histograma do lado direito da imagem representa uma variável de estudo. Além da frequência em que cada valor aparece, é possível analisar a função de distribuição acumulada pela linha roxa e os valores médios na parte inferior de cada um dos gráficos.

Figura 23: Simulação de um experimento no *software Anylogic*



Fonte: Autor

Na Tabela 4 apresentada abaixo, é possível verificar os indicadores mapeados para o cenário atual estimado de operação após realizados os 100 experimentos.

Tabela 4: Análise dos indicadores para o cenário atual de operação

	Mínimo	Média	Máximo	Desv. Padrão	Intervalo de Confiança (95%)	Precisão
T. Médio de Atendimento (min)	63.32	65.00	66.41	0.63	64.88 - 65.13	0.25
T. Médio de Desloc. Acidente (min)	7.47	7.77	8.11	0.12	7.74 - 7.79	0.05
D. Média de Desloc. Acidente (km)	2.82	2.96	3.11	0.05	2.95 - 2.97	0.02
T. Médio de Desloc. Hospital (min)	6.39	6.56	6.72	0.07	6.54 - 6.57	0.03
Taxa Média de Ocupação (u)	51.29%	54.17%	57.52%	1.33%	53.91% - 54.44%	0.53%

Fonte: Autor

O tempo médio de atendimento apresenta valores mínimo e máximo de 63,32 minutos e 66,41 minutos, o que implica que, em algum dos 100 experimentos, a média de todos os tempos de atendimentos foram os valores indicados. Essas variações são geradas a partir dos números aleatórios iniciais, evidenciando a precisão e confiabilidade das replicações.

Um tempo de atendimento menor é ocasionado principalmente por dois motivos: acidentes mais próximos da base fixa, gerando menos tempo de deslocamento, e acidentes menos graves, gerando um menor tempo de atendimento. Já os tempos de atendimento maiores são os opostos.

Como mostrado anteriormente, o número de replicações é suficiente para se analisarem os indicadores por apresentar uma grande precisão, pelos intervalos de confiança serem pequenos.

A média do tempo de deslocamento até o acidente e a média do tempo de deslocamento até o hospital são, respectivamente, 7,77 minutos e 6,56 minutos, valores que podem ser considerados pequenos quando comparados ao tempo médio de atendimento de 65 minutos. Isso mostra que, no cenário atual, o que consome mais tempo do atendimento é a assistência ao paciente acidentado no local da urgência e o desembarque do paciente no hospital.

Com relação à taxa média de ocupação das ambulâncias, foi possível obter a partir dos 100 experimentos realizados uma média de operação de 54,17%. Se tratando de custo para manter essa operação, esse nível de serviço não seria adequado por ser relativamente baixo. Entretanto, como estamos lidando com vidas humanas e quanto mais rápido a chegada ao atendimento, mais chances de vida o paciente de urgência possui, esse nível se encontra um pouco acima do esperado.

Espera-se que os atendimentos de urgência urbanos de saúde, quando bem dimensionados, possuam grandes períodos em que as equipes médicas e os equipamentos permaneçam desocupados.

Para Fitzsimmons e Fitzsimmons (2004), uma unidade de atendimento de saúde móvel deve raramente estar ocupada por mais de 30% do seu tempo. Sendo assim, o excesso de capacidade da ambulância é necessário para que os pacientes sejam atendidos de maneira mais rápida e eficiente possível.

6. ANÁLISE DE CENÁRIOS

Para escolher os possíveis cenários a serem analisados pelo modelo, buscou-se entender quais eram os parâmetros mais importantes dentro de um atendimento de urgência de saúde na cidade de São Paulo.

Esses cenários têm como o objetivo fornecer repostas lógicas e indicações de tendências frente a alterações futuras a partir da análise dos indicadores e de como o modelo se comporta para uma possível tomada de decisão e justificativa para investimentos futuros.

Os parâmetros selecionados foram número de ambulâncias, número de hospitais, número de bases fixas do SAMU e taxa de chamados, o que gerou 4 diferentes cenários. Estes cenários estão resumidos na Tabela 5 e serão detalhados na subseção correspondente.

Tabela 5: Descrição dos cenários propostos

Cenários	Descrição
Cenário 1	Variação no número de ambulâncias por base fixa do SAMU
Cenário 2	Redução do número de bases fixas do SAMU
Cenário 3	Redução do número de hospitais e unidades de saúde pública
Cenário 4	Alteração da taxa de chamado

Fonte: Autor

6.1. Cenário 1 – Variação no número de ambulâncias por base fixa do SAMU

O primeiro cenário buscou avaliar o comportamento do sistema por meio da variação do número de ambulâncias presentes em cada uma das bases fixas. Sabe-se que a quantidade de ambulâncias disponíveis no sistema se relaciona ao tempo de atendimento total de um chamado de urgência. Ao mesmo tempo que seria interessante aumentar o número de ambulâncias, é válido ressaltar que seria necessário um grande investimento para compras de novas unidades.

Buscou-se, então, analisar a influência de novas ambulâncias no sistema. Inicialmente, foram definidas no cenário atual estimado um número de 4 ambulâncias por base fixa. No cenário de simulação proposto, as ambulâncias variam de 1 até 10 veículos por base como pode ser visto na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6: Número de ambulâncias em cada base fixas e no sistema por experimento realizado

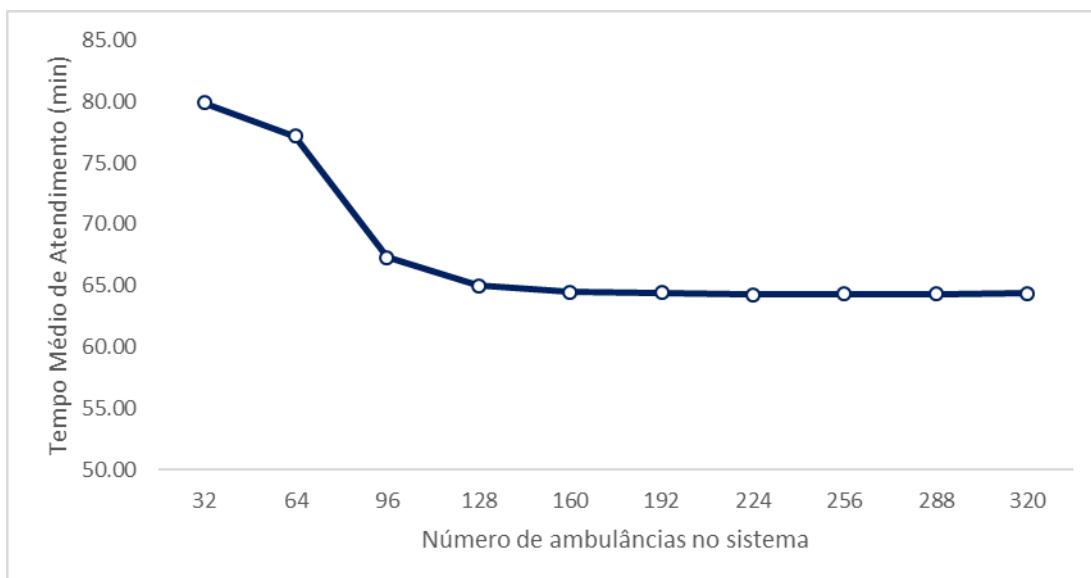
Número de Ambulâncias Por Base Fixa	Número de Ambulâncias no Sistema
1	32
2	64
3	96
4	128
5	160
6	192
7	224
8	256
9	288
10	320

Fonte: Autor

Após definida a quantidade de ambulâncias em cada um dos 10 cenários propostos, realizou-se a simulação das 100 replicações para cada um dos cenários. Após finalizada as replicações, os dados e indicadores propostos foram gerados e analisados.

Avaliando-se inicialmente o tempo de deslocamento total, buscou-se identificar o comportamento do modelo a partir da variação do número de ambulâncias no sistema. O gráfico gerado pode ser analisado na Figura 24.

Figura 24: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de Ambulâncias



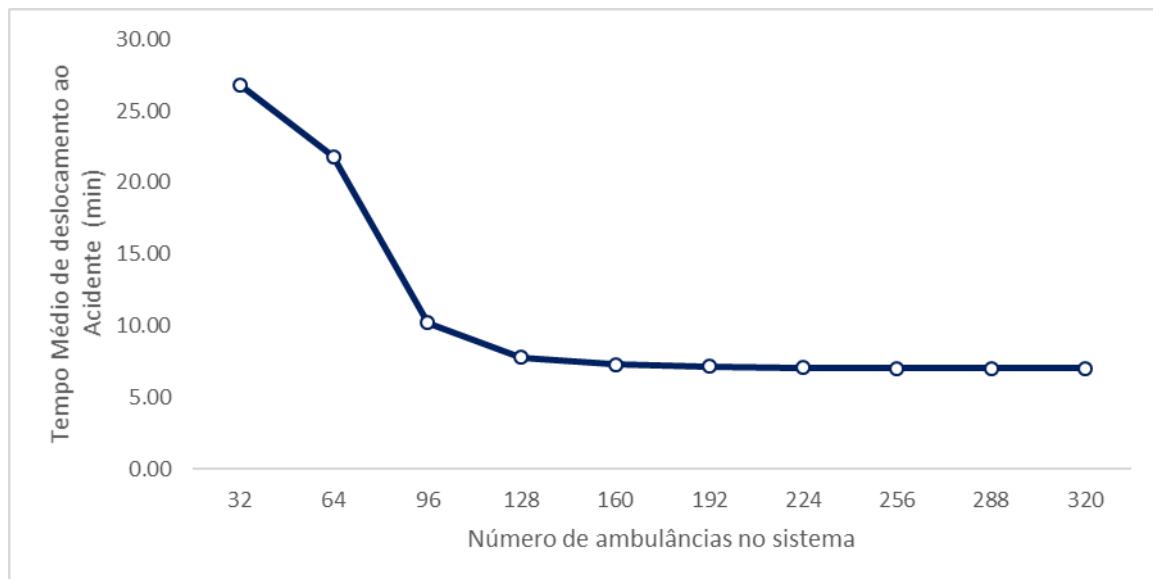
Fonte: Autor

Percebe-se que, com o número mínimo de 1 ambulância por base fixa, totalizando 32 no sistema, tem-se o maior valor de tempo de atendimento. Esse valor era esperado, pois, quanto menos ambulâncias no sistema, mais sobrecarregado ele fica, o que dificulta a realização dos atendimentos de urgência.

O interessante de se analisar nesse gráfico é a redução marginal do tempo médio de atendimento para um número de ambulâncias maior que 128, o que mostra que o número de 4 ambulâncias por base fixa se encontra relativamente adequado para o atendimento das urgências nas condições iniciais estimadas do sistema.

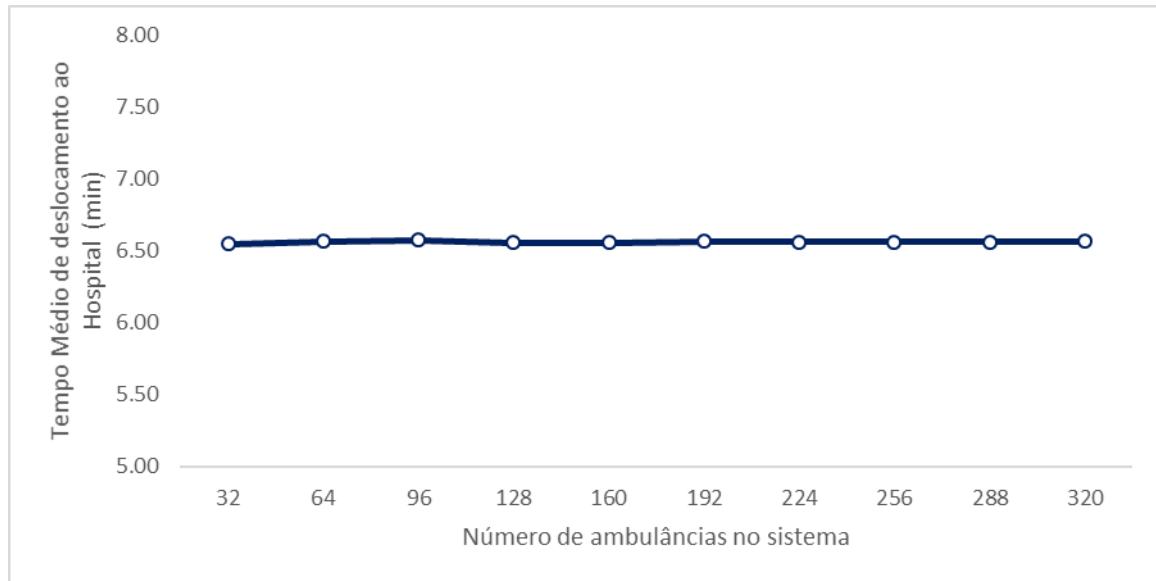
Buscou-se investigar também a motivação da variação analisada no gráfico anterior. Para isso, analisou-se o tempo de atendimento de deslocamento até o acidente e o tempo de transporte do acidente até o hospital. Os gráficos gerados estão representados pelas Figura 25 e Figura 26, respectivamente.

Figura 25: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de Ambulâncias



Fonte: Autor

Figura 26: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de Ambulâncias



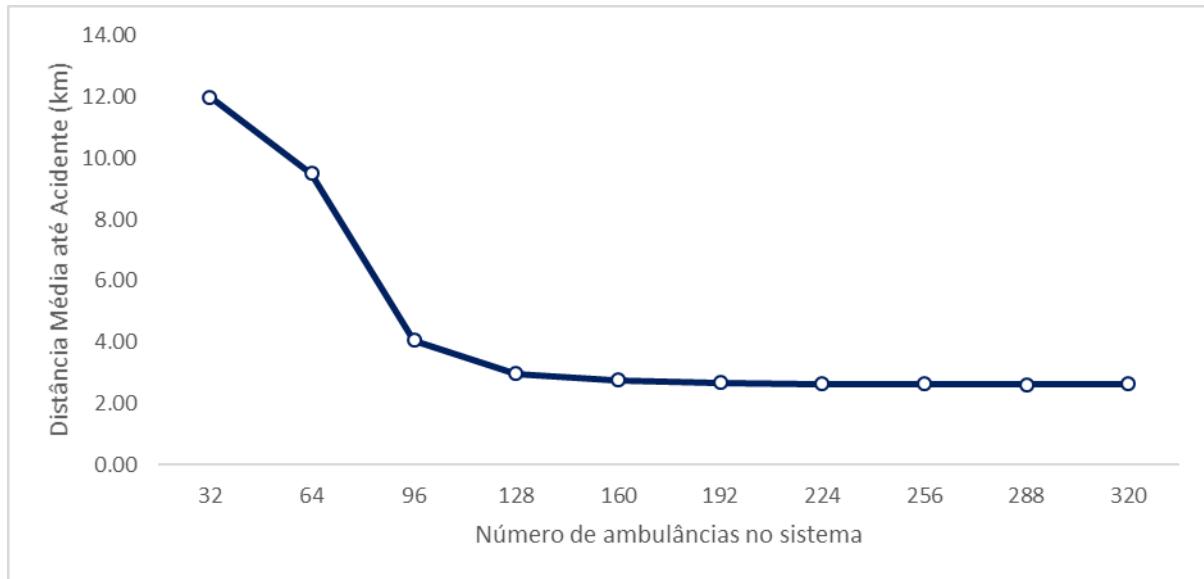
Fonte: Autor

Percebe-se que a variação no tempo de atendimento total é causada pela variação do tempo de deslocamento de uma base fixa até o acidente, e a Figura 25 comprova essa hipótese já que o tempo médio de deslocamento até o acidente possui as mesmas características estatísticas do tempo de atendimento total.

Como esse cenário proposto não altera o número de hospitais, era de se esperar que os valores de tempo de deslocamento até os hospitais também não alterassem. A Figura 26 apresenta exatamente a expectativa, já que a variação que ocorre entre os experimentos simulados são mínimas, podendo-se dizer que o tempo médio de deslocamento até o hospital se encontra estatisticamente estável ao longo dos experimentos.

Examinou-se também se a variação do tempo de deslocamento inicial foi causada pelo aumento da distância entre o acidente e a base fixa do SAMU, e, para isso, foi gerado o gráfico referente da Figura 27.

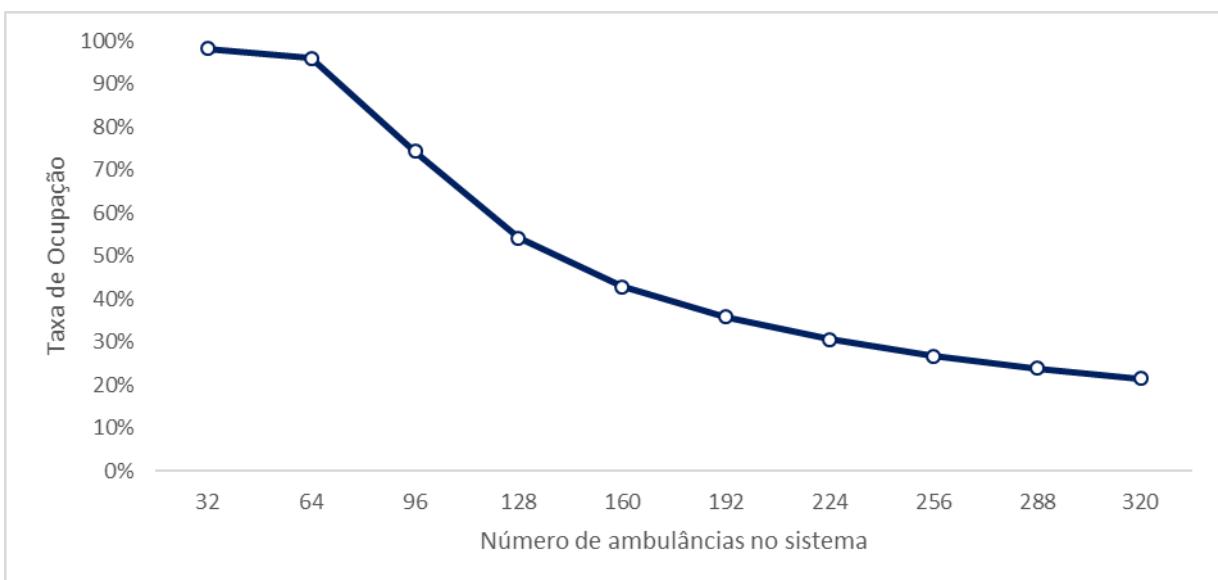
Figura 27: Gráfico Distância Média até o Acidente por Número de Ambulâncias



Fonte: Autor

Percebe-se a mesma curva característica no gráfico da distância média até o acidente, isso porque o tempo de deslocamento está diretamente relacionado à distância percorrida pela ambulância, que aumenta com a diminuição de ambulâncias disponíveis porque o sistema começa a ficar sobrecarregado. O retrato da ocupação do sistema pode ser visto através do gráfico na Figura 28 abaixo.

Figura 28: Gráfico Taxa de Ocupação por Número de Ambulâncias



Fonte: Autor

O aumento da taxa de ocupação faz com que a distância até o acidente aumente porque a chegada de um novo chamado identifica a ambulância mais próxima disponível para o atendimento, porém este veículo não necessariamente estará na base fixa mais próxima do acidente, já que existe uma grande quantidade de veículos ocupados.

Essa característica observada nesse cenário reforça ainda mais a tese de Fitzsimmons e Fitzsimmons (2004) apresentada anteriormente. Há uma grande perda de agilidade quando a taxa de ocupação das ambulâncias aumenta, e o risco quando isso ocorre é enorme, principalmente pelo fato dos pacientes mais urgentes precisarem de um atendimento mais rápido possível.

6.2. Cenário 2 – Redução do Número de Bases Fixas do SAMU

O segundo cenário tem como objetivo analisar o comportamento do sistema e dos seus indicadores por meio da redução do número de bases fixas do SAMU. Como apresentado anteriormente, a localização das bases do SAMU é extremamente importante para conseguir prestar um atendimento eficaz a um paciente de urgência já que ela está ligada diretamente à distância percorrida por uma ambulância até chegar em um atendimento e, consequentemente, ao tempo desse deslocamento.

O mapeamento dos dados realizados traz que na macrorregião estudada de São Paulo há 32 bases fixas do SAMU, e, com isso, criaram-se outros modelos de estudo em que a quantidade de bases varia entre 32 e 1. Vale ressaltar que a quantidade total de ambulâncias no sistema não varia nesse cenário. Entretanto, para isso ser válido, foi preciso realocar as ambulâncias de uma base entre as outras remanescentes. Tanto a seleção de quais bases deveriam continuar no sistema quanto a realocação das ambulâncias foram realizadas de maneira aleatória, com o objetivo de diminuir qualquer viés presente no sistema. Na Tabela 7 é possível verificar o número de bases para cada experimento e a média de ambulâncias por base fixa.

Tabela 7: Variação do número de bases fixas

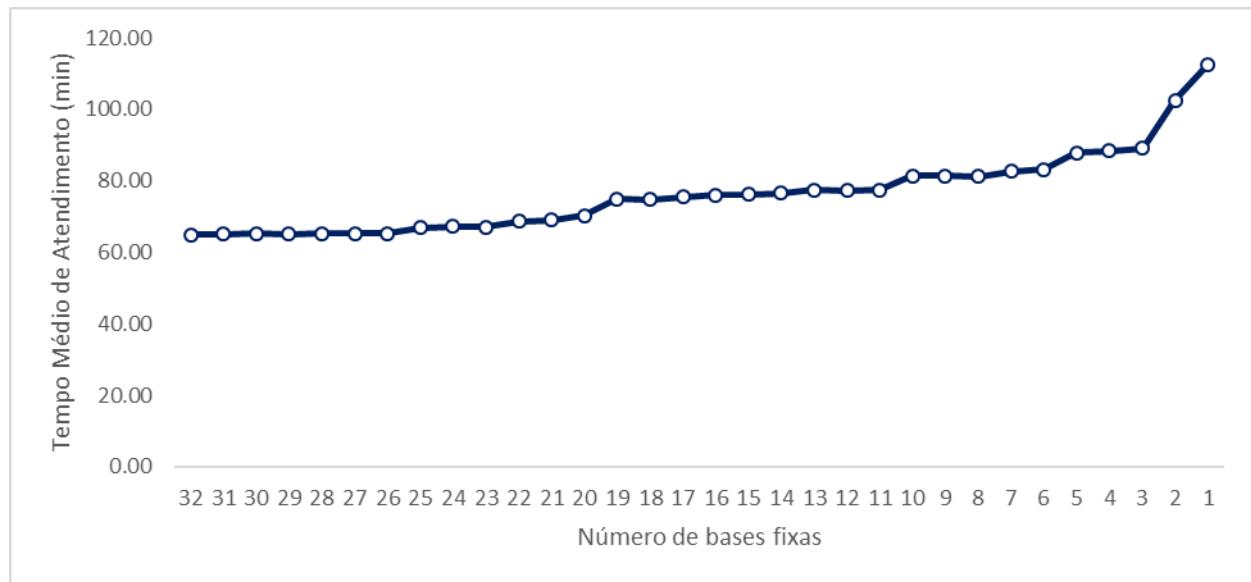
Número de Bases	Média de Ambulâncias por Base
32	4.0
31	4.1
30	4.3
29	4.4
28	4.6
27	4.7
26	4.9
25	5.1
24	5.3
23	5.6
22	5.8
21	6.1
20	6.4
19	6.7
18	7.1
17	7.5
16	8.0
15	8.5
14	9.1
13	9.8
12	10.7
11	11.6
10	12.8
9	14.2
8	16.0
7	18.3
6	21.3
5	25.6
4	32.0
3	42.7
2	64.0
1	128.0

Fonte: Autor

Após programados cada um dos modelos a serem estudados, foi realizada a simulação de 100 experimentos para cada um deles, e depois extraída a base de dados para o cálculo dos indicadores propostos.

Primeiramente, analisou-se a variação do tempo médio de atendimento total a cada alteração no número de bases fixas, representado pela Figura 29.

Figura 29: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de Bases fixas

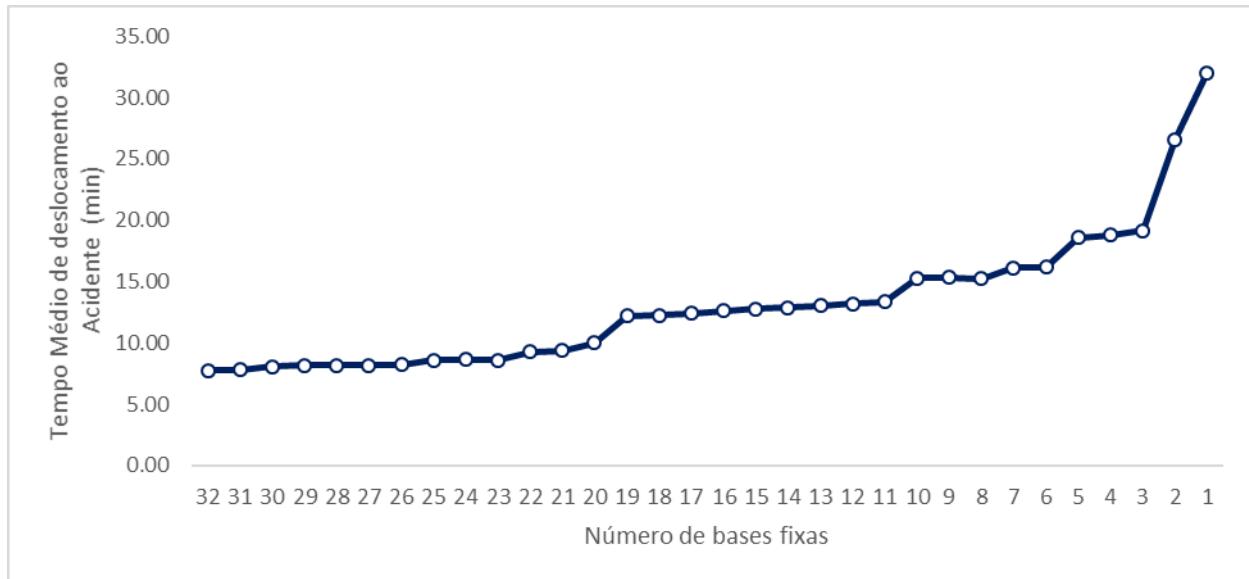


Fonte: Autor

Percebe-se que a redução do número de bases influencia no aumento no tempo de atendimento conforme esperado, entretanto esse aumento vai acontecendo principalmente através de picos seguido por uma estabilização, como pode ser visto nos pontos de base fixa 19, 10, 5, 2 e 1.

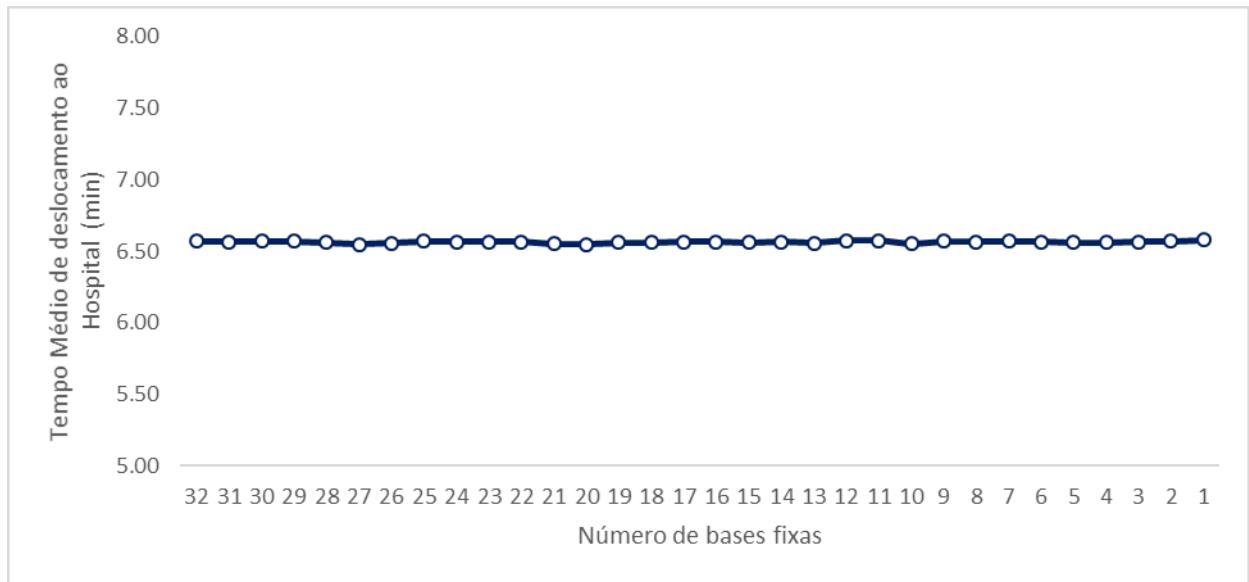
Em seguida, buscaram-se analisar os tempos parciais que compõem o tempo de atendimento total, sendo estes o tempo de deslocamento até o acidente e o tempo de transporte até o hospital. Para isso, foram gerados os gráficos presentes na Figura 31.

Figura 30: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de Bases Fixas



Fonte: Autor

Figura 31: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de Bases Fixas



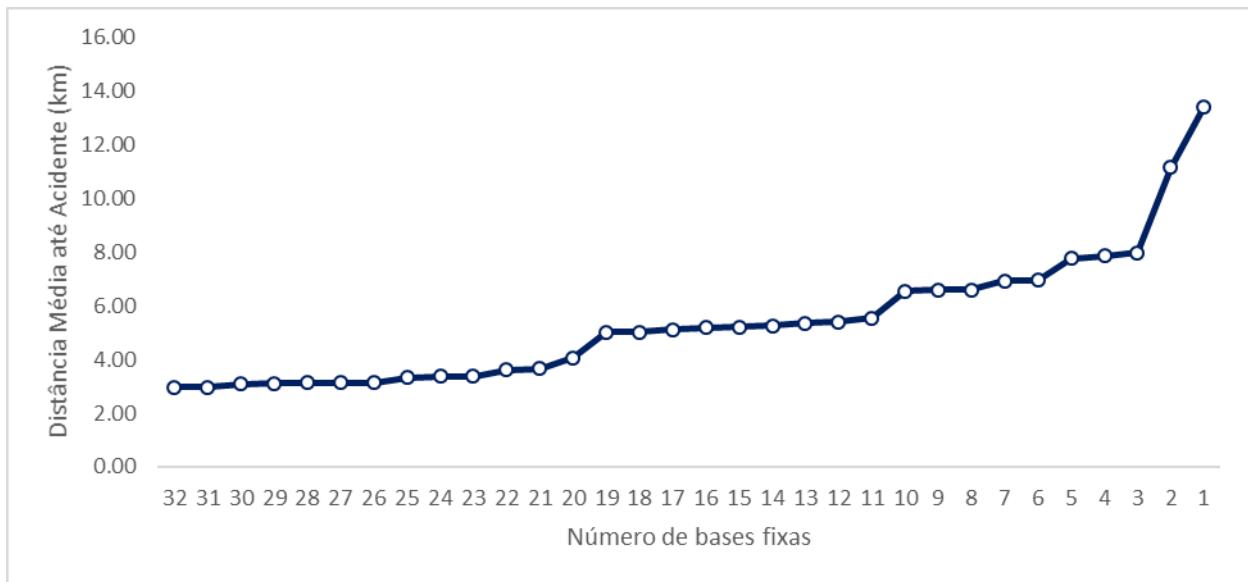
Fonte: Autor

Novamente é possível perceber que variação no tempo de atendimento total é causada pela variação do tempo de deslocamento de uma base fixa até o acidente, enquanto o tempo médio de deslocamento até o hospital não sofre alterações expressivas para serem consideradas.

Sendo assim, foi analisada em seguida a distância de deslocamento até o acidente, para se comprovar a hipótese de que o aumento do tempo médio de deslocamento ao acidente havia

sido causado pelo aumento da distância percorrida. O gráfico de distância de deslocamento é observado pela Figura 32.

Figura 32: Gráfico Distância Média até o Acidente por Número de bases fixas

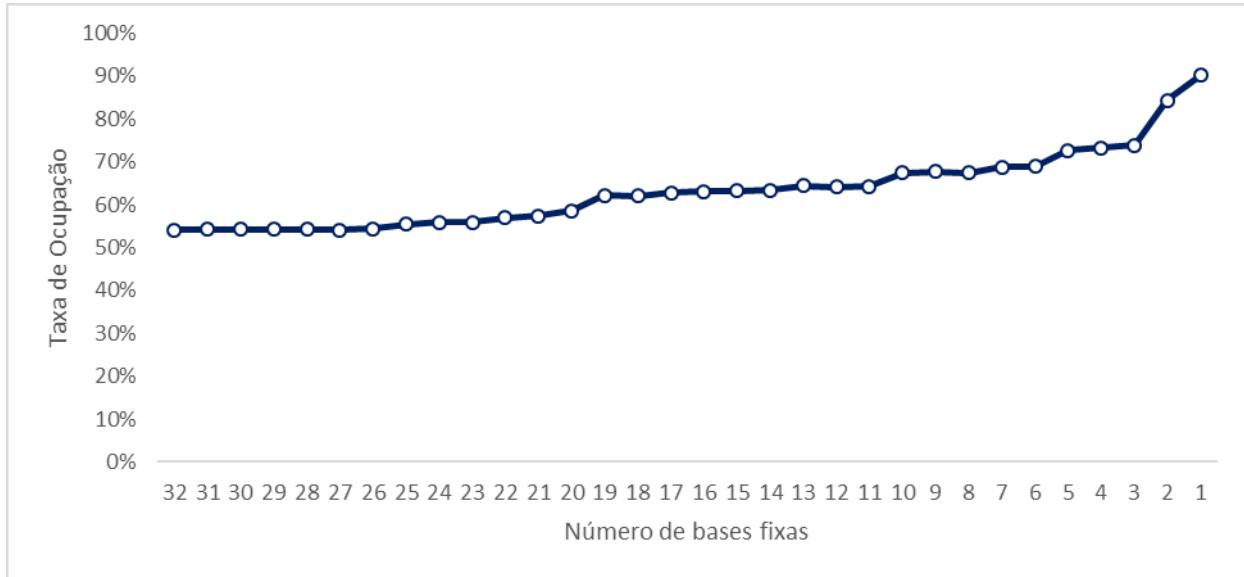


Fonte: Autor

Pelas características identificadas no gráfico da Figura 33, fica evidente que o aumento do tempo de deslocamento até o acidente é ocasionado pelo aumento da distância da base até o acidente, sendo então validada a hipótese.

Por fim, buscou-se analisar como a redução no número de bases fixas altera a taxa de ocupação, já que os aumentos dos tempos de atendimento fazem com que as ambulâncias fiquem mais tempo ocupadas. Essa análise é observada na Figura 34.

Figura 33: Gráfico Taxa de Ocupação por Número de bases fixas



Fonte: Autor

As características presentes nos outros gráficos apresentados também se encontram na avaliação da taxa de ocupação. Entretanto, diferentemente do cenário 1 apresentado, vale ressaltar que este não chega perto do seu limite de 100% de ocupação. Este se encontra, no pior caso, com um valor de 90% de ocupação, mesmo tendo um valor mais elevado de tempo de atendimento total quando se comparado com o pior caso do cenário 1. Isso decorre não apenas devido ao aumento do trajeto da base até o chamado, mas também pelo aumento do trajeto de retorno que ocorre do hospital até a base fixa.

Com exceção do deslocamento até o hospital que já foi explicado, a particularidade de todos os outros gráficos de possuir aumento em picos exatamente nos pontos 19, 10, 5, 2 e 1 de bases fixas é proveniente de uma particularidade do sistema: a de que nem todas as bases fixas enviam, necessariamente, ambulâncias para atendimento de chamados.

Para exemplificar essa particularidade, supõe-se um sistema (A) com n bases fixas (b), e que uma certa região simulada seja atendida pelas bases presentes em um subconjunto (B), que possui m bases fixas, com $m \leq n$ e sendo o subconjunto (C) como a diferença entre A e B . Estes podem ser representados abaixo:

$$A = \{b_1; b_2; \dots; b_n\}$$

$$B = \{b_1; b_5; \dots; b_m\}$$

$$C = A - B$$

Como a redução de bases fixas foi realizada de modo aleatório, nos casos em que foi retirada uma base fixa do conjunto C , o sistema não se altera, já que as bases que estão sendo utilizadas estão apenas no subconjunto B . Entretanto, nos casos em que se retira uma base do subconjunto B , o sistema precisa se reorganizar para atender a demanda, gerando um novo subconjunto B' . Esse sistema, no entanto, não é tão eficiente como o sistema anterior, do que decorre o aumento dos tempos em picos observados pelos gráficos.

6.3. Cenário 3 – Redução do número de Hospitais e Unidades de Saúde Pública

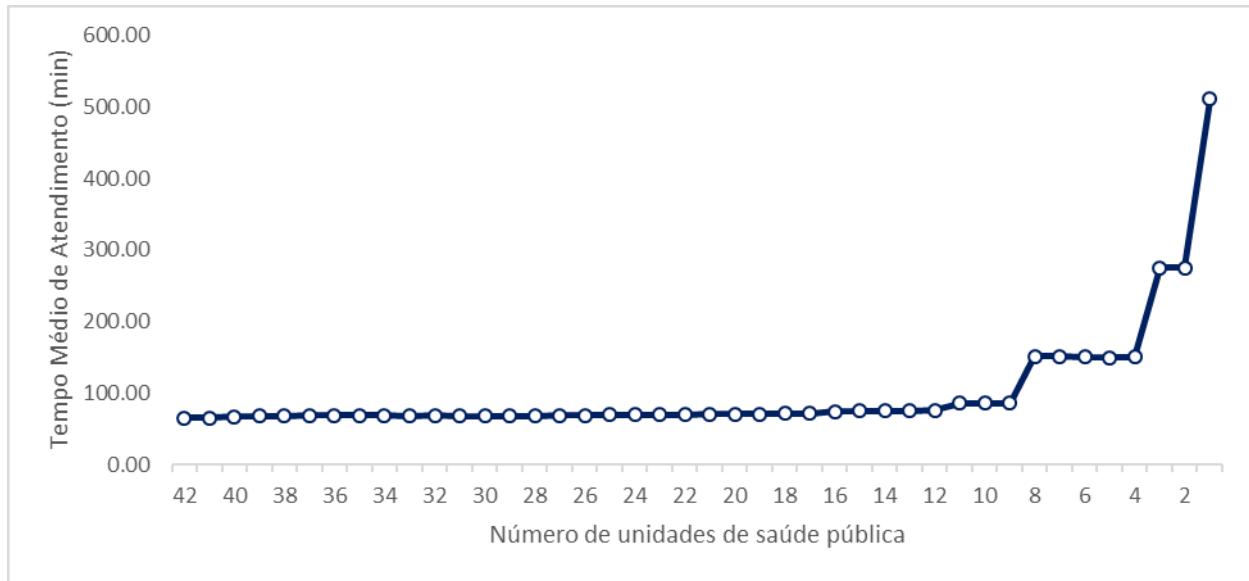
O foco desse cenário não é analisar a etapa de recebimento dos pacientes acidentados pelas unidades de saúde e nem avaliar possíveis gargalos, mas analisar como o sistema e seus indicadores se comportam por meio da redução do número de hospitais e unidades de saúde pública visto que essas alterações influenciam no atendimento e, consequentemente, na disponibilidade de ambulâncias.

A macrorregião de São Paulo modelada no sistema possui 42 hospitais e unidades de saúdes públicas disponíveis para que os pacientes acidentados sejam encaminhados. Assim sendo, criaram-se diversos sistemas em que variou-se a entidade hospital entre 42 até 1 enquanto todas as outras variáveis se mantiveram constantes.

Para cada um dos sistemas criados por meio da variação da entidade hospital, foram simuladas 100 replicações para depois extraírem-se as informações da base de dados e gerarem-se os indicadores para análise deste cenário.

Buscou-se verificar incialmente o comportamento do sistema através da análise do tempo de atendimento total de cada chamado, e, para tal, foi gerado o gráfico presente na Figura 34.

Figura 34: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Número de unidades de Saúde Pública

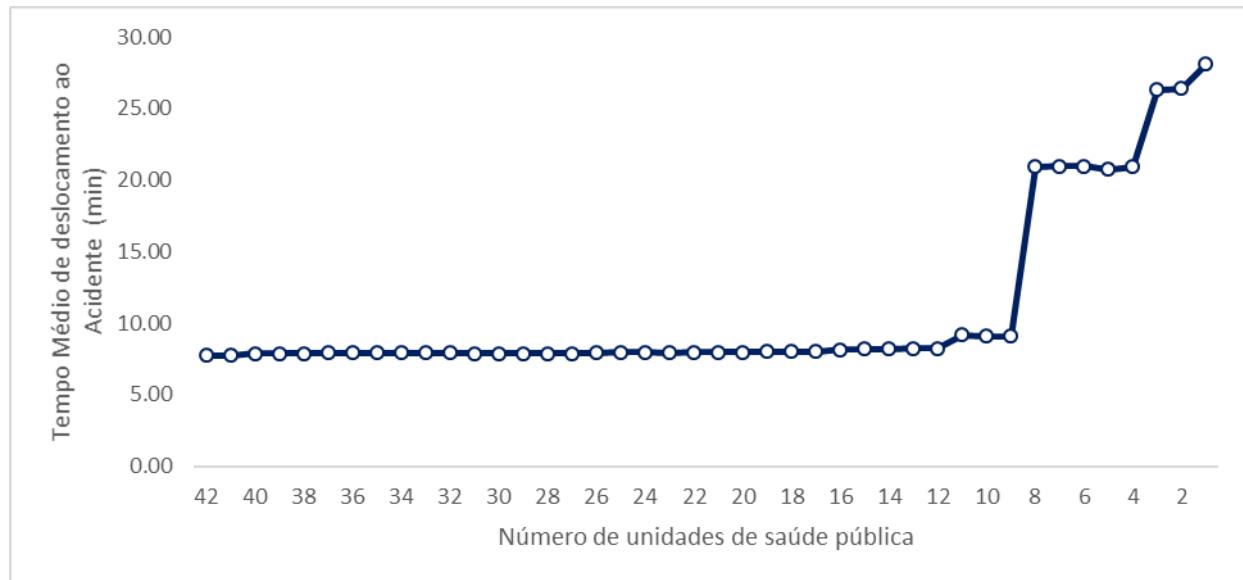


Fonte: Autor

Novamente, é possível verificar a característica de crescimento em picos do tempo de atendimento da mesma forma que ocorreu no cenário 2. Entretanto, esses picos são muito mais acentuados, e o valor de médio tempo de atendimento no pior caso de 1 hospital presente é de 511 minutos, mais que 6 vezes maior do que o valor de 80 minutos encontrado no pior caso do cenário 1, que possui apenas 32 ambulâncias, e mais que 4 vezes maior que o valor de 112 minutos encontrado no pior caso do cenário 2, em que há apenas 1 base fixa.

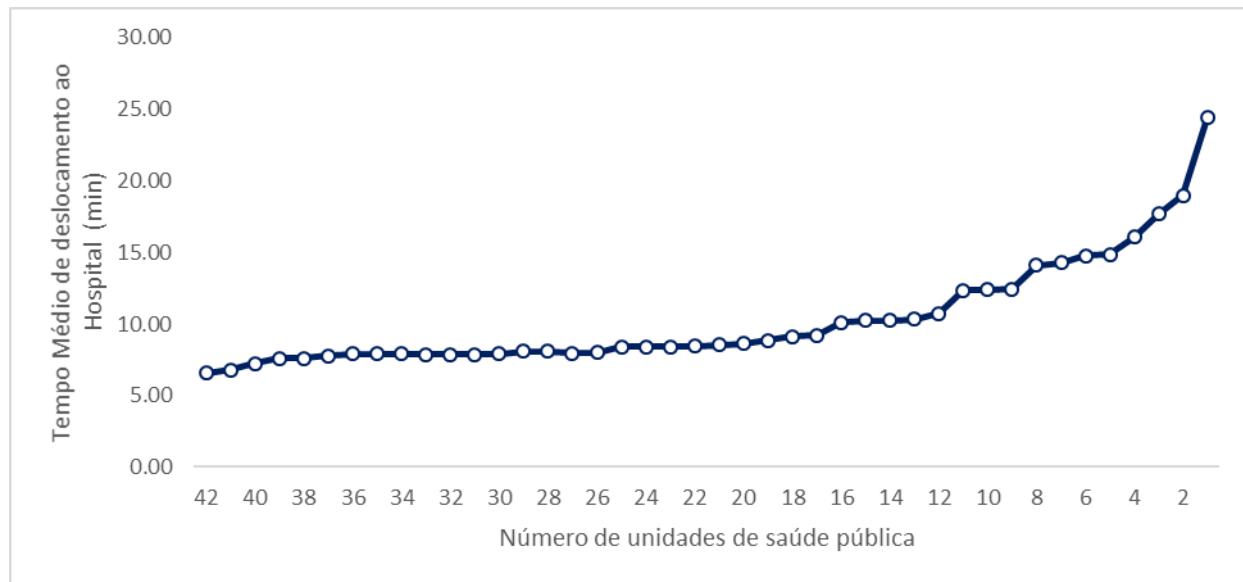
Com esse estudo inicial do problema, buscou-se entender as motivações para tais valores. Assim sendo, foi analisado o comportamento do sistema por meio dos indicadores de tempo de deslocamento até o acidente e tempo de transporte do acidente até o hospital, indicadores que são retratados nos gráficos presentes na Figura 36 respectivamente.

Figura 35: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Número de unidades de Saúde Pública



Fonte: Autor

Figura 36: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Número de unidades de Saúde Pública



Fonte: Autor

É possível perceber que o tempo médio de deslocamento até o acidente permanece praticamente constante até o ponto de 12 unidades de saúde pública. Entretanto, pela primeira vez entre os cenários apresentados, o tempo médio de deslocamento até um hospital se altera ao longo da variação da quantidade de hospitais.

Esses aumentos, no entanto, são pequenos e geram pouca interferência no sistema, até chegar-se ao ponto de 9 unidades de saúde pública. A retirada de mais uma entidade faz com que o tempo de deslocamento até hospital aumente em mais de 12%, gerando uma instabilidade no sistema.

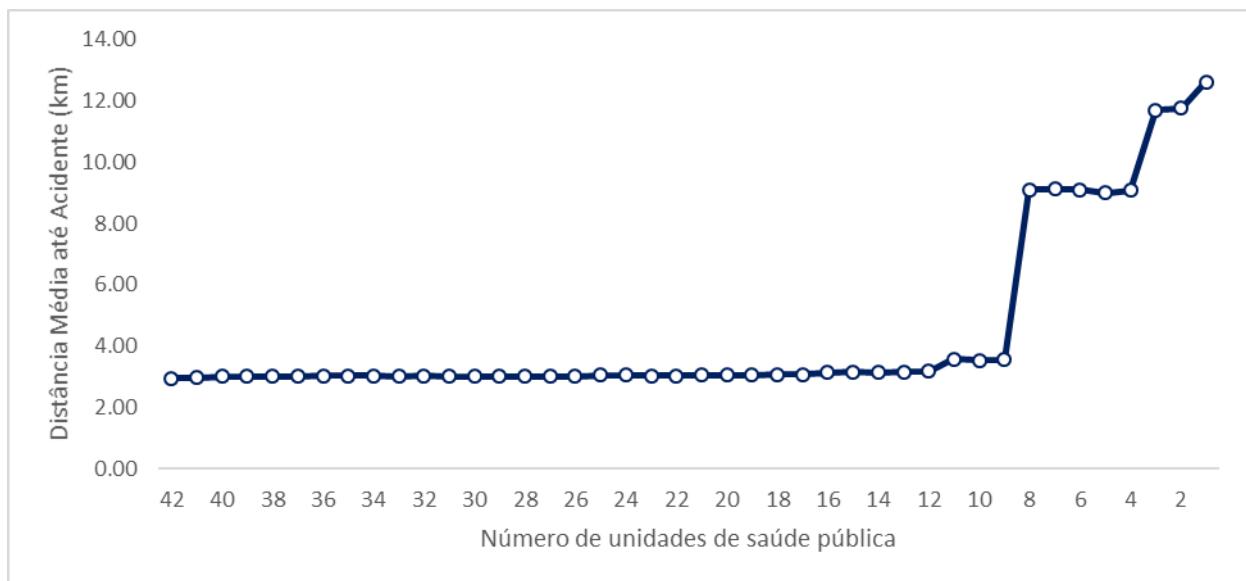
Essa instabilidade ocorre pelo fato de que a demanda de chamados é maior que a capacidade da base mais próxima em atendê-los. Com isso, o sistema aloca a unidade disponível mais próxima, mas, como essa unidade se encontra em outra base fixa diferente da mais próxima, há um aumento no deslocamento até o acidente e, consequentemente, um tempo maior de deslocamento.

Percebe-se que esse maior tempo de deslocamento até o acidente causa uma maior instabilidade no sistema, sendo então um aumento progressivo até o sistema entrar em regime permanente.

A partir do ponto de 8 unidades de saúde pública, há um aumento no tempo de deslocamento até o hospital presente na Figura 36, porém esses aumentos geram novas instabilidades no sistema apenas nos pontos de 3 e 1 unidades de saúde pública, como pode ser visto na Figura 34 e Figura 35.

Esses picos de grandes crescimentos no tempo de deslocamento até um acidente também são característicos da distância até o acidente, como pode ser analisado pela Figura 37.

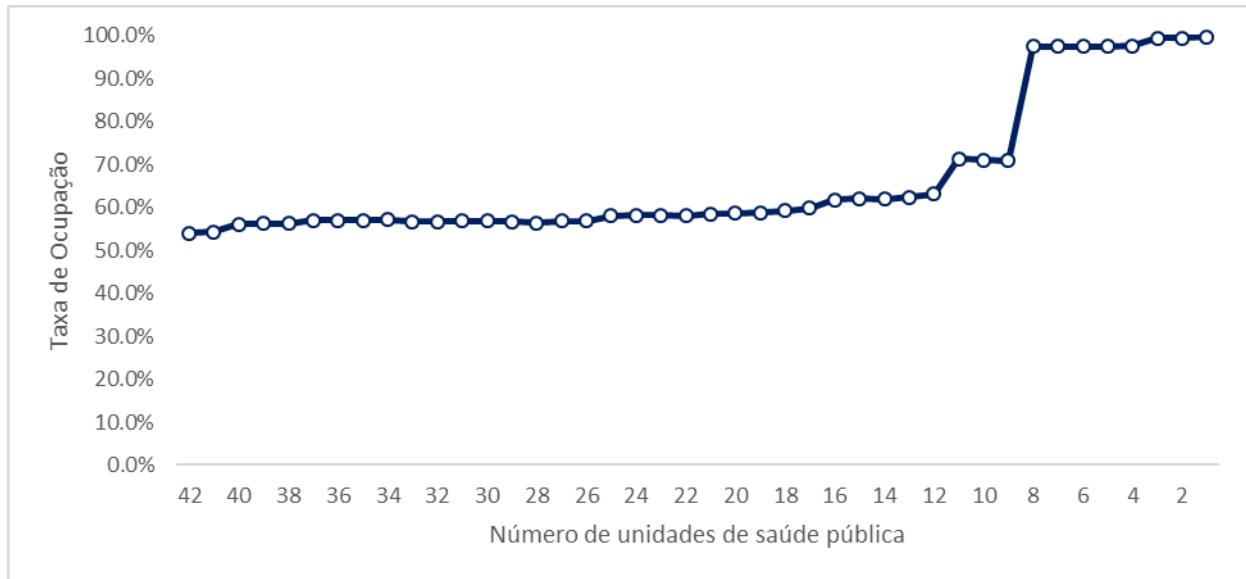
Figura 37: Gráfico Distância Média de deslocamento ao Acidente por Número de unidades de Saúde Pública



Fonte: Autor

Esses pontos de instabilidade do sistema e o aumento do tempo de total de deslocamento refletem na disponibilidade de ambulâncias no modelo e, consequentemente, na taxa de ocupação, como pode ser visto na Figura 38.

Figura 38: Gráfico taxa de ocupação por Número de unidades de Saúde Pública



Fonte: Autor

Além dos picos presentes estarem ligados à instabilidade do sistema, como já explicado, soma-se a isso o fato de nem todos os hospitais estarem sendo utilizados como destinos de pacientes acidentados. Sendo assim, ocorre a mesma situação já exemplificada no cenário 2. Uma unidade de saúde pública que faz parte do subconjunto de unidades que não fazem parte da solução ótima do sistema, quando retirada, nada altera no sistema. Entretanto, se ela faz parte da solução ótima, o sistema tem que se realocar de forma a ter uma nova solução ótima, porém essa nova solução não vai ser tão eficiente quanto a anterior, potencializando-se a formação dos picos nos gráficos apresentados.

6.4. Cenário 4 – Variação da taxa de chamado

No quarto cenário, buscou-se avaliar o comportamento do sistema por meio da variação da taxa de chamado, afetando-se diretamente a demanda de atendimento. Conforme já apresentado, a demanda está relacionada a diversos fatores como tamanho da população, acesso a serviços de saúde, políticas de redução de acidentes e muitos outros fatores.

Sendo assim, buscou-se analisar uma variação na demanda de redução em 50% até um aumento em 150%, sendo que o valor da taxa de chamado apresentado com variação de 0%

refere-se à representação do cenário atual. Na Tabela 8 é possível verificar a variação simulada neste cenário proposto.

Tabela 8: Variação da taxa de chamado

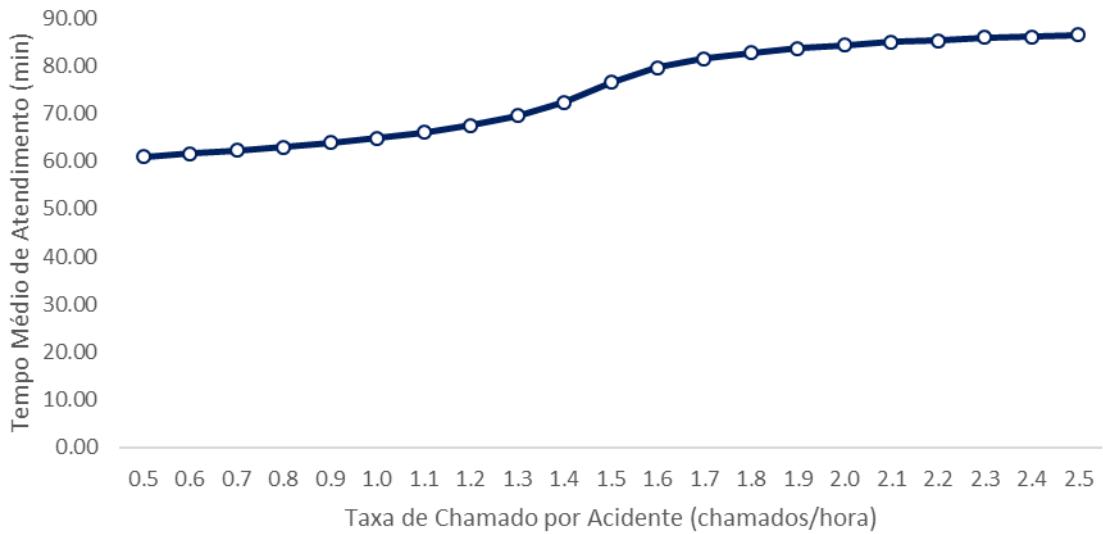
Taxa de Chamado	Variação
0.5	-50%
0.6	-40%
0.7	-30%
0.8	-20%
0.9	-10%
1	0%
1.1	10%
1.2	20%
1.3	30%
1.4	40%
1.5	50%
1.6	60%
1.7	70%
1.8	80%
1.9	90%
2	100%
2.1	110%
2.2	120%
2.3	130%
2.4	140%
2.5	150%

Fonte: Autor

Após definida a variação da demanda, foram simuladas as 100 replicações para cada uma dessas taxas de chamado, para que fosse possível gerarem-se os dados e analisarem-se os indicadores propostos.

Inicialmente, avaliou-se o tempo total de atendimento. Como mostrado na Figura 39, houve um aumento do tempo de atendimento conforme o aumento demanda. Esse comportamento já era esperado, sendo assim, buscou-se analisar a forma em que esse crescimento aconteceu.

Figura 39: Gráfico Tempo Médio de atendimento por Taxa de Chamado

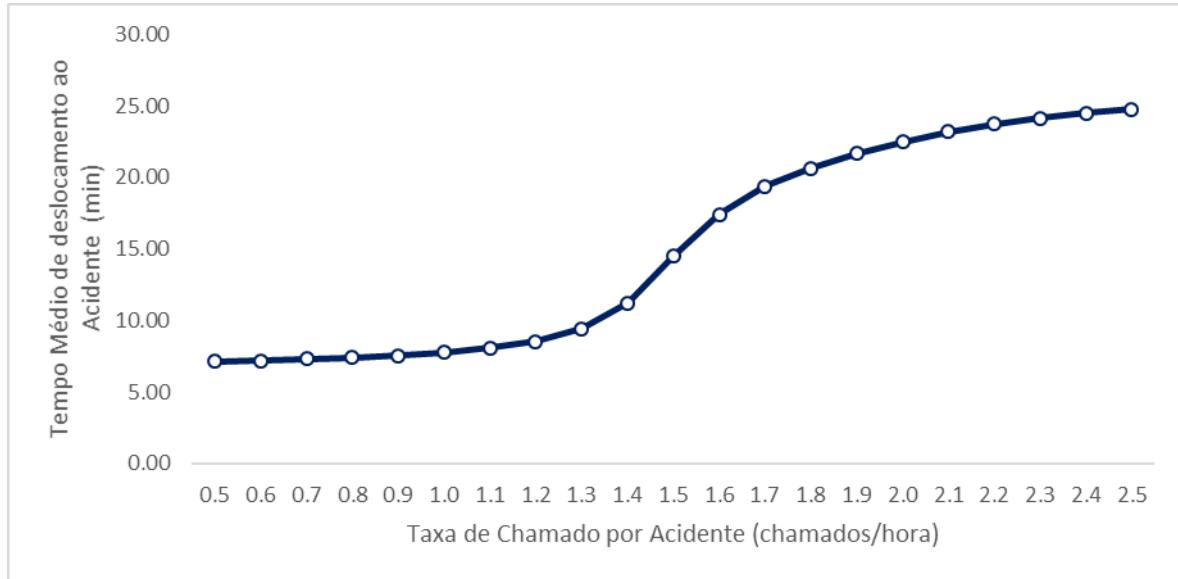


Fonte: Autor

Ao se analisar o gráfico, nota-se um aumento pequeno entre a taxa de 0,5 até a taxa de 1,2, depois é observado um aumento mais robusto até a taxa de 1,8 seguido de uma amenização da curva até a taxa de 2,5.

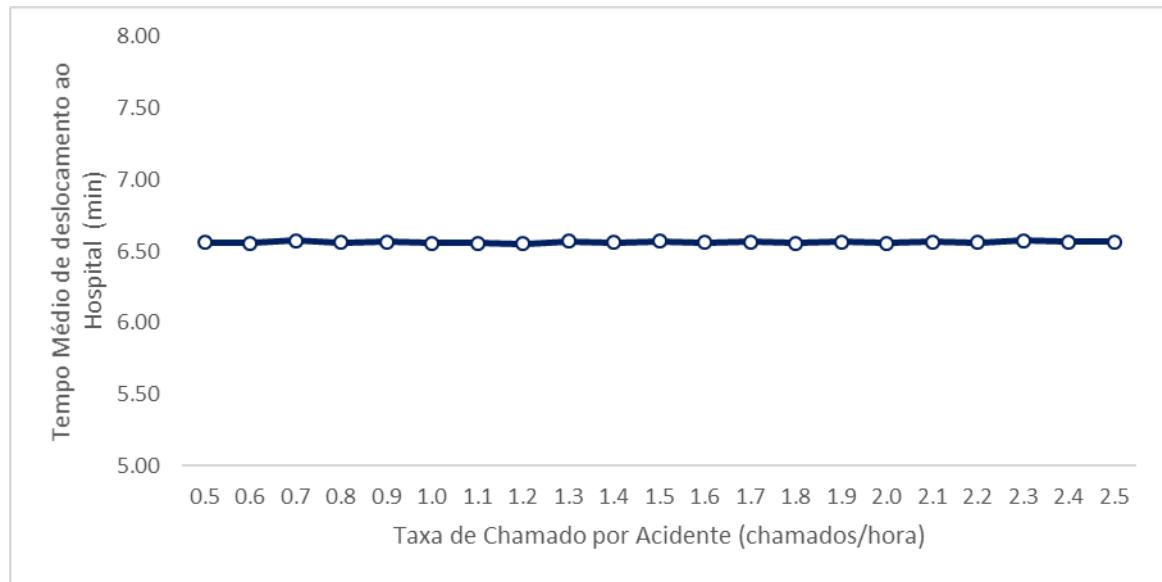
A partir da análise inicial, buscou-se entender a motivação desse aumento, se este foi ocasionado por um aumento do deslocamento até o acidente, deslocamento até o hospital ou ambos. Para isso, analisou-se o gráfico gerado de ambos os indicadores, que podem ser vistos nas Figura 40 e Figura 41 respectivamente.

Figura 40: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Acidente por Taxa de Chamado



Fonte: Autor

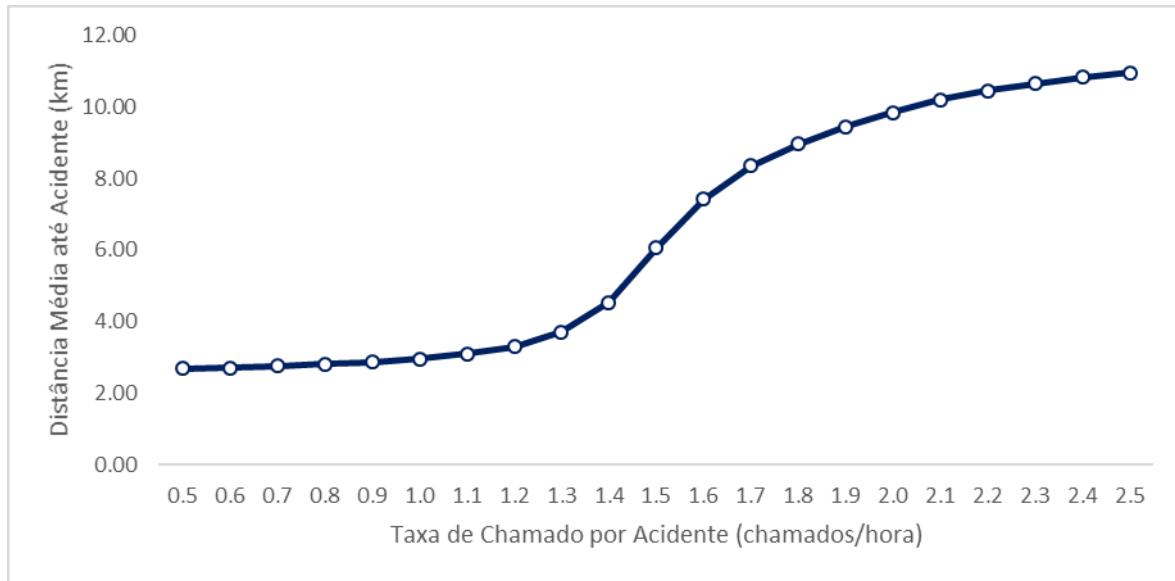
Figura 41: Gráfico Tempo Médio de deslocamento ao Hospital por Taxa de Chamado



Fonte: Autor

Quando analisados ambos os gráficos, fica claro que o responsável pelo impacto causado no tempo de atendimento total foi o aumento do tempo de deslocamento inicial. Esse aumento do tempo de deslocamento inicial foi causado pelo aumento da distância entre o acidente e a base fixa do SAMU, retratado pela Figura 42.

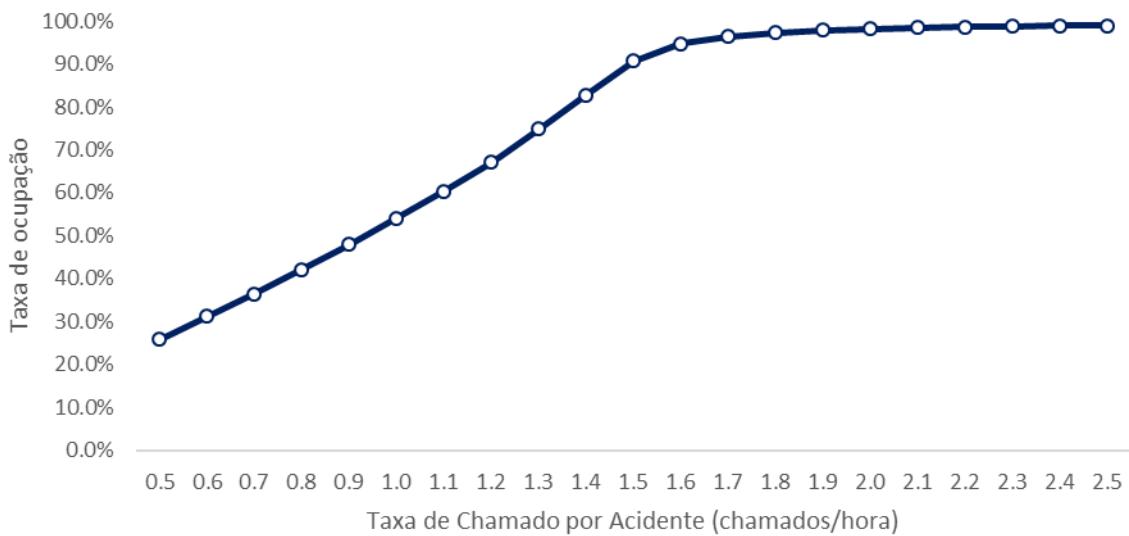
Figura 42: Gráfico Distância Média até o Acidente por Taxa de Chamado



Fonte: Autor

Esse efeito é ocasionado pela escassez de ambulância conforme o sistema começa a ficar sobrecarregado. Isso porque, quando o sistema se encontra com uma taxa de ocupação elevada, a chegada de um novo chamado de urgência vai identificar a ambulância mais próxima disponível, porém este veículo não necessariamente estará na base fixa mais próxima do acidente. Esse fenômeno faz com que o sistema se sobrecarregue ainda mais. O gráfico da taxa de ocupação das ambulâncias pode ser visto na Figura 43.

Figura 43: Gráfico taxa de ocupação por Taxa de Chamado



Fonte: Autor

É possível observar uma crescente evolução na taxa de ocupação ao se aumentar a taxa de chamado, conforme o comportamento esperado. Ao chegar perto do limite máximo de 100% de utilização, este se estabiliza, mas o tempo de atendimento continua a crescer.

7. CONCLUSÃO

O sistema de emergência urbano de saúde possui uma grande aleatoriedade, causada pela função de probabilidade de ocorrência de um acidente em uma localização específica da cidade em um determinado momento. Portanto, este não pode ser previsto, e para isso foi realizada a construção do modelo para uma macrorregião da cidade de São Paulo e realizadas as simulações neste trabalho, de modo a tentar entender o comportamento do sistema frente ao cenário atual.

Posteriormente, esse trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade do sistema de emergência urbano realizado pelo SAMU SP em quatro diferentes cenários de simulação em que foram variadas as entidades do sistema.

O primeiro cenário realizado analisou o comportamento do modelo conforme a alteração da quantidade de ambulâncias. O primeiro ponto a ser notado é que adicionar mais ambulâncias no sistema a partir do cenário atual, por mais que reduza a taxa de ocupação, não causa mudanças significativas no tempo de atendimento total. Isso comprova a hipótese de que há ambulâncias disponíveis nas bases mais próximas dos acidentes quando solicitadas. O segundo é que, dentre os cenários, o pior caso da modelagem, ou seja, a redução do número de ambulâncias para 32 unidades ainda assim se mostrou o que possui menor tempo de atendimento de um chamado, aproximadamente 80 minutos, frente os piores casos dos outros cenários.

No segundo cenário, buscou-se identificar a importância de uma base fixa do SAMU por meio da análise dos indicadores ao se variar a quantidade de bases no sistema. De fato, ter uma base próxima ao acidente é algo imprescindível para um atendimento de qualidade. Entretanto, pode-se perceber nesse cenário que, na maior parte dos casos, ao retirarem-se algumas bases do sistema e realocarem-se as ambulâncias dessa base entre as outras remanescentes, não há grandes alterações no sistema, como pode ser visto nas partes estáveis dos gráficos apresentados anteriormente.

O cenário 3 avalia a relevância das unidades de saúde públicas para um atendimento de serviços de emergências de qualidade por meio do cálculo dos indicadores ao se variar quantidade de hospitais presentes na macrorregião simulada. Nota-se que, dentre todos os cenários simulados, este foi o único em que houve uma alteração significativa no tempo de deslocamento de um acidente até a unidade de saúde.

Mesmo sabendo-se da importância da localização das unidades de saúde para um atendimento de qualidade, a mesma característica apresentada no segundo cenário para a

retirada de uma base fixa ocorre também para a retirada das unidades de saúde. Assim sendo, ao se retirar uma unidade que não possui grande relevância para o modelo, este consegue se readequar de forma a não afetar de maneira relevante o tempo de atendimento de um chamado. No entanto, ao se retirar uma unidade de saúde importante para o sistema, há uma possibilidade de aumentar o tempo de deslocamento até o hospital e, consequentemente, gerar uma grande instabilidade, ocasionando um grande aumento no tempo total de atendimento de um chamado. Essas instabilidades proporcionariam para este cenário o pior tempo de atendimento de um chamado quando comparado aos piores casos dos outros três cenários simulados.

Por fim, o quarto cenário apresentado tinha como proposta simular possíveis mudanças na demanda de urgências, fazendo uma variação na taxa de chamados, e assim avaliar se o sistema continuava bem dimensionado para possíveis alterações futuras de demanda. Observa-se que um aumento de até 30% na demanda, o sistema ainda consegue responder os chamados de maneira razoavelmente adequada, entretanto, a partir de um aumento maior que 30%, o tempo de atendimento total sofre grandes variações e a taxa de ocupação das ambulâncias começa a ficar próximo do limite máximo de 100%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE SAÚDE SUPLEMENTAR, **Dados e Indicadores do Setor**: Sala de Situação. Disponível em: <http://www.ans.gov.br/perfil-do-setor/dados-e-indicadores-do-setor/sala-de-situacao>. Acesso em: 17 out. 2020.

AHIRE, S. L.; GORMAN, M. F., DWIGGINS, D.; MUDRY, O. Operations Research Helps Reshape Operations Strategy at Standard Register Company. **Interfaces**, v. 37, p. 553-565, 2007. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/20141545>. Acessado em: 24 out. 2020.

ANDRADE, L. A. C. G., **Heurística baseada em colônia artificial de abelhas para o problema de localização de bases, alocação e realocação de ambulâncias**, Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA MEDICINA, **Acesso à Informação**. Disponível em: <https://www.spdm.org.br/> Acesso em: 27 jun. 2020.

BAKER, J. R.; CLAYTON, E. R.; MOORE, L. J. Redesign of primary response areas for county ambulance services, **European Journal of Operational Research**, v.41, p. 23-32, 1989. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221789900350>. Acessado em: 20 out. 2020.

BANKS, J. e CARSON, J.S., **Discrete-Event System Simulation**, 5^a ed., Englewood Ciffs N.J, Prentice-Hall, 2009.

BRASIL, [Ministério da Saúde], **Manual Instrutivo da Rede de Atenção às Urgências e Emergências no Sistema Único de Saúde (SUS)**, 1^a edição, 2013. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_instrutivo_rede_atencao_urgencias.pdf. Acesso em: 20 de jul de 2020.

BRASIL, [Ministério da Saúde], **Protocolos de Suporte Básico de Vida**, 2014. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_suporte_basico_vida.pdf. Acesso em: 20 de jul de 2020.

BRASIL, [Ministério da Saúde], **Sistema de Legislação da Saúde**, 2004 Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2004/prt2657_16_12_2004.html. Acesso em: 20 de jul de 2020.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**, Título VIII: Da Odem Social. Seção II: da Saúde. Art. 196 da Constituição Federal, p188-119, 1998.

CADASTRO NACIONAL DE ESTABELECIIMENTOS DE SAÚDE, Dados Abertos: Consultas Estabelecimentos, Disponível em: <http://cnes.datasus.gov.br/pages/consultas.jsp> Acesso em: 20 jun. 2020.

CHAIKEN, J.M., LARSON, R. C. Methods for Allocating Urban Emergency Units, **Operations Research Center Techical Report**, M.I.T., 1971.

CHWIF, L., MEDINA, A. C., **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 2 ed. São Paulo, Ed. Do Autor, 2007.

CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DE SAÚDE DO ALTO VALE DA PARAIBA, Central de Regulação de Urgências SAMU 192. Disponível em: <https://www.consavap.com.br/central-de-regulacao>. Acesso em: 15 de ago. 2020.

FERNANDES, F. S. L., **O processo de trabalho da Central de Regulação do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência – SAMU 192 no município de São Paulo**, Tese (Doutor em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

FITZSIMMONS, J. A.; FITZSIMMONS, M. J. **Administração de serviços: operações, estratégia e tecnologia da informação**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014.

FITZSIMMONS, J. A.; SULLIVAN R.S. Establishing the level of service for public emergency ambulance systems, **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 13, p. 235-239, 1979. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038012179900247>. Acesso em: 20 out. 2020.

GALVÃO, R.D.; CHIYOSHI, F.Y.; MORABITO, R. Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models, **Computers & Operations Research**, v. 32, p. 15–33, 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054803002004>. Acesso em: 20 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico: Cidade de São Paulo**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>. Acesso em: 22 ago. 2020

KOLESAR, P., EDWARD, H. B., Square Root Laws for Fire Engine Response Distances. **Management Science** v. 19, no. 12, p. 1368-1378, 1973.

KOLESAR, P., Inverse Square Root Laws for Fire Engine Effectiveness, **New York City-Rand Institute**, 1973.

LARSON, R., Models for the Allocation of Urban Police Patrol Forces, **Operations Research Center Technical Report**, no. 44, M.I.T., 1969.

MIYAGI, P.E., **Introdução a Simulação Discreta**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, D. G., **Simulação do Fluxo Operacional do Serviço de Atendimento Pré-hospitalar Realizado Pelo GSE/SAMU no Município do Rio de Janeiro**, Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ORCON SERVICES. Report to Department of Health and Social Services. **Ambulance service performance standards and measures**. 1974. Cranfield Institute Technology.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, **Dados Abertos**: Cadastro dos Estabelecimentos de Saúde, Disponível em: <http://dados.prefeitura.sp.gov.br/dataset/cadastro-dos-estabelecimentos-de-saude>. Acesso em 20 jun. 2020.

SILVA, P. M. S. **Análise do Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) de Belo Horizonte Via Simulação e Otimização**, Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SINGER, M.; DONOSO, P.; Assessing an ambulance service with queuing theory. **Computers & Operations Research**, v. 35, p. 2549–2560, 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054806003078>. Acesso em: 20 out. 2020.

STEVENSON, K., Operational Aspects of Emergency Ambulance Services, **M.S. Thesis**, no. 61, M.I.T., 1971.

WILSON, O. W., **Police Administration**, 2^a ed., New York, McGraw-Hill College, 1963.

ANEXO A - TABELA RESULTADO CENÁRIOS

I – *Dashboard* Cenário 1

Número de Ambulâncias	Mín T. Médio Atendimento (min)	Média T. Médio Atendimento (min)	Máx T. Médio atendimento (min)	Mín T. Desloc. Acidente (min)	Média T. Desloc. Acidente (min)	Máx T. Desloc. Acidente (min)	Mín T. Desloc. Hospital (min)	Média T. Desloc. Hospital (min)	Máx T. Desloc. Hospital (min)	Média Distancia Acidente (km)	Média Taxa de Ocupação
32	77.94	79.90	82.00	25.59	26.82	27.98	6.23	6.55	6.82	11.98	98%
64	75.46	77.17	78.93	20.50	21.80	22.80	6.38	6.57	6.77	9.51	96%
96	65.50	67.30	70.18	9.38	10.21	11.66	6.42	6.58	6.73	4.06	74%
128	63.32	65.00	66.41	7.47	7.77	8.11	6.39	6.56	6.72	2.96	54%
160	62.87	64.49	65.72	7.07	7.30	7.52	6.42	6.56	6.70	2.75	43%
192	62.99	64.44	65.85	6.99	7.16	7.45	6.42	6.57	6.77	2.68	36%
224	62.92	64.25	65.41	6.91	7.07	7.28	6.34	6.57	6.72	2.65	31%
256	62.41	64.33	65.68	6.77	7.03	7.23	6.36	6.56	6.77	2.63	27%
288	63.06	64.32	65.59	6.86	7.03	7.23	6.39	6.56	6.71	2.63	24%
320	63.05	64.35	65.96	6.78	7.03	7.23	6.41	6.57	6.76	2.63	21%

II – Dashboard Cenário 2

Número de Bases	Mín T. Médio Atendimento (min)	Média T. Médio Atendimento (min)	Máx T. Médio atendimento (min)	Mín T. Desloc. Acidente (min)	Média T. Desloc. Acidente (min)	Máx T. Desloc. Acidente (min)	Mín T. Desloc. Hospital (min)	Média T. Desloc. Hospital (min)	Máx T. Desloc. Hospital (min)	Média Distancia Acidente (km)	Média Taxa de Ocupação
32	63.56	64.94	66.38	7.45	7.76	8.06	6.43	6.57	6.79	2.96	54%
31	63.81	65.03	66.39	7.53	7.81	8.08	6.34	6.57	6.74	2.97	54%
30	63.85	65.21	66.49	7.78	8.08	8.40	6.42	6.57	6.73	3.09	54%
29	63.72	65.08	66.56	7.81	8.14	8.66	6.43	6.57	6.74	3.11	54%
28	64.28	65.25	67.19	7.91	8.18	8.61	6.40	6.56	6.77	3.13	54%
27	63.79	65.25	66.66	7.88	8.17	8.58	6.39	6.55	6.75	3.13	54%
26	64.21	65.29	66.59	7.87	8.20	8.55	6.39	6.56	6.72	3.14	54%
25	65.50	66.81	68.58	8.26	8.58	8.90	6.40	6.57	6.72	3.32	55%
24	65.27	67.16	68.92	8.32	8.66	9.03	6.41	6.56	6.76	3.36	56%
23	65.52	67.05	68.71	8.27	8.61	8.92	6.40	6.57	6.78	3.38	56%
22	67.49	68.76	70.02	8.93	9.25	9.63	6.40	6.56	6.75	3.61	57%
21	67.65	69.11	70.44	8.96	9.39	9.93	6.41	6.55	6.78	3.65	57%
20	68.81	70.30	72.00	9.62	10.00	10.41	6.41	6.55	6.71	4.05	59%
19	73.55	75.01	77.33	11.76	12.20	12.85	6.42	6.56	6.70	5.01	62%
18	73.73	74.86	76.90	11.80	12.22	12.66	6.37	6.56	6.77	5.01	62%
17	73.76	75.53	77.08	11.93	12.40	12.83	6.33	6.56	6.74	5.10	63%
16	73.97	75.95	77.53	12.26	12.61	13.08	6.42	6.56	6.77	5.18	63%
15	74.37	76.20	77.93	12.31	12.75	13.32	6.38	6.56	6.69	5.21	63%
14	74.92	76.59	78.35	12.36	12.85	13.25	6.42	6.56	6.76	5.27	63%
13	75.82	77.47	79.12	12.75	13.05	13.42	6.42	6.56	6.70	5.34	64%
12	76.14	77.37	78.92	12.88	13.19	13.59	6.41	6.58	6.73	5.40	64%
11	75.70	77.43	79.33	12.97	13.37	13.75	6.39	6.57	6.79	5.54	64%
10	80.09	81.44	82.93	14.53	15.29	15.81	6.41	6.55	6.71	6.55	67%
9	79.88	81.40	84.48	14.91	15.33	16.02	6.38	6.57	6.72	6.60	68%
8	79.67	81.20	83.21	14.86	15.25	15.82	6.39	6.57	6.75	6.58	67%
7	80.46	82.73	84.63	15.69	16.10	16.61	6.43	6.57	6.71	6.93	69%
6	81.42	83.28	84.93	15.66	16.19	16.76	6.37	6.57	6.73	6.96	69%
5	86.61	87.80	90.51	18.14	18.58	19.24	6.36	6.56	6.74	7.77	73%
4	86.94	88.43	90.45	18.35	18.79	19.50	6.41	6.56	6.70	7.86	73%
3	87.32	89.18	91.00	18.56	19.14	19.52	6.41	6.56	6.71	7.98	74%
2	100.99	102.57	104.67	25.66	26.60	27.33	6.43	6.57	6.77	11.14	84%
1	110.69	112.56	114.30	31.29	32.02	32.81	6.41	6.58	6.86	13.42	90%

III – Dashboard Cenário 3

Número de Hospitais	Mín T. Médio Atendimento (min)	Média T. Médio Atendimento (min)	Máx T. Médio atendimento (min)	Mín T. Desloc. Acidente (min)	Média T. Desloc. Acidente (min)	Máx T. Desloc. Acidente (min)	Mín T. Desloc. Hospital (min)	Média T. Desloc. Hospital (min)	Máx T. Desloc. Hospital (min)	Média Distancia Acidente (km)	Média Taxa de Ocupação
42	63.17	65.03	66.42	7.51	7.76	8.11	6.40	6.56	6.78	2.95	54.0%
41	63.85	65.42	66.91	7.51	7.76	8.05	6.64	6.77	6.94	2.96	54.3%
40	65.67	67.06	68.84	7.48	7.85	8.28	7.03	7.22	7.46	3.00	56.1%
39	66.35	67.86	69.56	7.53	7.87	8.28	7.31	7.59	7.78	3.01	56.3%
38	66.39	67.84	69.23	7.54	7.87	8.17	7.41	7.61	7.84	3.01	56.3%
37	66.56	68.43	69.63	7.46	7.90	8.23	7.49	7.77	7.96	3.02	57.0%
36	67.13	68.51	70.05	7.58	7.90	8.14	7.74	7.93	8.13	3.02	57.0%
35	67.21	68.54	70.58	7.53	7.91	8.24	7.71	7.92	8.12	3.02	56.9%
34	66.74	68.52	69.97	7.54	7.90	8.31	7.72	7.90	8.11	3.02	57.1%
33	66.12	68.23	70.08	7.53	7.90	8.29	7.69	7.89	8.12	3.02	56.8%
32	66.63	68.25	70.05	7.60	7.91	8.27	7.66	7.87	8.07	3.02	56.7%
31	66.63	68.10	69.39	7.55	7.88	8.21	7.61	7.88	8.13	3.01	56.8%
30	66.69	68.20	69.30	7.49	7.88	8.18	7.66	7.90	8.09	3.01	56.8%
29	66.76	68.15	69.59	7.55	7.89	8.22	7.80	8.10	8.32	3.02	56.8%
28	66.82	68.04	69.62	7.53	7.85	8.20	7.89	8.08	8.22	3.00	56.4%
27	66.69	68.36	69.73	7.48	7.89	8.29	7.80	7.97	8.13	3.01	56.9%
26	66.86	68.36	70.25	7.59	7.90	8.27	7.77	7.98	8.16	3.02	56.9%
25	68.14	69.80	71.41	7.65	7.95	8.61	8.16	8.39	8.59	3.04	58.1%
24	68.11	69.99	71.61	7.67	7.96	8.24	8.23	8.42	8.62	3.04	58.2%
23	68.64	70.01	71.67	7.62	7.94	8.20	8.18	8.43	8.58	3.04	58.2%
22	68.07	69.98	71.33	7.62	7.95	8.24	8.23	8.45	8.68	3.04	58.1%
21	68.76	70.38	71.77	7.63	7.98	8.29	8.34	8.56	8.83	3.05	58.5%
20	68.99	70.50	72.48	7.62	7.98	8.40	8.45	8.64	8.83	3.06	58.7%
19	69.48	70.69	72.39	7.62	7.99	8.38	8.65	8.84	9.09	3.06	58.8%
18	69.66	71.34	73.27	7.69	8.02	8.37	8.96	9.13	9.35	3.07	59.3%
17	70.27	71.80	73.42	7.76	8.02	8.39	8.99	9.20	9.40	3.07	59.8%
16	72.72	74.34	75.92	7.80	8.16	8.64	9.87	10.09	10.39	3.14	61.8%
15	73.02	74.59	76.27	7.88	8.19	8.80	9.99	10.22	10.41	3.15	62.1%
14	72.84	74.69	76.89	7.85	8.19	8.62	10.07	10.26	10.46	3.15	61.9%
13	73.77	74.95	76.56	7.84	8.22	8.64	10.10	10.32	10.54	3.16	62.3%
12	74.39	75.91	78.21	7.91	8.25	8.73	10.58	10.76	10.99	3.17	63.1%
11	79.51	86.03	104.02	8.19	9.16	12.42	12.03	12.36	12.74	3.58	71.3%
10	79.75	85.99	104.37	8.19	9.07	12.37	12.12	12.38	12.77	3.54	71.0%
9	80.87	85.86	106.03	8.32	9.10	12.60	12.12	12.42	12.77	3.55	70.9%
8	136.16	151.10	163.82	18.80	20.93	22.34	13.74	14.08	14.47	9.09	97.5%
7	136.49	151.38	164.99	18.82	20.98	23.01	13.73	14.30	14.58	9.12	97.5%
6	136.11	150.15	165.79	17.63	20.95	23.20	14.51	14.78	15.24	9.10	97.5%
5	136.84	149.60	163.22	18.42	20.73	22.52	14.49	14.85	15.19	9.00	97.4%
4	136.12	150.18	163.92	17.62	20.90	22.45	15.59	16.09	16.53	9.08	97.6%
3	257.01	275.20	296.19	25.42	26.28	27.35	17.09	17.70	18.32	11.70	99.4%
2	252.28	274.85	298.67	25.19	26.38	27.34	18.52	19.01	19.42	11.75	99.5%
1	494.49	510.95	527.21	26.76	28.09	29.20	23.73	24.40	25.82	12.60	99.8%

IV – Dashboard Cenário 4

Taxa de Chamado	Mín T. Médio Atendimento (min)	Média T. Médio Atendimento (min)	Máx T. Médio atendimento (min)	Mín T. Desloc. Acidente (min)	Média T. Desloc. Acidente (min)	Máx T. Desloc. Acidente (min)	Mín T. Desloc. Hospital (min)	Média T. Desloc. Hospital (min)	Máx T. Desloc. Hospital (min)	Média Distancia Acidente (km)	Média Taxa de Ocupação
0.5	59.36	60.95	62.23	6.82	7.13	7.39	6.32	6.56	6.80	2.68	25.8%
0.6	60.29	61.58	62.77	6.94	7.19	7.42	6.37	6.56	6.79	2.71	31.2%
0.7	60.53	62.24	63.34	7.01	7.32	7.61	6.35	6.57	6.72	2.76	36.5%
0.8	61.27	62.97	64.39	7.16	7.41	7.79	6.36	6.56	6.75	2.80	42.1%
0.9	62.44	63.88	65.54	7.28	7.55	7.86	6.31	6.57	6.73	2.86	47.9%
1.0	63.43	64.87	66.53	7.42	7.76	8.10	6.40	6.56	6.74	2.96	54.0%
1.1	63.82	66.06	67.71	7.58	8.09	8.42	6.36	6.56	6.70	3.10	60.3%
1.2	65.93	67.55	69.40	8.12	8.51	8.94	6.41	6.55	6.69	3.29	67.1%
1.3	67.64	69.51	73.53	8.65	9.44	11.39	6.41	6.57	6.72	3.71	74.8%
1.4	69.21	72.38	75.61	9.53	11.24	12.91	6.43	6.56	6.68	4.53	82.8%
1.5	73.77	76.51	79.34	12.46	14.52	16.33	6.42	6.57	6.74	6.05	90.6%
1.6	77.01	79.59	81.66	15.55	17.42	18.55	6.41	6.56	6.69	7.42	94.7%
1.7	78.82	81.51	83.20	17.54	19.37	20.47	6.43	6.57	6.67	8.35	96.4%
1.8	80.18	82.67	84.44	19.26	20.65	21.91	6.44	6.56	6.71	8.97	97.3%
1.9	82.24	83.62	85.45	20.47	21.67	22.42	6.39	6.57	6.70	9.45	97.8%
2.0	82.18	84.36	86.32	21.11	22.46	23.34	6.42	6.56	6.68	9.84	98.2%
2.1	83.71	85.02	86.86	22.44	23.21	24.18	6.45	6.56	6.68	10.19	98.5%
2.2	83.27	85.33	87.09	22.70	23.73	24.61	6.44	6.56	6.69	10.45	98.6%
2.3	84.34	85.90	87.92	23.45	24.15	24.92	6.45	6.58	6.70	10.66	98.8%
2.4	84.60	86.03	87.73	23.69	24.50	25.14	6.40	6.57	6.70	10.83	98.9%
2.5	84.97	86.43	88.09	24.03	24.76	25.34	6.46	6.57	6.69	10.96	99.0%